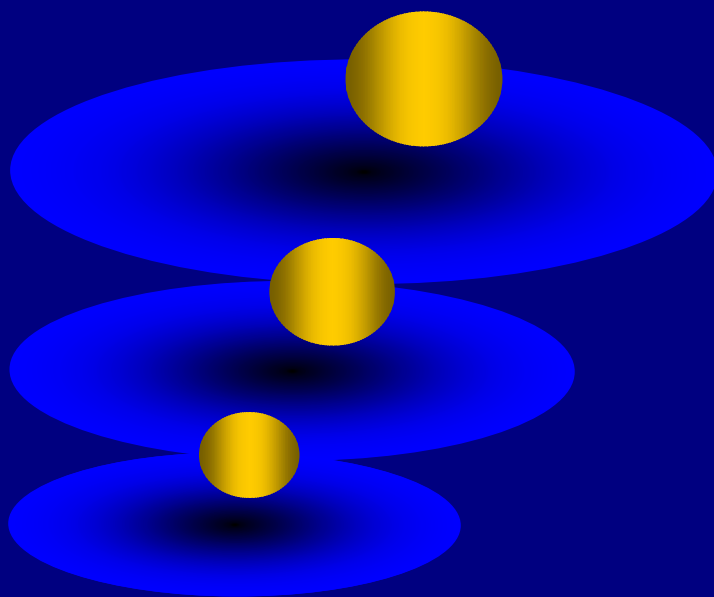


A Mudança Geral de Escala em Física

(Ensaio)



H. J. TEIXEIRA DE SOUSA

H. J. TEIXEIRA DE SOUSA

A MUDANÇA GERAL DE ESCALA EM FÍSICA

(ENSAIO)

**EDIÇÃO DO AUTOR
Cascais
2002**

© 2002, por H. J. Teixeira de Sousa
Composição e impressão de:

Direitos de autor:
H.J.Teixeira de Sousa
IGAC, Proc.º n.º 2696/2001

Email: ht.sousa@clix.pt

À minha mulher, Manuela.

Para um despertar da Consciência.

PREFÁCIO

Seria de todo inusitado fazer aqui um rol de uma infinidade de fenómenos que nos causam perplexidade e que, como é próprio da natureza do ser humano, nos compelem a querer saber o como e o porquê!

Neste livro, de uma forma despretensiosa, obtemos respostas para muitas das questões que nos colocamos face ao espectáculo mágico da Vida e do Universo! Este ensaio tem ainda o mérito de retomar a tradição filosófica da Ciência. O autor não se coibiu de tentar libertar-se das amarras impostas pela cultura dominante, à qual são tão gratos os “ismos”. Desta feita, apesar do ponto de vista nominalista ter triunfado sobre o realista na disputa secular dos universais, facto este acompanhado pela marcante evidência do empirismo cujas vantagens se impuseram à razão, o autor fez questão de seguir uma via cartesiana e entrar, também, no mundo das ideias, preconizado por Platão. Este, como é sabido, defendia que a ideia é preexistente e supra-ordenada aos fenómenos em geral.

Quer o homem compreenda ou não o mundo das ideias, deverá permanecer consciente da sua existência como forma de estar conectado com as suas raízes. Assim se compreende o facto de muitas das descobertas da Física moderna serem já conhecidas no mundo primitivo. Um exemplo, sobejamente conhecido, assenta no facto da teoria atómica de Leucipo e Demócrito que, longe de se fundamentar na observação do

átomo, surgiu de uma ideia mitológica sobre partículas mínimas oriunda dos habitantes do paleolítico na Austrália central, partículas essas tidas como átomos da alma, isto é, partes mínimas animadas. Assim como já fazia parte do conhecimento dos primitivos que todo o existente é um campo de forças.

Vivemos numa época em que o aristotelismo, o racionalismo e outros “ismos” estão a atingir o seu apogeu, com consequências bastante previsíveis, pelo que, para que se possa restabelecer o equilíbrio, começa a emergir uma necessidade de regressar ao pensamento platónico, tal como se pode constatar pelo desenvolvimento da Psicologia e da actual investigação sobre o inconsciente colectivo.

Lamentavelmente, porém, a expressão “tudo é um todo” vai-se tornando num lugar comum, o que lhe retira o seu sentido mais profundo, mas é urgente e necessário que adoptemos uma atitude holística. A realidade é uma só. Assim sendo, todas as ciências e demais ramos do saber se debruçam sobre essa única realidade multidimensional e complexa que, por isso mesmo, encaram segundo diferentes perspectivas, utilizando métodos próprios.

O que é válido para a Psicologia, para a Filosofia, etc., é, da mesma forma, válido para a Física. A título de exemplo, podemos ver que, segundo Carl G. Jung, «não há transformação de escuridão em luz, nem de inércia em movimento sem emoção». O sentido que foi dado, por Jung, a “emoção” é o mesmo que foi dado a “paixão” por Giordano Bruno: «(...) poderá acontecer que um corpo de menor grandeza tenha uma paixão proporcional àquela; porém, assim como há proporção entre o paciente finito e o agente finito, haverá do mesmo modo entre o paciente finito e o agente infinito»; actualmente, em Física, a emoção de C. Jung e a paixão de G. Bruno tomam a denominação de força de atracção.

É neste contexto que o autor desenvolve o seu pensamento, numa abordagem *sui generis*, propondo a um leque de leitores com interesses e formações diversificados, uma oportunidade para a compreensão de vários fenómenos físicos.

É bom que o Homem saiba que o mundo existe porque os seus opostos são mantidos em equilíbrio. O equilíbrio não significa uma perfeita harmonia, mas uma tensão entre forças de valor igual e sentido

contrário, tensão esta necessária ao movimento. «Dá a impressão que os corpos reagem às forças; e esta reacção é também, ela mesma, uma força que gera o equilíbrio relativamente às forças actuates». Ao nível da vivência humana, o movimento deve ser entendido como um “salto” qualitativo para a tomada de consciência enquanto indivíduo.

Qualquer passo em frente, por muito pequeno que seja, no intuito de uma tomada de consciência, cria o mundo!

Ora, um dos grandes Mistérios é, justamente, o da Criação. «E Deus disse: Faça-se a luz», isto é, a Criação é a tomada de consciência de algo que, até então, está submerso no inconsciente!

A Criação também constitui uma das pedras angulares desta obra: «Os corpos materiais sofrem o impacto de Forças de Interação enquanto manifestações de propriedades que a Luz confere à Massa, quando a “fertiliza”. Aqui reside, potencialmente, o Grande Mistério da Natureza...».

Os mitos ligados à Criação referem a existência de dois princípios contidos, inicialmente, numa só coisa. Para o autor, um desses princípios é considerado fundamental: a inércia, isto é, a *radix ipsius* (a própria raiz) ou *prima materia*, que não depende de nada. Esta substância primordial está associada ao feminino, à fertilidade, à passividade e ao inconsciente. O outro princípio é a luz, isto é, o *ignis innaturalis* (fogo secreto), o primeiro agente ou o primeiro factor que está associado ao princípio activo, masculino e à consciência.

Cascais, Agosto de 2002
Manuel Afonso

INTRODUÇÃO

Este trabalho é dirigido a todas as pessoas que se sintam motivadas pelo conhecimento do mundo onde vivem, que encaram as questões de uma forma globalizante e que se consideram livres de preconceitos de qualquer ordem.

Do texto principal foi retirado, sempre que possível, tudo o que pudesse desmotivar os leitores mais interessados na simbólica da linguagem do que na linguagem simbólica da Matemática, tendo esta sido remetida para os **Apêndices que não figuram na versão da Net**.

Veja-se, neste trabalho, um simples levantamento de questões pertinentes (ou impertinentes), potencialmente colocadas a cientistas e não-cientistas. Estas questões foram suscitadas em consequência de profundas cogitações, numa busca obstinada do Conhecimento e da Verdade, sem as quais não é possível “romper” com o estabelecido para dar mais um pequeno passo no longo e árduo percurso da auto-realização.

Subjacente a esta motivação está uma vontade que nos impele a querer conhecer e compreender a realidade, quer ela sofra uma enorme dilatação ou uma forte contracção, ou seja, do infinitamente grande ao infinitamente pequeno. Isto só se torna possível se “recuarmos” ao passado com o intuito de melhor compreender e absorver o fabuloso legado de grandes cientistas e filósofos, nomeadamente, Thales de Mileto, Platão, Sócrates, Aristóteles, Copérnico, Galileu, Descartes, Kepler, Newton, Kant e Laplace.

Com Descartes, por exemplo, pode constatar-se que não lhe teria sido impossível chegar à Lei da Gravitação de Newton, tal como poderia ter chegado à conclusão que a força de atracção gravítica se pode atribuir a uma propriedade da matéria diferente da vulgar “massa” dos corpos.

Um dos maiores contributos para este trabalho foi, sem dúvida, o de Kepler: a “constante de Kepler” dos planetas do Sistema Solar, descoberta motivada pela crença numa harmonia do Universo, parece encerrar uma enorme quantidade de informação sobre a realidade.

Algumas das questões abordadas, para as quais a Física já deu respostas, são aqui repensadas sob uma nova perspectiva. Qualquer teoria, quando confrontada com a experiência, pode revelar-se falsa, potencialmente verdadeira ou apenas aproximada da realidade. E, mesmo que a interpretação da realidade seja corroborada pela experiência, pode, por vezes, não ser a única interpretação possível, nem a mais razoável do ponto de vista da compreensão humana. Destarte, algumas interpretações de fenómenos físicos actualmente aceites, apesar de não contrariadas por factos experimentais, podem não excluir outras interpretações ainda mais aceitáveis do ponto de vista intuitivo e lógico.

Uma experiência pode demonstrar que uma teoria é falsa mas nunca poderá provar que é verdadeira¹. A probabilidade de uma teoria ser verdadeira aumenta com o número de experiências que não a invalidam. Isto significa que uma teoria é, e será sempre, uma teoria; a sua aceitação é sempre provisória. Por isso, os grandes avanços em Ciência ocorrem quando alguém assume o risco de romper com o estabelecido e propor novas interpretações para os fenómenos físicos.

A ruptura é o primeiro acto epistemológico da Ciência. O método científico inicia-se sempre pela ruptura; uma teoria só é aceite até surgir uma nova forma de pensar os mesmos fenómenos. Tomemos, como exemplo, a interpretação do mecanismo da atracção gravítica; embora a experiência confirme a atracção, no entanto, desconhece-se o seu verdadeiro mecanismo. A primeira “explicação”, dada por Newton, era que dois corpos quaisquer, sem ligação material, atraem-se com uma força instantânea. Einstein, não satisfeito com a interpretação de

¹ Problema da falseação do filósofo Karl Popper.

Newton, viria a explicar a atracção gravítica com a “deformação” do espaço e do tempo provocada pela massa, negando a acção instantânea. Mais recentemente as interacções a distância “explicam-se” por meio de *partículas de força*, o que ainda é mais difícil de perceber que as explicações dadas por Newton ou Einstein.

As descobertas da Física são, por vezes, intrigantes e não conseguem levantar o véu que cobre o mistério. Essas descobertas não são passíveis de uma interpretação simples que todos possam, em princípio, compreender. Por muito que possamos conviver com um fenómeno, continuamos, por vezes, sem o compreender, tal como convivemos com o nosso corpo desconhecendo, no caso de leigos, o seu verdadeiro funcionamento. Tomemos o exemplo das ondas electromagnéticas que nos permitem telefonar, ouvir rádio ou ver televisão. Quem compreende, *de facto*, o que se passa ao nível fundamental?

Para mais, a Física está fragmentada em teorias que são válidas para certas escalas, mas não para outras. As mudanças de escala provocam surpresas que, por isso mesmo, ainda não nos é possível explicar de uma forma coerente; contudo, os físicos acalentam o grande sonho da construção e verificação de uma teoria única, universal. Nesta senda, surgem teorias de uma enorme complexidade matemática com múltiplas dimensões espaciais, números “mágicos” e realidades onde ninguém consegue penetrar, enfim, mantemo-nos num “mar” desconhecido.

Com este tipo de construções, a Física torna-se numa espécie de religião, querendo isto significar que é necessária uma fé cega em dogmas criados por um número reduzido de indivíduos capazes de se movimentar em “mundos” matemáticos fantásticos, muitas das vezes, sem qualquer ligação com o mundo real.

Os segredos da Natureza devem ser simples! Não os conseguir desvendar dever-se-á, provavelmente, ao nosso estado de ignorância. É assim que, neste trabalho, é ensaiada uma nova abordagem de questões que já se podem considerar “velhas” na Física.

O objecto da Física é o estudo das propriedades da matéria de que a Natureza é constituída, entendendo-se por matéria tudo aquilo que possamos, de algum modo, sentir.

Partindo da premissa que a Natureza não é uma simples obra do acaso, as leis que a regem deveriam ser válidas do infinitamente pequeno ao infinitamente grande. Pressupondo que a matéria é formada a partir de, apenas, dois ingredientes fundamentais, Massa e Luz, Massa será a Substância sobre a qual actuam as forças da Natureza e Luz, provavelmente, a “Essência” que confere capacidade de interacção à Massa.

Os corpos materiais sofrem o impacto das Forças de Interacção enquanto manifestações de propriedades que a Luz confere à Massa, quando a “fertiliza”. Aqui reside, potencialmente, o Grande Mistério da Natureza, porque a Massa necessitaria de ter uma propriedade básica de interacção que ela, provavelmente, não tem. Quando a Massa exhibe uma propriedade que é a origem de uma Força, ela já devia possuir uma *infinidade* de propriedades, em que umas são a causa das outras, não existindo uma causa primeira ou, o mesmo é dizer-se que a Causa Primeira é Deus.

Mas a Massa não é equivalente a Energia como estabelecido por Einstein? A Massa de que falamos, não! Porém quando ela se despoja de qualquer propriedade adquirida, liberta muita Energia (Luz); porque a Energia ou Luz que a Massa liberta não é senão a propriedade que a Massa exhibia antes de se despojar dela.

Deste modo, as forças também se podem considerar manifestações da Energia armazenada na Massa; e a gravidade será, também, uma propriedade de interacção da Massa que resulta de Energia armazenada. As forças da Natureza serão em número infinito. Cada propriedade adquirida pela Massa dá origem a uma Força Actuante. À nossa escala, lidamos com duas Forças – a gravítica e a electromagnética. À escala subatómica são conhecidas outras duas – as Forças Forte e Fraca. Porquê tão poucas?

Como acima foi referido, a Massa pode perder propriedades. Poderá perder a gravidade? Sim! Ao perder gravidade (que é a massa para Einstein) liberta a Energia correspondente. A Massa pura não tem, provavelmente, uma propriedade básica de interacção com outras massas; é, pelo menos, uma hipótese a ser considerada, por não existirem na Natureza corpos constituídos só por Massa, sem propriedades de interacção. A Massa precisa, provavelmente, de mais

“qualquer coisa” para atrair outra Massa. Os neutrões não se juntam a outros neutrões para constituir núcleos ou corpos só de neutrões...

Como atrás foi dito, a Massa, quando fertilizada pela Luz, adquire propriedades... Passa a poder interagir, isto é, passa a estar viva! Essa interacção tem um objectivo – a organização da matéria. A matéria é Inteligente e Consciente. Qualquer Massa, depois de fecundada pela Luz contém o germen da Vida e da Vontade. Por incrível que nos pareça, não existe, por certo, outra possibilidade. Até mesmo a um Super-Deus seria difícil, para não dizer impossível, controlar uma Obra Infinita. Ele (Deus) faz, provavelmente, parte integrante do seu Universo.

“(...) todas as coisas foram criadas por Ele e para Ele”².

Misticismo e ciência não são coisas (muito) diferentes. O pensamento místico recorre a intuições profundas, com elevada probabilidade de conter a Verdade sobre o Universo, cabendo à Ciência tentar compreendê-las e/ou delas retirar as possíveis ilações. Na verdade, tanto quanto nos é dado saber, quase todos os grandes cientistas foram, também, grandes místicos!

² Carta de S.Paulo aos colossenses, Introdução, 1. 1-20.

1. CIÊNCIA E FILOSOFIA

“Quase todos os pensadores revolucionários – Newton, Robespierre, Florence Nightingale, Einstein – mostram um outro apego profundo a alguma ordem de pensamento mais antiga...”/10/

A. Rupert Hall

A ideia de atribuir uma causa aos fenómenos é de natureza filosófica. Segundo Tomás de Aquino³ e pela lógica, a causa última dos fenómenos tem que ser atribuída a uma entidade a que podemos chamar Deus. Este postulado da existência de Deus não resulta apenas de uma atitude mística cega, desprovida de qualquer racionalidade; é, pelo contrário, uma conclusão lógica necessária do princípio da causalidade. Nesta perspectiva, a Ciência e a Filosofia não são antagónicas, mas complementares, para não dizer a única e a mesma coisa!

O cientista, apesar de procurar incessantemente compreender racionalmente a Natureza, sabe que não chegará, possivelmente, à causa última dos fenómenos nem à razão de ser da Natureza; mas, exactamente por isso, sente-se compelido a ir sempre mais longe, à procura da Causa de todas as causas; vai, lenta e pacientemente,

³ Tomás de Aquino, *Suma Teológica*, 1267-1273.

levantando o véu que cobre a matriz da obra maravilhosa que é a Natureza. E os homens, à medida que a Obra vai sendo compreendida, adquirem conhecimentos que lhes permitem desenvolver técnicas para aumentar o seu domínio sobre a Natureza e, também, sobre outros homens.

De facto, a ideia filosófica de uma relação causa-efeito tem sido o motor da Ciência desde a Antiguidade até aos nossos dias. De Newton a Einstein e outros, os físicos sempre acreditaram no princípio da causalidade e foram, por isso, místicos no verdadeiro sentido da palavra, impelidos, incessantemente, a procurar as causas de outras causas, sempre na esperança de chegar à Causa Primeira.

Digamos, assim, que há duas formas de encetar a via científica: a primeira, consiste em acreditar nas causas e procurá-las, numa aproximação paulatina da Causa Única e Primeira. A segunda, é não acreditar nessa Causa e aceitar que a Natureza é um mero fruto do acaso e, por isso, será suficiente “representá-la” por modelos matemáticos convenientes.

A segunda perspectiva, correspondente a uma atitude materialista, racionalista e conformista, é partilhada, por exemplo, por Stephen Hawking /14/ que sustenta o seguinte ponto de vista:

“perfilho a perspectiva positivista que uma teoria física é apenas um modelo matemático e não faz sentido questionarmo-nos se ela corresponde à realidade”.

Nós preferimos a perspectiva idealista e anti-conformista, apanágio dos que acreditam que a realidade é passível de ser compreendida pelo intelecto humano, semelhante à do seu presumível Criador.

O espírito científico idealista procura chegar, no fundo, à sabedoria divina e aventura-se na descoberta dos mecanismos e das leis de que Deus dotou a Natureza. A descoberta de leis cada vez mais gerais da Natureza é uma forma de tentar chegar à Verdade que se supõe existir. Digamos que a Ciência é uma das vias do Homem para a sua emancipação relativamente àquilo que o transcende.

O estabelecimento de qualquer lei passa, antes de mais, pelo reconhecimento dos fenómenos e por uma necessidade de os

compreender. A observação dos fenómenos pode levar a nossa “intuição” a descobrir uma explicação para os mesmos:

“(...) só depois de nos havermos familiarizado com estes problemas durante muito tempo e de se ter vivido e discutido em comum, se acende inesperadamente na alma o seu verdadeiro significado, como a luz nasce de uma faísca e cresce depois por si só”.⁴

O raciocínio lógico (indutivo ou dedutivo), baseado em princípios de aceitação universal, determina as regras exactas que regem os fenómenos; medidas experimentais auxiliam no estabelecimento das leis que tornam os fenómenos, enfim, previsíveis.

Para exemplificar, considere-se Newton e os fenómenos da gravitação: em primeiro lugar, estes fenómenos (queda dos graves e manutenção dos planetas nas suas órbitas) foram reconhecidos e houve necessidade de os compreender; a observação detalhada dos mesmos por Kepler e Galileu levou à descoberta de regularidades que inspiraram a teoria explicativa.

Face às referidas observações, a intuição de Newton levou-o a acreditar que os dois fenómenos estariam relacionados e que os corpos (cuja propriedade marcante, para Newton, era a sua massa) se atraem; quis acreditar, ainda, que a massa dos corpos (a sua quantidade de matéria) era a *causa* da força de atracção.

O raciocínio lógico-indutivo de Newton, apoiado em primeiros princípios, estabeleceu, a partir das regularidades descobertas por Galileu e Kepler, as leis qualitativas; neste caso, as leis da Dinâmica que regem a queda dos graves e a manutenção dos planetas nas suas órbitas.

Porém, ao contrário de Newton, acreditamos, tal como Descartes, que as leis que se aplicam à realidade devem respeitar as regras lógico-dedutivas: se, partindo de princípios de validade incontestável, chegarmos de forma dedutiva, inequivocamente, a determinadas conclusões sobre a realidade, estas conclusões estarão, necessariamente, correctas. Mas a construção lógico-dedutiva tem que partir de princípios cuja validade ninguém possa pôr em causa. Premissas erradas, falsos conceitos e falsas intuições podem conduzir também, pela via dedutiva,

⁴ Platão, Carta VII.

a falsas conclusões. A dedução, em si, nunca é falsa; se o raciocínio é uma parte da realidade, segue as mesmas leis da realidade como um todo.

Porém, o simples pensamento não pode, por si só, produzir Ciência. Ocorre-nos citar, neste contexto, o Prof. Dr. António Manuel Baptista /3/:

“Existe o «pensamento», que se pode exprimir pela linguagem ou linguagens (entre as quais a mais poderosa e fértil, a matemática) e, exterior a ele, a natureza física, a realidade.”...

“A ciência considera-se «objectiva» no sentido em que os seus «factos» não podem ser criados só pelo pensamento e podem ser percebidos, em princípio, por todos.”

Quando o autor refere que os “factos” podem ser percebidos, depreende-se que eles podem ser sentidos, observados e estudados por todos. A sua apreensão dá-se ao nível do pensamento mas nem sempre conseguimos, na verdade, compreendê-los.

Ao invés do que alguns autores modernos (e não só) possam defender, nenhuma ciência pode advir somente do espírito. A construção científica terá que partir da observação da Natureza que, guiada pela intuição, permita o estabelecimento de princípios de validade incontestável dos quais se pode deduzir um conjunto coerente de explicações para os fenómenos e o desenvolvimento de métodos de previsão.

Na base de qualquer construção espiritual, temos que ser, pois, guiados pela observação e por uma forte intuição da Verdade. É esta forte intuição que tem, frequentemente, uma base mística profunda que transcende, certamente, o comum das pessoas. Na descoberta científica, não se deve ignorar as intuições profundamente enraizadas na matéria de que somos feitos. Os mitos, as crenças antigas, as religiões, as filosofias, etc. encerram, provavelmente, um enorme potencial de conhecimento, porque neles a intuição teve um papel muito importante!

A perda progressiva da intuição em benefício exclusivo da razão pode, paradoxalmente, contribuir para o afastamento da Verdade. Lamentavelmente, o racionalismo entendeu por bem rejeitar as origens

do pensamento científico, ignorando por completo que, no passado, uma parte substancial do conhecimento foi conseguida por intuição (misticismo). Muitos cientistas que se tornaram verdadeiramente célebres apoiaram-se muito mais na sua intuição do que propriamente na razão. Admitiram que as suas intuições eram verdadeiras e emanavam de uma sabedoria ancestral registada, possivelmente, na matéria de que todos somos feitos:

“Tratar-se-á de alguma coincidência? Ou de um saber intuitivo? No final de contas, (...) nós próprios somos compostos da poeira do big bang. Acaso traremos connosco a memória do Universo?”/12/

A nossa intuição terá, provavelmente, as suas raízes no âmago da matéria e, por isso, ela (a matéria) “conhece” todos os mistérios:

“A massa é receptiva (feminina), a energia é activa (masculina). A vida emerge do útero cósmico e a este regressa, à Mãe Natureza, às Águas Primordiais! No princípio do Universo (UNO) havia um caos ou caldo, o princípio era feminino. Neste «caldo» primitivo teve origem tudo o que existe (VERSO)”⁵.

Ao mesmo tempo que não devemos ignorar a nossa intuição (de raízes profundas), devemos desconfiar de falsas intuições, baseadas na credence pura e dogmática, característica de algumas seitas e religiões instituídas.

O homem é, porém, um ser religioso por natureza. Segundo Einstein, «a ciência sem religião é coxa, a religião sem ciência é cega». A religião não é um estádio atrasado do Homem. Deveria, por isso, dar-se um novo sentido à Lei dos Três Estados de Auguste Comte: todo e qualquer conhecimento, numa primeira fase, passa pelo estádio religioso e culmina no estádio positivo depois de ter passado pelo estádio intermédio, o metafísico.

A razão não pode, a partir do nada, construir o conhecimento. Toda e qualquer construção racional (a teoria) tem que partir de princípios de aceitação universal. Daí que, também, teorias diferentes possam explicar

⁵ Conceito defendido pelo mito da Criação em diferentes culturas, entre elas a judaico-cristã.

a realidade com a mesma validade⁶; no entanto, só deverá existir uma única teoria que corresponde, efectivamente, à realidade.

As teorias fazem previsões. A experimentação ou a verificação das teorias é fundamental; quando se revelam desvios em relação às previsões teóricas, dever-se-á, contudo, repensar as hipóteses de partida, isto é, reformular os princípios. Teremos partido de princípios suficientemente claros e nítidos, compreensíveis para todos?

Os avanços científicos realizados pelos pioneiros da Física foram extraordinários, tendo em linha de conta as suas condições de partida, ou seja, a sua fraca herança cultural. Esses cientistas foram espíritos muito intuitivos. Tomemos como exemplos Nicolas Koppernigk (Copérnico), Johanes Kepler, Galileu Galilei, Blaise Pascal, Isaac Newton, Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Marie Curie, Lise Meitner e Albert Einstein. O que havia de comum nestas pessoas? Todas se questionaram sobre a Natureza e conseguiram “intuir” algumas respostas. Deixaram-se seduzir pelo seu mistério e pela sua beleza e quiseram conhecê-la melhor. E, sobretudo, todas elas procuraram levantar o véu que cobre a sua matriz. Foram pessoas ao mesmo tempo *religiosas, místicas e positivistas*; capazes de perscrutar o seu íntimo e crer na sua capacidade de alcançar a Verdade⁷ e dela retirar ensinamentos úteis aos seus semelhantes.

A Física dos nossos dias perdeu muito da “magia” que teve na sua infância. O seu percurso assemelha-se ao crescimento do próprio ser humano: na infância, somos totalmente ingénuos e capazes de crer no fantástico e no sobrenatural. Depois, a sociedade, com os seus valores instituídos vai-nos moldando e, desiludidos, conformamo-nos com o que pensamos ser o real (as sombras da caverna de Platão). Abandonamos os sonhos e tratamos de aproveitar a vida da forma que julgamos ser a melhor. Tornamo-nos pragmáticos, materialistas, racionalistas em exclusivo, com um único objectivo na vida – o sucesso. Mais tarde, quando vemos o fim a aproximar-se inexoravelmente, desesperamos porque vamos ter que abandonar tudo o que conseguimos na vida; basicamente, tudo o que reunimos é-nos exterior, pelo que,

⁶ Pensamento aristotélico, em /1/.

⁷ “*Conhece-te a ti mesmo, conhecerás o Universo e os Deuses*” – Célebre Inscrição no pórtico do Templo de Delfos que inspirou Sócrates.

provavelmente, nos sentimos, interiormente, vazios e perdidos. Nesta fase, surgirão, talvez, questões ligadas à existência: Para quê? Porquê? Quem? O quê? Onde? Quando?

Experimentamos, quiçá, nostalgia e uma forte vontade de “regressar à infância” e de sermos capazes de retomar os sonhos e as fantasias que tivemos:

“Deixai as crianças e não as impeçais de vir ter comigo, pois delas é o Reino do Céu.”⁸

Alguns cientistas-filósofos, nesta tentativa de regresso ao espírito que presidia à infância da Física, procuram, denodadamente, relacionar as religiões e as filosofias com a Física moderna. Este relacionamento, de certo curioso, não produz porém, por si só, novas descobertas. Seria necessário, para tal, repensar toda a Física à luz de uma filosofia “rejuvenescida” e fazê-la renascer das suas próprias cinzas.

Ao repensar a Física, não se deve, porém, perder de vista que ela não lida apenas com matéria *inerte* que se limita a obedecer a algumas (poucas) leis que permitem prever todos os fenómenos reais. É bem possível que a matéria, mesmo a mais elementar, para além de ter Vida, tenha Inteligência e Consciência.

“(...) a mais antiga cosmogonia egípcia até hoje conhecida seja também a mais filosófica, uma vez que Ptá cria com o seu espírito (o seu «coração») e o seu verbo (a sua «língua») (...) Foi Ptá quem fez com que os deuses existissem. Mais tarde, os deuses penetraram nos seus corpos visíveis, entrando em todas as espécies de plantas, de pedras, de argila, em toda a coisa que cresce no seu relevo e pelas quais eles podem manifestar-se.”⁹

De facto, as forças de interacção da matéria são tais, que conduzem à geração da Vida. A matéria viva passa a poder actuar sobre si mesma, isto é, torna-se capaz de produzir forças cujas causas deixam de ser simples propriedades autóctones e frias. Se a matéria *inerte* se pode juntar de forma a produzir seres vivos, ela contém, provavelmente, o

⁸ Mateus, 19,14.

⁹ História das Ideias e Crenças Religiosas, I Volume, Mircea Eliade.

gérmen da vida! Este gérmen da vida deverá estar relacionado com a forma como a matéria interage, ou seja, com as forças que geram os movimentos das formas mais simples de matéria.

Quando a matéria se junta em arranjos cada vez mais complexos, revela-nos aquilo que reconhecemos ser de índole espiritual – capacidade que a matéria tem de se compreender, de ter consciência da sua própria existência, de se adaptar ao ambiente, etc.. A organização da matéria começa a um nível elementar e já aí tem um objectivo a cumprir – gerar formas de vida, a que chamamos superior. Por isso a matéria, mesmo a níveis bastante elementares, “sabe” como actuar, possui um determinado nível de consciência. Simples bactérias ou simples vírus são já suficientemente conscientes para terem uma enorme capacidade de adaptação ao ambiente. Podemos designar essa capacidade como instinto ou atribuir-lhe uma qualquer outra designação, não sendo, por isso, o nome que se atribui capaz de alterar aquilo que é: um determinado nível de consciência.

A consciência, nas suas formas mais elaboradas, atinge níveis em que já não se “lembra” do que existe ao nível fundamental. Todo o conhecimento existente entre o nível “superior” de consciência e o seu nível fundamental, constitui aquilo a que se pode chamar o inconsciente. O saber científico inicia-se, geralmente, com uma transferência de conhecimento (intuitivo) do inconsciente para o consciente.

“(...) Por isso, o investigar e o aprender são exclusivamente reminiscência.”¹⁰

¹⁰ Platão, Ménon, 81 c-d.

2. E PLVRIBUS VNVM

*“tira as sandálias e ascende altivo
acima das estrelas cintilantes! Une-te à
Verdade!”/1/*

Ibn Qasî

O principal objectivo da Física dos nossos dias continua a ser o “sonho de Einstein” ou, abreviadamente, a Unificação de todas as Forças da Natureza. Esta unificação, procurada por Einstein¹¹, tem sido o Santo Graal da Física Teórica desde há, pelo menos, um século. Ela pretende atribuir todas as forças conhecidas, senão a uma única causa, mas ao menos integrá-las num formalismo matemático coeso. Não obstante, e sobretudo, a força da gravidade tem resistido a todas as tentativas de unificação.

O caminho percorrido pelos físicos teóricos para alcançar esta tão almejada unificação é constituído por meandros de tal ordem, que exige, por parte de curiosos interessados na evolução da Física, um grande esforço para “aceitar” as teorias que têm sido propostas.

Na História da Ciência e da Física tem-se constatado que as dificuldades das teorias resultam, não da lógica da teoria em si, mas da inadequação dos princípios assumidos à partida. Por exemplo, quando se pensava que a Terra era plana e rodeada por um muro, não havia

¹¹ Em 1950, com 71 anos de idade, Albert Einstein publicou a sua Teoria do Campo Unificado.

resposta para a pergunta: “O que está para além do muro?”. Mas quando se admitiu que a Terra podia ser uma esfera, a pergunta deixou de ser pertinente.

Julgamos que, com o fenómeno da gravitação, pode estar a passar-se algo semelhante. Em primeiro lugar, ainda hoje, não existe uma explicação plausível do mecanismo de actuação das forças, em geral. Em segundo lugar é, no mínimo, estranho que a massa dos corpos desempenhe dois papéis distintos na Física: por um lado, é a medida da resistência ao movimento (inércia) e, por outro, é causa da força de atracção dos corpos (gravidade). A força que nos mantém colados ao chão ou que “segura” os planetas nas suas órbitas tem sido atribuída à massa dos corpos, a mesma que se opõe às mudanças de movimento por acção de qualquer força.

Regressando às origens da descoberta do fenómeno da gravitação e numa tentativa de apreensão dos princípios aceites à partida, far-se-á uma reavaliação dos mesmos numa perspectiva algo diferente. Considere-se, por exemplo, a formulação original da Lei Fundamental da Dinâmica de Newton (2.^a Lei de Newton):

*“As modificações produzidas no movimento (dos corpos) são proporcionais à força motriz, e produzem-se na linha recta em que essa força foi aplicada.”*¹²

Esta formulação contém, do ponto de vista da compreensão, mais informação do que aquilo que geralmente se retém do estudo da Mecânica e que se pode resumir em: “A força aplicada a um corpo é o produto da massa do corpo pela sua aceleração¹³”.

O que Newton disse na sua segunda Lei, deve interpretar-se da seguinte forma: o *movimento* foi definido como o produto da *massa* do corpo móvel pela sua velocidade e a *força motriz* é o produto da força pelo intervalo de *tempo* durante o qual essa força actua /2/. Na formulação que vulgarmente se retém, não parece óbvio que assim seja. E, mesmo que, mais tarde, se venha a invocar a expressão que traduz o pensamento original, julgamos tratar-se de simples manipulação matemática desligada da compreensão física do fenómeno.

¹² Isaac Newton, em “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” (1687).

¹³ A aceleração é a medida da variação de velocidade de um corpo móvel.

Newton pretendeu dar validade à referida lei em qualquer escala de massa, de espaço (distância) e de tempo. A lei deveria aplicar-se do infinitamente grande ao infinitamente pequeno, facto que o levou a fazer uso do seu “cálculo de fluxões” (cálculo infinitesimal) para formular as leis da Mecânica.

Antes de Newton, estudava-se o movimento dos corpos sem lhes atribuir especificamente uma causa, tal como tinha sido o caso dos estudos de Galileu sobre o movimento dos corpos – a Cinemática. Newton quis atribuir aos movimentos, aliás, às alterações nos movimentos dos corpos, uma causa e quantificá-la.

Na base da noção de força (causa das alterações do movimento) esteve a crença filosófica na relação entre causa e efeito. Newton acreditou que as alterações do movimento tinham uma causa, causa essa a que chamou Força Motriz.

Porém, quando a velocidade de um corpo é constante ou o corpo está parado, Newton não sentiu a necessidade de haver uma causa para tal facto. Considerou que esse seria o estado “natural” dos corpos. É o que estabelece a 1.^a Lei de Newton que deve ser considerada, antes de tudo, uma verdade de validade incontestável (um princípio) que pode ser aceite por todos. Ela estipula que:

“Todo o corpo persevera (permanece, sem causa) no estado de repouso ou de movimento uniforme em linha recta em que se encontra, a não ser que alguma força actue sobre ele e o constranja a mudar de estado.”¹⁴

Newton aceitou que um corpo possa estar em repouso ou em movimento uniforme em linha recta, sem necessidade de haver uma causa para tal. Só quando o estado de repouso ou de movimento se altera, aí sim, a causa deixaria de ser nula. Poderíamos, porém, questionar: como é que um corpo chega a um estado de repouso ou de movimento uniforme em linha recta? Que movimento teve anteriormente para atingir esse estado? Qual a causa do movimento em geral? Qual foi o primeiro motor?

¹⁴ Isaac Newton, em “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” (1687).

Implicitamente, Newton admite, também, com a sua primeira lei, que um corpo possa escapar à acção das forças e que todo o movimento é relativo a um “referencial absoluto” que serve de base para podermos afirmar, seguramente, se um corpo está ou não sob a acção de uma causa (força).

Na formulação desta Lei está, portanto, pressuposta a existência de um referencial absoluto no qual os corpos, na ausência de forças, permanecem em repouso ou em movimento uniforme em linha recta. E não é o que a experiência do pêndulo de Foucault também põe em evidência? Esta experiência mostra que o plano de oscilação de um pêndulo permanece alinhado e em repouso absoluto, permitindo detectar movimentos absolutos de todos os corpos, até de estrelas muito afastadas de nós.

A existência de um referencial absoluto, não significa que, nesse referencial, os corpos se mantenham sempre em repouso ou em movimento uniforme em linha recta. De facto, julgamos não correr qualquer risco ao afirmar que, no Universo, não há corpo algum em repouso ou em movimento uniforme em linha recta. Porquê? Porque o próprio Newton estabeleceu, ainda, uma outra Lei, a Lei da Gravitação Universal. Segundo esta Lei, a causa nula é apenas uma abstracção. Onde quer que um corpo se encontre, está sob a acção das forças exercidas por outros corpos.

Se a 1.^a Lei de Newton se pode aceitar como um princípio abstracto, a 2.^a Lei parece ignorar que nem sempre uma Força Motriz produz modificações no movimento segundo a linha recta em que essa força é aplicada. Basta, para tal, referir o caso da Lua a girar em torno da Terra. Apesar de estar sob a acção de uma força (gravidade) que actua na linha recta que a une à Terra, a modificação de movimento não se produz segundo essa linha recta, isto é, a Lua não cai.

Considere-se, agora, outras noções fundamentais necessárias para se entender as questões relacionadas com a gravidade:

Uma noção muito importante é a massa. Quando Newton fala da massa dos corpos ele pretende referir-se à *quantidade de matéria* que um corpo contém e, talvez por isso, ele considere ser a massa a propriedade fundamental da matéria e *responsável pela força de atracção* entre os corpos. Mas a massa também entra na 2.^a Lei de

Newton com o papel de *resistência* às mudanças do estado de movimento. O mesmo impulso (força motriz) provocará mudanças de velocidade tanto menores quanto maior a massa do corpo. Esta resistência ao movimento também é conhecida por *inércia*.

Estamos perante dois conceitos de massa: num, *a massa é a causa da força* de atracção gravítica, noutro, *ela é causa da inércia dos corpos*. Sabemos, *intuitivamente*, que são conceitos diferentes. Porém, Newton aceitou o facto de a massa produzir dois efeitos distintos; mais tarde, Einstein também se debruçou sobre esta questão e concluiu, com base no *raciocínio da caixa*, referido no capítulo 11, que, de facto, massa gravítica e massa de inércia são equivalentes. Seria apenas uma questão de perspectiva. O que para alguns observadores é inércia, para outros é gravidade ou vice-versa.

Contudo, “aceita-se” em Física que os corpos tenham, para além da massa, outras propriedades: por exemplo, a carga eléctrica. Tal como a massa gravítica dos corpos, a carga eléctrica é considerada responsável pela força (de atracção e repulsão) entre os corpos que tenham essa propriedade. A carga eléctrica, porém, só tem essa função. Não oferece resistência ao movimento, nem desempenha outro papel qualquer. Só a massa é que, para além de ser a causa de uma força, tem ainda o papel de resistência ao movimento. Porquê? Porque é que a massa pode acumular funções e a carga não? Haverá hierarquias nas propriedades da matéria?

Na mecânica newtoniana a massa de um corpo tem um valor constante que resulta da sua própria definição. Como poderia a quantidade de matéria de um corpo variar? Segundo Lavoisier, *na Natureza nada se perde, nada se cria; (quando muito) tudo se transforma*.

Mas deixemos (por agora) a questão da massa e analisemos uma outra grandeza fundamental que é o *espaço* que os corpos ocupam ou percorrem. Desde a Antiguidade, o espaço tem sido objecto de estudo minucioso (a Geometria) e corresponde a algo de quase intuitivo para toda a gente - é onde a matéria existe e se move. A sua característica infinita confere-lhe um carácter misterioso de criação divina.

É-nos difícil imaginar que o espaço tenha um limite; porque havendo o limite, teríamos que perguntar-nos o que existe para lá desse

limite. O espaço deve ser ilimitado, infinito. A tridimensionalidade é outra das suas características de que nos apercebemos com facilidade e significa que a posição de um corpo só fica bem determinada, num certo sistema de referência, com três medidas de distância (ou equivalente). Os corpos reais têm sempre três dimensões: comprimento, largura e altura. Ninguém, até hoje, conseguiu imaginar um espaço com mais de três dimensões, ou seja, um corpo que, para além de comprimento, largura e altura, tenha ainda mais outra dimensão espacial. Conseguimos, com facilidade, ignorar dimensões; acrescentar é que se torna mais difícil.

Porém, os espaços com mais do que três dimensões são tratados em Matemática tal como os outros; apesar de não ser, fisicamente, possível fazer com que quatro rectas se intersectem fazendo entre si ângulos de noventa graus (ortogonais), em matemática isso é trivial, podendo “existir” espaços multidimensionais e ortogonais. Alguns físicos teóricos são, assim, tentados a admitir que o espaço real possa ter “dimensões” ocultas; a nossa capacidade de entendimento não nos permite, porém, compreender mais do que três dimensões espaciais reais. As teorias de unificação da Física recorrem, frequentemente, à possibilidade matemática de o espaço poder ter dimensões de que não nos apercebemos; mas será que esta via nos trará uma verdadeira compreensão do Universo ou pretende-se, simplesmente, construir um modelo matemático para descrever a Natureza como defende Stephen Hawking? Neste caso, não permanecemos no campo da metafísica?

Outra grandeza fundamental para a descrição dos fenómenos da gravidade é o *tempo*. Também ele é uma entidade misteriosa cuja existência temos que admitir porque todos os acontecimentos têm, para nós, um antes e um depois que explicamos com a passagem do “tempo”. A percepção que temos do tempo advém, antes de tudo, da consciência que temos da nossa existência que é limitada entre dois acontecimentos – o nascimento e a morte. A própria palavra acontecimento não faria sentido sem tempo porque, tudo o que acontece, acontece no tempo.

O tempo mede-se a partir de acontecimentos periódicos, isto é, que têm um ritmo regular: o movimento dos astros ou de um pêndulo, a oscilação de uma mola, a frequência de uma oscilação eléctrica. O tempo funciona como uma quarta *coordenada* de um corpo. Permite-

nos, juntamente com as coordenadas espaciais, fixar de forma inequívoca onde e quando um acontecimento se deu ou dará. Mas, ao passo que podemos fazer parar um corpo no espaço, manter as suas coordenadas espaciais fixas, o mesmo não podemos fazer com a coordenada tempo que passa inexoravelmente, num único sentido: do passado em direcção ao futuro.

Espaço e tempo, que intuitivamente consideramos duas entidades distintas, tornaram-se, em consequência da teoria da Relatividade Restrita¹⁵, numa única entidade, o espaço-tempo (de Minkowski). E o tempo passaria a ser considerado a *quarta dimensão* do espaço-tempo e não a quarta coordenada de um corpo.

Após termos falado das grandezas mais relevantes no estudo da força da gravidade (a massa, o espaço e o tempo), vejamos em que sentido se tem caminhado na procura da unificação das forças da Natureza:

Partindo do facto experimental de que a velocidade de propagação da luz no vácuo é constante, Einstein “postulou” que essa velocidade seria a velocidade limite dos corpos no Universo. Este postulado dá origem a resultados que se afastam um pouco da nossa capacidade de compreensão intuitiva dos fenómenos. Por exemplo, que o tempo passa de maneira diferente em referenciais animados de velocidade relativa ou que o espaço se “contrai” na direcção do movimento.

A nosso ver, a existência de uma velocidade limite no Universo não foi, até à data, logicamente justificada. Ninguém demonstrou, sem utilizar a própria Relatividade Restrita, porque é que os corpos não podem ser acelerados indefinidamente até ultrapassarem a velocidade da luz no vácuo. Haverá alguma *resistência*, resultante da própria velocidade do corpo, que o vai travando? Embora se admita a existência de matéria de difícil detecção no espaço, não é essa a explicação que se dá para a velocidade limite no Universo. A explicação é dada de forma *recursiva* com um resultado da própria teoria da Relatividade Restrita: que a massa do corpo aumenta de tal forma que o efeito das forças sobre a velocidade é cada vez menor; recorde-se que a 2.^a Lei de Newton estabelece que o impulso de uma força é igual ao produto da massa pela

¹⁵ Publicada em 1905 por Albert Einstein

variação da velocidade. Para um mesmo impulso, se a massa aumenta, a variação de velocidade é menor.

Uma outra “explicação”, dada por Einstein, é que as acções entre os corpos, ao contrário do que Newton supunha, não se propagam instantaneamente, mas sim com velocidade finita. Deste modo, a velocidade limite no Universo é a velocidade máxima de propagação das acções; pois uma velocidade superior a esta serviria para propagar acções de forma ainda mais rápida, o que é absurdo. E, como não se conhecem acções que se propagam a uma velocidade superior à da luz, esta foi tomada como sendo a velocidade limite no Universo.

Esta justificação já é mais convincente. Seria, no entanto, legítimo pensar que, apesar de ter de haver uma velocidade limite – a velocidade máxima de propagação de acções – o facto de não serem conhecidas velocidades superiores à da luz, pode não excluir, mesmo assim, a sua existência. A causa de a velocidade da luz ser uma constante em todos os referenciais¹⁶, isto é, o facto de a velocidade do sistema de referência não afectar a velocidade da luz, pode ficar a dever-se à própria natureza da luz e não ao facto de ela “ser a velocidade limite” do Universo.

Porém, a aceitação da velocidade da luz no vácuo como velocidade limite no Universo permite explicar fenómenos para os quais não haveria resposta fora da Relatividade Restrita: a título de exemplo, e tanto quanto estamos informados, o tempo de vida de partículas elementares é maior quando se deslocam a velocidades próximas da da luz; relógios de grande precisão (atómicos), que em repouso relativo permanecem sincronizados, acabam por perder o sincronismo se um deles for posto a viajar a alta velocidade durante um período de tempo suficiente. Finalmente, a equivalência entre massa e energia, preconizada pela Relatividade Restrita, conduziu à descoberta da energia nuclear, reforçando a validade das hipóteses em que a teoria assenta.

A Teoria da Relatividade Restrita abriu as portas à imaginação dos físicos. Outras teorias, que talvez não tivessem tido tanto sucesso por serem demasiado ousadas (e demasiado pragmáticas), acabaram por se

¹⁶ A experiência de Michelson-Morley demonstra que a velocidade da luz não depende da velocidade do referencial onde é medida e, por isso, não há qualquer experiência que permita detectar movimento absoluto num compartimento fechado com movimento uniforme.

estabelecer também. Por exemplo, a Mecânica Quântica¹⁷. No início do século XX dava os seus primeiros passos e nem o próprio Einstein conseguia aceitá-la como verdadeira¹⁸. Acabaria, no entanto, por ser aceite e por adquirir cidadania plena no meio físico.

A Mecânica Quântica afasta-se, ainda mais que a Relatividade Restrita, da nossa capacidade de compreensão lógica e intuitiva, na descrição que ela faz dos fenómenos físicos. Deixamos de poder pensar em partículas como sendo corpúsculos materiais com um determinado volume, uma certa velocidade e uma dada posição. Tudo é descrito em termos de probabilidades de acontecimentos; os ingredientes são, simultaneamente, corpúsculos e ondas. Apesar de deixarmos de entender seja o que for, a descrição matemática concorda de forma excelente com a experiência. E surgem novas constantes, números quânticos e equações que “explicam” uma série de fenómenos como as órbitas ocupadas pelos electrões ou a quantidade de energia electromagnética finita de um corpo a uma certa temperatura.

A Mecânica Quântica, com o pragmatismo que lhe é peculiar (na medida em que não exige que compreendamos tudo) é bem sucedida na interpretação dos fenómenos atómicos e sub-atómicos. Não pode, porém, ser aplicada aos fenómenos gravitacionais. Aqui, foi a Teoria da Relatividade Geral¹⁹ de Einstein que permitiu avançar. A Mecânica Quântica e a Teoria da Relatividade Geral não são, contudo, compatíveis. O sonho da Unificação parece desvanecer-se.

Mais recentemente, surge uma teoria física de inspiração quântica que contém, tanto quanto parece, a potencialidade de poder unificar toda a Física, reunindo todas as propriedades conhecidas da matéria, o espaço, o tempo e as forças, num formalismo único. Deste modo, todas as teorias anteriores seriam casos particulares desta teoria única. É a Teoria das Cordas ou das Super-Cordas ou ainda, na versão mais avançada, Teoria “M” em que o M virá, possivelmente, de “Mistério”/8/. Com esta Teoria de Tudo, o sonho de Einstein regressa à cena.

¹⁷ Iniciada por Max Planck (1900) e depois continuada, ao lado das teorias de Einstein, por Louis de Broglie, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Niels Bohr e outros grandes nomes da Física do séc. XX.

¹⁸ Referindo-se à Mecânica Quântica, Einstein proferiu uma das suas frases mais célebres: “*Deus não joga aos dados com a Natureza*”.

¹⁹ Publicada em 1915 por Albert Einstein

O que é que esta Teoria de Tudo nos pede que seja aceite? Que todas as entidades conhecidas (partículas materiais e partículas responsáveis pela transmissão das forças, entre as quais o gravitão) são constituídas por pequeníssimas cordas (extremamente tensas) e que as propriedades macroscópicas medíveis dos corpos resultam da forma como estas cordas vibram. Mais: que tudo isto se passa numa dimensão que nos é inacessível, num espaço com nada menos que *onze* dimensões. A unidade de distância será da ordem do comprimento de Planck, uma fracção pequeníssima do metro, numa relação semelhante à que dez miligramas têm com a massa do Sol. A Matemática envolvida é de tal forma complexa, ainda mais que a Geometria riemanniana utilizada na descrição dos espaços curvos da Relatividade Geral de Einstein, que dificulta ou torna mesmo impossível efectuar previsões que possam ser testadas experimentalmente /8/.

E, tudo isto, só porque a Força da Gravidade, principalmente ela, resiste à unificação pacífica. Com a Bomba “M”, declarou-se guerra aberta à Força da Gravidade. Porém, tudo leva a crer que ela sobreviverá a mais este ataque.

3. QUERIDA, MUDEI DE ESCALA!

“Tudo se passa de algum modo, como se tivéssemos uma sucessão de mundos dentro de mundos, com leis específicas diferentes e com princípios de estabilidade comuns.”/6/

Jorge Dias de Deus

A Dinâmica relaciona as forças com os movimentos que elas provocam. Pressupõe, assim, que os movimentos têm causas – as forças. Sem este pressuposto, a Dinâmica perde a sua razão de ser; para que faça sentido, é necessário que se acredite na existência de causas. No processo científico não tem cabimento a existência de quaisquer preconceitos, sejam de que ordem forem (religiosos, racionalistas ou até científicos). Admitir a “crença” na existência de *forças* representa, simplesmente, um passo na procura das causas fundamentais de todos os fenómenos. E, tal como a sabedoria oriental nos ensina, qualquer longa caminhada começa com um simples passo.

Assume-se que *força* seja a *causa* da alteração do estado de movimento (ou de repouso) dos corpos. Pode, no entanto, não corresponder a nenhuma entidade material e ser, simplesmente, uma *construção a nível do espírito* baseada em aspectos físicos tangíveis – *a massa, o espaço, o tempo, etc.* É como se estes aspectos materiais estivessem “invisivelmente ligados” pela força. Não se trata, aqui, de

analisar a natureza absoluta ou relativa dos aspectos tangíveis; o facto, porém, de se encontrarem “ligados” pela força, implica que a natureza absoluta ou relativa de umas, acarreta necessariamente a natureza absoluta ou relativa das outras.

Uma das *forças* fundamentais da Natureza é, sem dúvida, a Gravidade, “descoberta” por Isaac Newton. É possível, no entanto, que Newton tenha tido uma aproximação à Verdade, ao atribuir à massa inercial dos corpos a responsabilidade pela força de atracção gravítica, parecendo colocar-nos perante um círculo vicioso: a causa da atracção dos corpos é a força da gravidade, mas a causa da força da gravidade são os corpos (a sua massa). No entanto, se assim for, só nos resta aceitar que a Natureza nos colocou num impasse, apenas transponível à custa de uma imaginação muito fértil.

Neste trabalho, em parte baseado em raciocínios cartesianos no seu verdadeiro sentido, não se pretende, apesar disso, propor uma Verdade Absoluta – apenas, e tão só, encontrar uma melhor compreensão para as leis que regem a nossa realidade, realidade essa constituída por corpos que alteram o seu estado de movimento (ou de repouso) por acção de *forças*.

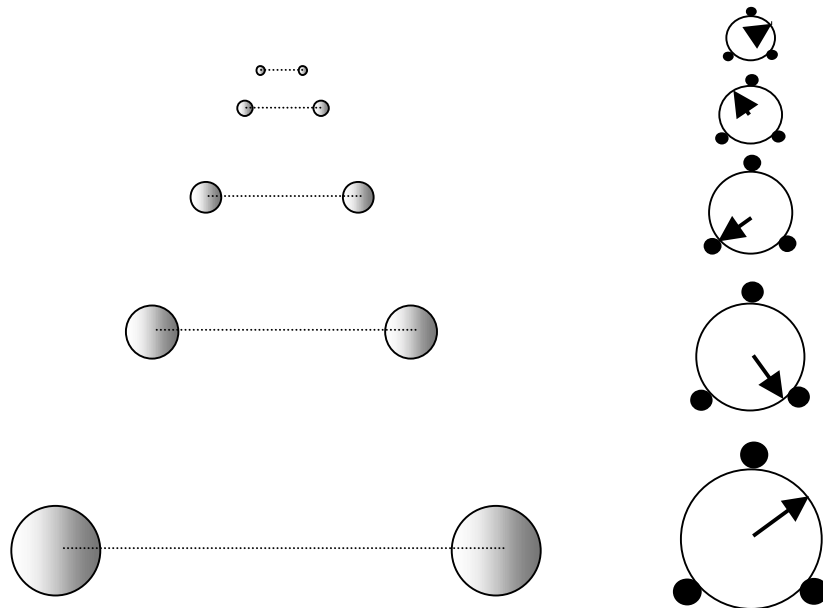
Destarte, tendo em consideração a universalidade e que a aproximação à realidade deve ser feita de forma sistémica e eclética, somos levados a admitir como princípio básico fundamental o seguinte:

“As Leis Fundamentais da Física são independentes da escala considerada e das unidades de medida das grandezas, isto é, são válidas do infinitamente pequeno ao infinitamente grande e formulam-se da mesma maneira.”

A construção de um modelo de análise consiste na elaboração de um sistema coerente de conceitos e hipóteses operacionais articuladas entre si. O princípio enunciado, correspondente ao que a Física procura (validade universal das leis), ajuda-nos a conceber, idealmente, um modelo de análise que designamos por *mudança geral e uniforme de escala* e que nos permitiu encetar a via dedutiva, pela qual se chega a conclusões semelhantes às de Newton que, pelo contrário, enveredou pela via indutiva, partindo de dados experimentais.

A hipótese de partida para a mudança geral e uniforme de escala

consiste (por agora) na multiplicação da massa, de cada uma das três dimensões do espaço e do tempo por um mesmo coeficiente ou factor de escala maior que zero. É como se mudássemos de “dimensão”: se o factor de escala for maior que um, mudamos para um mundo onde tudo é maior, tem mais massa e o tempo passa mais devagar ou, se for menor que um, para um mundo onde tudo é menor, tem menos massa e o tempo passa mais depressa.



Trata-se de uma mudança *geral* porque “todas” as propriedades dos corpos que intervêm na definição de qualquer força se alteram e *uniforme* porque se alteram na mesma proporção.

Poderá haver ou não alteração dos valores de grandezas físicas: a velocidade dos corpos, por exemplo, não se altera. A velocidade “em pequeno” é igual à velocidade “em grande”. Isto deve-se ao facto de a velocidade ser *espaço* percorrido na unidade de *tempo*; se estas grandezas aumentam na mesma proporção, a sua relação, obviamente, mantém-se. Outras grandezas, como a densidade de um corpo (relação entre a massa do corpo e o volume que ele ocupa) não se mantêm; a densidade, por exemplo, depende do inverso do quadrado do factor de escala; à medida que a escala aumenta, a densidade diminui. Se, pelo contrário, a escala diminuir, a densidade aumentará. A densidade “em

pequeno” é muito maior que a densidade “em grande”.

E a força? Como variam as forças na mudança geral e uniforme de escala? Mesmo desconhecendo qualquer expressão para as forças, elas têm que se manter.

Em primeiro lugar, a escolha das unidades de massa, espaço e tempo é arbitrária. As leis da Física não podem depender dessa escolha. Em segundo lugar, tendo escolhido as unidades, se a massa, o espaço e o tempo aumentarem na mesma proporção (e nós também), daríamos pela diferença? É óbvio que não. Tudo ficaria inalterado.

Isto quer significar que chegaríamos às mesmas leis sobre as forças a que chegamos em qualquer escala. As Leis que nos permitem calcular as forças seriam as mesmas e, se usarmos o mesmo sistema de medidas, as constantes que aparecem nessas leis devem ser, também, exactamente as mesmas.

Esta conclusão está implícita nos resultados das experiências com forças, como veremos no exemplo apresentado no capítulo seguinte.

Porém, na realidade observável, as mudanças de escala não se dão de forma geral e uniforme; a experiência mostra-nos que há, por exemplo, variações enormes nos valores de “constantes” físicas quando mudamos de escala na Natureza. Nestas mudanças “reais” de escala, as propriedades da matéria parecem alterar-se ou alterar-se-ão mesmo. Não é possível, por exemplo, aplicar às partículas elementares as mesmas leis que descrevem o comportamento dos corpos à nossa escala. Se as propriedades não se alterassem, as mudanças de escala não trariam quaisquer surpresas, as leis deduzidas em qualquer escala aplicar-se-iam noutra escala qualquer. As leis teriam uma validade geral, independente da escala considerada.

Deste modo, temos que concluir que as propriedades da matéria se alteram de facto. Se pudéssemos compreender as leis que regem as mudanças reais de escala, teríamos uma teoria capaz de descrever os fenómenos físicos em qualquer escala. Uma teoria “fractal”! Ou seja, uma teoria capaz de prever a estrutura do Universo numa gama infinita de escalas.

Os fenómenos físicos parecem ter escalas características. Ainda ninguém conseguiu, porém, definir com nitidez as fronteiras, se as houver. No que respeita a distâncias, a escala macrocósmica é mais

comodamente descrita em termos de milhares e milhões de anos-luz²⁰; a escala do átomo em potências de dez do metro, de expoente negativo, da ordem da dezena ou das duas dezenas. Temos a impressão, por isso, que entre as escalas com propriedades diferentes há saltos muito grandes.

Resta saber também, porque é que as propriedades da matéria se alteram com a escala. Dá a impressão que a Natureza, deliberadamente, impôs grandes diferenças entre essas escalas para que apenas pudéssemos (à nossa escala) usufruir de um poder limitado sobre as suas forças.

Não teremos ido já longe demais nas nossas descobertas sobre as forças? Estaremos suficientemente preparados para lidar com o poder de novas forças? Se viermos a descobrir outras forças, relacionadas com propriedades da matéria até agora desconhecidas, deveríamos ter consciência da necessidade de nos rodearmos das maiores precauções; é possível que estas ainda sejam muito mais poderosas do que as resultantes de $E = m.c^2$.

²⁰ Um ano-luz é a distância percorrida durante um ano à velocidade da luz.

4. GALILEU, NEWTON E O DESPORTO

“Tenderíamos hoje a pensar que não vai mais do que um passo das descobertas de Galileu às leis do movimento enunciadas por Newton.”/2/

Albert Einstein

Apoiado nas suas experiências com o plano inclinado, Galileu chegou à seguinte conclusão: a distância percorrida por um móvel em queda livre (sob a acção do seu peso) é proporcional ao quadrado do tempo gasto na queda.²¹

Esta regra, absolutamente lógica, aplica-se a toda a alteração de movimento provocada por uma causa constante no espaço e no tempo. A causa da alteração do movimento de um corpo passa a ser denominada por força actuante, a fim de facilitar a abordagem ao tema, distinguindo-se, desta forma, da “reacção” do corpo, medível pela alteração no movimento. A força deve ser independente da escala considerada relativamente aos aspectos tangíveis *da massa, do espaço e do tempo*, entre outros.

Para uma compreensão intuitiva do movimento sob a acção de uma força actuante constante, considere-se o exemplo prático seguinte:

²¹ A experiência do plano inclinado encontra-se descrita no “Diálogo sobre duas novas ciências” de Galileu.

Imaginemos uma competição desportiva onde o vencedor absoluto é o desportista que maior força aplicar nas provas – corridas pedestres.

Há dois corredores: um deles é duas vezes mais pesado²² que o outro. Dado o sinal de partida, os dois corredores, após uma disputa leal, acabam por percorrer a mesma distância no mesmo tempo. Quem é o vencedor? Torna-se compreensível, intuitivamente, que o vencedor é o desportista mais pesado porque teve que exercer o dobro da força para conseguir percorrer o mesmo espaço, no mesmo tempo.

Numa outra corrida, entram dois desportistas com igual peso. A corrida tem tempo limitado, findo o qual as distâncias percorridas são medidas. Quem será o vencedor deste páreo? Não teremos dificuldade em concordar que o corredor que percorreu a maior distância será o vencedor.

Última competição: desta vez, os corredores, A e B, com pesos diferentes, são induzidos a gastar o mínimo tempo possível para percorrer uma distância por eles, livremente, escolhida. No final das provas, os resultados são comparados. Como se pode agora concluir qual é o vencedor absoluto da competição?

Do elenco de juízes constavam duas figuras altamente conceituadas: o Sr. Galileu e o Sr. Newton²³. Esta composição tornou-se extremamente frutuosa para a intrincada decisão a tomar. Desta feita, após acurada análise, o júri estabeleceu critérios de classificação que permitiram o cálculo dos factores de pontuação:

- O primeiro, resultou da divisão dos pesos (massas) de cada um dos atletas pelo menor daqueles pesos;
- O segundo, da divisão de ambas as distâncias percorridas pela menor delas;
- O terceiro factor foi obtido de forma mais elaborada, dividindo o maior dos tempos despendidos pelo tempo conseguido por cada um dos concorrentes, sendo que este factor seria, no entanto, considerado duas vezes (ao quadrado).

²² De facto devíamos dizer que o desportista tem o dobro da massa do outro. Peso e massa são duas entidades físicas diferentes.

²³ O sentido figurativo é óbvio, mesmo porque Galileu e Newton não foram contemporâneos.

A pontuação final foi calculada pela multiplicação dos factores de pontuação e B foi o atleta vencedor, tal como se pode confirmar pela tabela elaborada pelo júri:

Atletas	Peso		Distância		Tempo		Pontuação
	Valor	Factor	Valor	Factor	Valor	Factores	
A	90 Kg	1	100 m	1,25	15 s	1 1	1,25
B	100 Kg	1,11	80 m	1	13 s	1,15 1,15	1,48

O concorrente A, discordou da decisão do júri e apresentou uma reclamação. Tem apenas menos dez quilos que o outro concorrente e percorreu uma distância maior. Se tivesse percorrido a mesma distância que o adversário, teria demorado menos tempo que este e, concomitantemente, conseguiria a melhor pontuação.

Galileu e Newton não quiseram que se instalasse qualquer dúvida sobre a justiça que presidiu ao apuramento dos resultados. Para comprovar da rectidão do julgamento mandaram preparar uma experiência em que duas esferas, de pesos iguais aos dos concorrentes, deviam percorrer, num plano inclinado, as distâncias por eles percorridas, nos tempos conseguidos por cada um deles. A inclinação do plano foi ajustada até se obterem exactamente as distâncias e os tempos dos dois competidores. O Sr. Newton calculou as forças actuates nos dois casos: a força actuate no caso do concorrente B era de 9,47 quilos e, no caso do concorrente A de, apenas, 8 quilos. A relação entre as forças reproduzia, exactamente, a relação entre as pontuações obtidas. Ao concorrente A só coube concordar com a pontuação que lhe fora atribuída pelo júri.

Mas, “as aparências enganam” e, em abono da verdade, o grande “vencedor” acabou por ser o atleta A. Envergonhado pela ignorância que o induziu a pôr em causa a douda decisão de tão eminentes cientistas, decidiu estudar Física. Depois de ter adquirido alguns conhecimentos, conseguiu compreender a forma como foram calculados os factores de pontuação, nomeadamente, os que lhe tinham causado maior perplexidade: os relativos ao tempo.

Se um corredor tiver o dobro da massa do outro e percorrer o dobro da distância no dobro do tempo, dever-lhe-ia ser atribuída, exactamente, a mesma pontuação que o outro. As situações são “semelhantes”. Neste caso, para calcular a mesma pontuação nos dois casos é, realmente, necessário considerar duas vezes o factor relativo ao tempo. Assim, se em vez de duplicarmos a massa, o espaço e o tempo, considerássemos o triplo, o quádruplo ou outro factor qualquer, o resultado seria, inevitavelmente, o mesmo.

E é deste modo que, intuitivamente, chegamos à conclusão que, se a força aplicada a um corpo for constante, ela é directamente proporcional à massa do corpo e à distância por ele percorrida por acção daquela força, mas inversamente proporcional ao quadrado do tempo (o tempo vezes si próprio).

O desportista “perdedor” compreendeu que, aplicando uma *mudança geral e uniforme de escala* à massa, à distância e ao tempo, a pontuação (medida relativa da força) se mantém constante.

A mudança de escala não afectou o valor da força; de acordo com o princípio básico da Física enunciado anteriormente, as leis da Natureza devem ser as mesmas do infinitamente pequeno ao infinitamente grande e a escolha das unidades de medida é arbitrária; nada nos diz porque é que devemos tomar este comprimento e não aquele para unidade de distância ou esta massa e não aquela para unidade de massa, o mesmo se passando com o tempo. Por consequência, a força é, numa mudança geral e uniforme de escala, aquilo que em Física se designa um *invariante*; esta conclusão resulta, naturalmente, do raciocínio utilizado na competição fictícia atrás descrita.

Quando um corpo, inicialmente em repouso, se movimenta sob a acção de uma força actuante constante, a sua massa, o espaço por ele percorrido e o tempo do percurso parecem “ligados” pela força estranha ao corpo; é como se o movimento do corpo espelhasse a força que sobre ele actua ou o movimento se desse sob a acção de *duas* forças em equilíbrio: a força actuante, causa do movimento, e a reacção do corpo (ou inércia) reflectida pela variação no movimento.

A reacção do corpo à força actuante existe apenas na medida em que o seu estado de movimento ou repouso se altera; qualquer que seja a força actuante sobre um corpo capaz de se mover, este “reage” com uma

força de inércia, geradora de equilíbrio: um corpo inicialmente parado, quando sujeito a uma força constante, “desenvolve” uma inércia que equilibra de tal modo a força actuante que esta pode ser medida pela multiplicação da massa do corpo pelo espaço percorrido, dividindo-se a seguir este resultado duas vezes pelo tempo gasto no percurso. Porém, o que, deste modo, se calcula não é senão a “reacção” do corpo ou seja, a sua inércia; a força actuante, causa da alteração do movimento, tem, por seu turno, uma natureza diferente. A intervenção das personagens de Galileu e Newton no contexto deste capítulo deve-se ao facto de Galileu ter estudado apenas o movimento dos graves (portanto, a sua inércia) ao passo que Newton considerou esta em equilíbrio com a força actuante; no caso dos atletas a sua “força” ou, no caso das esferas da experiência do plano inclinado, o seu peso, sendo ambas equilibradas pela “inércia” dos corpos.

A força de inércia aqui referida opõe-se, essencialmente, à alteração da velocidade dos corpos; veremos, num próximo capítulo, que os corpos possuem, para além desta inércia, um outro tipo de inércia que se opõe à mudança de direcção do seu movimento, de acordo com o que, aliás, a 1.^a Lei de Newton faz prever: os corpos tendem a permanecer no seu estado de repouso ou de movimento *uniforme* (e) em *linha recta*, o que significa que, para fazer um corpo alterar o seu estado de repouso ou movimento, devemos ter em consideração as “resistências” que ele oferecerá, quer à alteração da velocidade, quer à mudança de direcção.

A mudança geral e uniforme de escala permitiu, no exemplo referido, chegar, de uma forma a que se pode chamar “natural”, à 2.^a Lei de Newton; embora o resultado não coincida, exactamente, com o enunciado de Newton, pode considerar-se equivalente.

A mudança geral e uniforme de escala equivale, para a Física, às semelhanças de figuras que permitem a demonstração de muitos teoremas em Geometria²⁴. A utilização de relações de semelhança é conhecida de há longa data; considera-se ser Tales de Mileto²⁵ o precursor da utilização de relações de semelhança geométricas. Por isso, foi dado o seu nome ao célebre teorema da Geometria, cujo enunciado é:

²⁴ Com efeito, a Geometria pode ser vista como uma parte da Física na medida em que trata das propriedades da entidade física que é o espaço.

²⁵ Tales de Mileto, (640 a. C.- 545 a.C.), primeiro grande filósofo (grego) a surgir no Ocidente.

“Quando duas ou mais rectas concorrentes num ponto são cortadas por rectas paralelas, os comprimentos dos segmentos correspondentes resultantes destes cortes são proporcionais entre si, sendo a proporcionalidade igual em todas as rectas do feixe”.

Outro sábio grego, Eratóstenes²⁶, calculou o raio da Terra considerando a semelhança entre a Terra e uma esfera de dimensões muito menores, tendo chegado a um resultado extraordinariamente próximo do valor real.

É possível que a aplicação da mudança geral e uniforme de escala se torne útil na resolução de problemas da Física, substituindo os métodos de análise algébricos por uma análise quasi-geométrica, de apreensão mais simples. No capítulo que se segue, exemplifica-se a dedução da Lei da Gravitação de Newton, com base neste modelo de análise.

²⁶ Eratóstenes, (275-192 a.C.), filósofo grego.

5. O ERRO DE NEWTON!

“...teriam de existir princípios primeiros que deviam ser aceites como verdadeiros porque claros e nítidos, de forma que nenhum homem pudesse duvidar deles;...”

Descartes

O estudo atento da lei da queda dos graves, de Galileu, bem como das leis de Kepler sobre o movimento dos planetas conduziu Newton à hipótese da atracção universal: todos os corpos exercem uma força de atracção recíproca devida à sua própria *massa*, tendo sido esta entendida como a *quantidade de matéria* neles contida.

“A matéria atrai a matéria” foi a hipótese da qual Newton, implicitamente, “partiu” para chegar, por via indutiva, à Lei da Atracção Universal. Baseou-se em dois factos experimentais relevantes: o conhecimento da força centrífuga que actua sobre os corpos em movimento circular uniforme e a Lei dos Períodos de Kepler para os planetas, assuntos que serão abordados posteriormente.

“Newton viria a declarar mais tarde, fazendo eco de Bacon, que as suas leis do movimento tinham sido apreendidas por indução: as leis da Natureza de Descartes eram dedutivas e talvez ele ficasse surpreendido se lhe

dissemessem que semelhantes leis universais pudessem ser racionalmente apreendidas.”/10/

Tentar-se-á mostrar que a Lei da Atracção Universal poderia, de facto, ter sido obtida directamente da hipótese de Newton, pela via dedutiva de Descartes.

Efectivamente, se se aplicar *a mudança geral e uniforme de escala* à hipótese de que a massa dos corpos é a causa de uma força de atracção estática (em que podemos medir a força porque ela se encontra em equilíbrio com uma força conhecida, a centrífuga), chegar-se-á à conclusão, tal como o desportista “perdedor”, que o valor da força se mantém.

Ao considerar-se que a força de atracção entre dois corpos se deve às suas massas deduz-se que é directamente proporcional à massa de cada um deles; ao efectuar-se, depois, a mudança geral e uniforme de escala, multiplica-se a massa dos dois corpos e a distância entre eles por um factor arbitrário a que chamamos factor de escala; para que, nestas circunstâncias, a força se mantenha constante, teremos que dividir *duas* vezes o resultado anterior pelo factor de escala utilizado, factor este que representa, no caso considerado, a distância.

Destarte chegamos, de forma dedutiva, à Lei da Atracção Universal, enunciada por Newton em 1682:

“Dois corpos materiais exercem um sobre o outro uma atracção directamente proporcional às suas «massas», e inversamente proporcional ao quadrado da sua distância.”

Como o raciocínio seguido é independente da propriedade da matéria que se considera a causa da força (no caso da gravitação será, quiçá, a massa ou quantidade de matéria), o mesmo se pode aplicar a outros fenómenos de interacção estática, qualquer que seja a sua causa (carga eléctrica, carga forte ou carga fraca). Todos se regem por leis formalmente idênticas. Se a constatação experimental revelasse, por exemplo, que duas “cargas” eléctricas da mesma natureza se repelem, chegaríamos, pelo mesmo raciocínio, a um resultado semelhante.

Charles Coulomb, que estabeleceu experimentalmente a lei da atracção e repulsão entre cargas eléctricas em 1785, seguiu uma via menos sinuosa do que a de Newton. Aceitando os resultados

experimentais, provavelmente, terá suscitado que a expressão que traduz a lei da atracção das massas de Newton não era exclusiva do fenómeno da gravitação; a lei de interacção entre cargas eléctricas é, formalmente, idêntica à lei de atracção universal, bastando para tal, substituir o papel da massa gravítica por carga eléctrica e considerar uma constante diferente. Há, porém, nos dois fenómenos, uma diferença fundamental: ao passo que a força eléctrica tem como causa uma propriedade da matéria com essa função exclusiva e actua sobre a massa dos corpos, a força gravítica é atribuída, exactamente, à mesma propriedade sobre a qual ela (força gravítica) actua – a massa.

O que é a “massa” que aparece na Lei da Gravitação? Será a mesma que é a causa da resistência dos corpos ao movimento? Representarão as duas “massas” a mesma propriedade da matéria? Newton envidou esforços no intuito de descobrir a possível existência de uma propriedade da matéria distinta da massa de inércia e responsável pela força gravítica. No entanto, esses esforços revelaram-se infrutíferos, pelo que na formulação das leis da gravitação as duas “massas” tivessem sido consideradas uma mesma propriedade da matéria. Einstein, como referimos já, confrontou-se com esta mesma questão e, inclusivamente, ter-se-á perguntado como teria Newton sido capaz de “aceitar” que a massa de inércia fosse a mesma que origina também a força da gravidade, quando, intuitivamente, não fazia qualquer sentido. Contudo, acabou, tal como Newton, por concordar que as duas “massas” são idênticas. E é aqui que reside, tanto quanto parece, o fulcro da questão da Unificação das Forças da Natureza. Se a massa “inercial” é, de facto, igual à “gravítica”, não há, provavelmente, Unificação pacífica dessas forças. Esta questão será retomada mais adiante.

Por ora, atente-se na questão seguinte, levantada pela constatação da existência de forças que actuam “invisivelmente”, no caso presente, a gravidade:

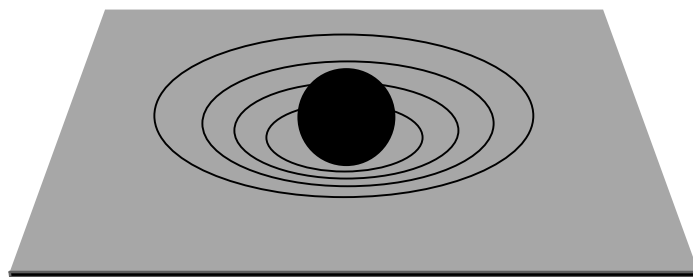
Newton, ao debruçar-se sobre o enigma da atracção gravitacional, concluiu que o mecanismo envolvido é de índole *imaterial*, admitindo com isto, tratar-se de um dos grandes mistérios da Natureza, por não ter encontrado respostas plausíveis para perguntas do tipo:

“O que é que torna possível que dois corpos se atraiam à distância, sem qualquer ligação material entre eles?”

Efectivamente, como é que um corpo pode “sentir” a presença de outro? Como se processará esta troca de informação entre corpos “inertes”? Einstein, relativamente a este enigma, propôs uma interpretação menos “espiritual” que a de Newton mas, ainda assim, metafísica. A gravidade provoca uma deformação do espaço e do tempo, de tal modo, que um corpo que nele se encontra, apenas se desloca ao longo do caminho mais “curto”. Esse caminho não é, necessariamente, uma linha recta do nosso espaço vulgar.

Como deveremos entender a deformação do espaço e do tempo? Embora essa deformação seja passível de uma descrição matemática, todavia é impossível imaginá-la; não é física, embora se enquadre num modelo matemático. Para nos fazer “aceitar” a verosimilhança desta hipótese, recorre-se frequentemente à imagem bidimensional de uma membrana elástica em que o peso de uma bola provoca a sua deformação, podendo bolas mais pequenas, atiradas sobre a membrana, descrever trajectórias circulares ou elípticas em torno da bola maior ou ser atraídas para ela. Esta situação explicaria, respectivamente, a gravitação dos planetas e a queda dos graves.

Será isto mesmo o que se passa no espaço a quatro dimensões de Einstein–Minkowski e nós, simplesmente, não temos capacidade de apreender a verdadeira realidade física? Há que reconhecer que não é, de facto, fácil, para não dizer impossível, imaginar uma semelhante deformação; nem sequer de um espaço tridimensional, quanto mais de um espaço a quatro dimensões.



Toda e qualquer “justificação” para as interacções à distância, sem qualquer suporte material, colide, forçosamente, com o objectivo da

Física de desmistificar os fenómenos naturais. Para tanto, há uma tentativa em justificar essas interacções através de causas materiais, as “partículas de força”. Actualmente, os físicos consideram que o mecanismo da atracção gravítica se deve a uma partícula a que chamam de “gravitão”. O gravitão é emitido por uma massa, viaja à velocidade da luz, até encontrar uma outra massa, para lhe transmitir a “informação” de que está a ser atraída. Como será que se processa a informação através do “mensageiro” chamado gravitão? Se se tratasse de uma força de repulsão, seria mais fácil aceitar o papel do gravitão, já que seria um projectil disparado contra um corpo, ao qual daria um impulso que provocaria o seu afastamento em relação à origem do disparo. Mas, o gravitão é visto como um “mensageiro” e não tem exclusividade no desempenho desse papel: também os fótons, os glúons e os bósons são outros “mensageiros” de forças que interagem com a matéria de formas semelhantes. Estas interpretações não obedecem a qualquer lógica e, por isso mesmo, ninguém, no fundo, as aceitará incondicionalmente.

Poder-se-á colocar a hipótese dos corpos possuírem, de per si, a capacidade de “sentir”, de ter “consciência” da presença de outros. Alguns corpos devem “saber” que estão na proximidade de outros e “reagem” segundo um padrão de comportamento que tem a ver com as afinidades existentes entre eles.

À Física competiria descobrir o padrão de comportamento da matéria, reduzindo todos os seus comportamentos a esse padrão único e determinante. Das partículas mais ínfimas de matéria aos mais gigantescos sistemas celestes, tudo obedecerá ao mesmo padrão de comportamento.

Sabe-se que, para se conseguir um comportamento padronizado é imprescindível a existência de leis que o determinem. As leis hierarquicamente inferiores subordinam-se a leis fundamentais, quiçá, uma Lei Fundamental que determina um Objectivo. Deste modo, postular-se-ia que a existência de leis universais da Natureza “obrigam” a matéria a ter determinados comportamentos que são, obviamente, semelhantes e têm um objectivo a atingir.

Da organização “espontânea” da matéria infere-se da existência de leis. Mais, constata-se que essa organização evolui no sentido de uma

complexidade maior e, em última análise, rumo à Consciência.

As teorias físicas, melhor, A Teoria Física, deveria ser, não um simples modelo matemático da realidade cuja validade se possa medir, apenas, pelo seu poder de previsão e/ou pela beleza das suas expressões mas, em primeiro lugar, a explicação filosófica e humana da Natureza. O seu poder de previsão e a sua beleza seriam, no entanto, de certo muito superiores aos das actuais teorias.

A Matemática é, para a Física, um instrumento valioso do pensamento lógico, da quantificação e da previsão. A sua aplicação, a nível da Física, pode estar por vezes limitada pelo seu diferente estágio de desenvolvimento. Quando Newton pretendeu “solidificar” a sua Mecânica, sentiu a necessidade de utilizar ferramentas matemáticas até aí inexistentes, tendo sido levado a construí-las, tal como o artífice se debate com a falta de utensílios necessários à execução de uma obra inusitada.

A ferramenta matemática que foi necessário desenvolver para a Mecânica newtoniana foi o Cálculo Infinitesimal, cuja autoria Newton disputou com Leibniz. Contudo, a aplicação do Cálculo Infinitesimal na previsão do comportamento de sistemas reais, compostos de vários corpos, esbarra rapidamente num número muito elevado de equações que, na prática, se torna impossível de resolver. Já houve quem aventasse a hipótese (Laplace, por exemplo), que seria possível prever matematicamente o comportamento do Universo através das leis da Mecânica de Newton. Diante disso, o futuro seria perfeitamente previsível; cientificamente determinado. Hoje, sabe-se que, mesmo o tratamento de sistemas mecânicos relativamente simples, três corpos por exemplo, requer uma capacidade de cálculo enorme e as previsões de evolução do sistema que, em certos casos, se conseguem calcular, são muito sensíveis às condições de partida; um pequeno “erro” inicial pode originar um grande “erro” final.

O desenvolvimento independente da Matemática em relação à Física, conduziu aquela a abstrações, por vezes, tão avançadas que se torna difícil perceber a correspondência existente entre essas abstrações e a realidade. O desenvolvimento de modelos matemáticos da Física tem como fundamento a convicção de que as abstrações matemáticas se aplicam, necessariamente, à realidade. Um exemplo flagrante é dado

pelos “espaços” multi-dimensionais. Se podem existir abstractamente, porque não haveremos de acreditar na sua existência real? Não obstante, o vocábulo que os físicos usam para designar a “coisa” tridimensional que qualquer indivíduo reconhece como sendo o lugar onde os corpos existem e se movem, é *espaço*; em Matemática o mesmo vocábulo é atribuído a “coisas” muito abstractas e o *espaço físico* encontra correspondência, unicamente, numa dessas “coisas”. Sustentar que o espaço físico tem mais do que três dimensões e nós, simplesmente, não estamos “familiarizados” com a sua percepção, é penetrar no domínio da Metafísica matemática.

A preocupação fundamental da Física deveria recair sobre os princípios em que se baseiam as teorias. Esses princípios, uma vez refinados, poderiam abrir-nos as portas a modelos matemáticos cartesianos que, além de belos, estivessem mais de acordo com a realidade e, quem sabe...

...talvez um dia, o “sonho de Einstein” se venha a tornar realidade – uma Física única, do infinitamente pequeno ao infinitamente grande.

6. O ETERNO BAILADO

“...A Terra gira à volta do Sol, que, ele mesmo, está em movimento em volta do centro da Via Láctea...Onde pára este fantástico bailado? /9/

Jean Guilton

Uma das forças que nos é bastante familiar é, indubitavelmente, a força centrífuga. A máquina de lavar roupa, electrodoméstico vulgarizado, tem um programa a que se dá o nome de *centrifugação*: o tambor da máquina roda com uma velocidade muito superior à de lavagem normal e, em consequência, a água contida na roupa é projectada para fora do tambor através de orifícios. A que se deve esta força, apelidada de centrífuga²⁷, que parece “actuar” sobre os corpos quando se encontram a rodar e que se “exerce” para fora da trajectória circular.

Um conhecimento mais detalhado da força centrífuga advém de experiências adequadas ao exercício da mesma. Tal como o plano inclinado permite relacionar o peso de um corpo com o espaço por ele percorrido e com o tempo de percurso, também, neste caso, socorrendo-nos do auxílio de um disco rotativo, podemos investigar a dependência

²⁷ Do latim, *centrum fugere*, fugir do centro.

da força centrífuga relativamente às grandezas que caracterizam o movimento circular uniforme.

No movimento em linha recta por acção de uma força, esta é constantemente equilibrada pela inércia do corpo. No movimento em círculo deparamo-nos com um novo tipo de inércia, que é representada pela força centrífuga. Tal como no movimento rectilíneo, também aqui, a inércia está relacionada com a massa do corpo, com o espaço por ele percorrido e com o tempo do percurso; a força actuante que a origina é, de igual modo, de sentido contrário à inércia e recebe, por isso, o nome de força centrípeta²⁸.

Se, relativamente a um corpo animado de movimento circular uniforme, isto é, de velocidade constante, tomarmos o perímetro do círculo como a distância de referência que ele percorre, o tempo necessário para que o corpo percorra esta distância designa-se por *período*.

No movimento circular uniforme, uma mudança geral e uniforme de escala, não afecta nem o valor da força actuante (centrípeta), nem o da inércia (centrífuga), forças estas que permanecem em equilíbrio durante o movimento. Se ampliarmos uniformemente (multiplicarmos pelo mesmo valor) a massa do corpo, o perímetro do círculo e o período, a força centrífuga (inércia) fica invariável. Isto permite-nos afirmar que a força centrífuga é directamente proporcional à massa do corpo, ao perímetro do círculo e ao inverso do quadrado do período.

Enquanto a força centrífuga se manifesta perpendicularmente à direcção do movimento, a inércia do movimento rectilíneo tem a mesma direcção do movimento o que evidencia as suas naturezas distintas. A força centrífuga é π vezes superior à inércia do movimento rectilíneo, ambas referidas à mesma massa que percorra a mesma distância no mesmo intervalo de tempo.

π («pi», letra do alfabeto grego) é a designação atribuída ao número 3,14159..., número este que tem sido considerado, desde tempos imemoriais, dos mais misteriosos da Natureza e, por conseguinte, da Ciência. É o resultado da divisão do perímetro de qualquer círculo pelo seu diâmetro. De uma forma mais concludente, diremos que em todo e

²⁸ Do latim, *centrum petere*, pender para o centro.

qualquer círculo, independentemente da sua dimensão, há uma relação comum, invariável: π . Daqui se depreende que a relação evidenciada no parágrafo anterior seja, de certo modo, natural.

Se no movimento circular uniforme de um corpo a força actuante (centrípeta) se encontra em equilíbrio com a inércia (centrífuga), como as duas forças são iguais e opostas, o efeito delas sobre o corpo resulta como que “nulo”. O corpo pode permanecer, indefinidamente, a girar com a mesma velocidade, se não for, de alguma outra forma, travado. O círculo descrito pelo movimento do corpo mantém-se sempre no mesmo plano, plano este que permanece em repouso absoluto relativamente a todo o Universo.

Aprofundemos um pouco mais o movimento em linha recta e o movimento circular, qualquer deles sob a acção de forças constantes; no movimento em linha recta, se o corpo partir do repouso, a força actuante origina um movimento condicionado pela inércia e a velocidade do corpo aumenta uniformemente com o tempo; a inércia opõe-se, neste caso, à variação de velocidade que a força pretende provocar; no movimento circular uniforme, a força centrífuga opõe-se à força actuante que pretende *desviar* o corpo da sua trajectória rectilínea, mas a velocidade do corpo permanece constante. A força centrífuga é, nitidamente, a reacção (ou inércia) do corpo à mudança de direcção.

No movimento de um planeta em torno do Sol, o equilíbrio vem expresso pela igualdade entre a força de atracção recíproca dos dois corpos celestes e as suas “forças de inércia”. Tendo o Sol um movimento muito mais lento que o planeta, facto que resulta da diferença entre as suas massas, o movimento do planeta parece dar-se em torno de um Sol parado²⁹. Os planetas descrevem, contudo, órbitas elípticas e não circulares, em consequência de oscilações das forças actuantes e de inércia relativamente a uma situação de equilíbrio entre elas; as duas componentes da inércia, tal como a força de atracção actuante, sofrem variações cíclicas, mas em cada instante verifica-se um equilíbrio global de forças, como se verá mais adiante.

Recorrendo ao conceito de *energia*, é possível compreender a forma elíptica das órbitas dos planetas. Um corpo em movimento tem

²⁹ Na realidade, os dois corpos celestes giram em torno do seu *centro de massa*, situado no interior do Sol, mas que não coincide com o centro do Sol.

uma certa quantidade de energia cinética³⁰. A força centrífuga está relacionada com esta energia de movimento “armazenada” pelo corpo em rotação. Uma variação desta energia armazenada influencia a força centrífuga ou o raio da trajetória ou ambos. Se a energia cinética do corpo for constante, a variação do raio implica a variação da força centrífuga e vice-versa. Inversamente, para haver uma variação só do raio ou só da força centrífuga é necessário haver uma alteração da energia cinética do corpo.

A energia cinética média dos planetas é constante, o mesmo é dizer-se que a sua velocidade média não se altera, oscilando entre dois valores extremos durante o movimento de translação. Ao descreverem órbitas elípticas, em que o Sol ocupa um dos focos da elipse, a sua velocidade aumenta quando se aproximam do Sol e diminui quando se afastam. Como se pode explicar este estado de equilíbrio dinâmico? Será um equilíbrio estável?

À imagem e semelhança das relações sociais, recíprocas e intersubjectivas, devidamente regulamentadas para se estabelecer uma certa ordem, também os comportamentos da matéria estão sujeitos a leis, mas de uma ordem superior, sendo por isso, imutáveis e invioláveis.

Assim, um corpo a orbitar em torno de outro possui dois tipos de energia cuja soma é, por lei, sempre constante: a energia cinética de que já falámos e que depende da velocidade do corpo e o trabalho que a força *centrípetra* poderia realizar sobre o corpo se não existisse a centrífuga. Se não existisse a força centrífuga o resultado do trabalho realizado pela força centrípeta seria puxar o corpo para o centro. Daqui infere-se que a força centrípeta tem a potencialidade de realizar esse trabalho que acaba por não ser realizado pela presença da força centrífuga que contraria a centrípeta. Logo, a energia equivalente a esse trabalho é denominada “energia potencial”.

Depreende-se, assim, que os planetas sofrem variações cíclicas de energia cinética, variações essas que são “compensadas” por variações da energia potencial, permanecendo a soma instantânea das duas energias sempre constante: quando o planeta se afasta, a sua energia potencial aumenta e a cinética diminui; quando o planeta se aproxima,

³⁰ O prefixo *cine* (do Grego) significa movimento.

dá-se o inverso. Os valores médios, quer da energia cinética quer da potencial, resultam, assim, constantes.

O aumento progressivo da energia cinética acarreta um aumento correspondente da força centrífuga que acaba por “vencer” a força de atracção, provocando o afastamento do planeta e o aumento da sua energia potencial. O aumento desta implica a diminuição da energia cinética e o enfraquecimento da força centrífuga que será, desta vez, vencida pela atracção, provocando a aproximação do planeta...; e assim, sucessivamente.

Para os planetas, o Sol está, praticamente, parado no centro do Sistema Solar. Relativamente ao Sol “parado” a Terra gira a uma velocidade de cerca de 30 quilómetros por segundo! Mas o Sol, de facto, também gira em torno do núcleo da Via Láctea a uma velocidade de perto de 240 quilómetros por segundo! E a galáxia? É possível que, de igual modo, esteja animada de uma velocidade ainda superior em torno do centro do grupo de galáxias. Onde pára este rodopio? No infinito?

Na hipótese de um Universo infinito, onde o movimento circular se vai ampliando sempre, a Terra, ou qualquer outro corpo, já teria atingido a velocidade limite no referencial absoluto, se esta velocidade existisse. Se já tivéssemos atingido a velocidade limite, estaríamos perante um paradoxo: “sabemos” que podemos aumentar de velocidade em todas as direcções do espaço. Universo infinito é, portanto, incompatível com velocidade limite. Em sentido inverso, havendo velocidade limite, o Universo é, necessariamente, finito.

7. A INÉRCIA É FUNDAMENTAL

“Matou-se o Sagrado em nome da Razão mas, afinal, ficou provado que os cientistas, armados da Matemática e da Lógica, se bloqueiam de perplexidade perante o «evidente» ”. /1/

Adalberto Alves

Afinal o que é isso da inércia de que temos falado? Dá a impressão que os corpos reagem às forças; e esta reacção é, também ela, uma força que gera o equilíbrio relativamente às forças actuates. Desta feita, a inércia manifesta-se em oposição à alteração da velocidade dos corpos e/ou em oposição à alteração da direcção da sua velocidade.

Assim, um corpo em queda livre, partindo do repouso, encontra-se sob a acção de duas forças iguais e de sentidos opostos: a *gravidade*, representada pelo peso do corpo, e a *inércia* do movimento em linha recta, a que chamaremos, doravante, *inércia linear*; um planeta em órbita em torno do Sol está sob a acção de duas forças iguais e de sentidos opostos: a *gravidade*, resultante da atracção universal, e a *força centrífuga* a que chamaremos *inércia circular*.

Em geral, quando uma força qualquer actua sobre um corpo, origina, simultaneamente, os dois tipos de reacção por parte do corpo: a *inércia linear*, que equilibra a “parte” da força actuate que tende a

alterar a velocidade do corpo e a *inércia circular*, que equilibra a “parte” da força que tende a alterar a direcção do movimento; daqui resulta a ilusão da força actuante se encontrar “dividida” em “duas partes” e, por isso, competir ao corpo equilibrar a “soma” dessas duas “partes”.

Nos casos extremos, quando a força actuante tem a direcção da velocidade ou uma direcção que lhe é perpendicular, o corpo adquire, respectivamente, movimento linear de aceleração constante ou movimento circular uniforme, situações particulares que já foram analisadas anteriormente. Porém, no caso geral, os movimentos dos corpos podem ter velocidades e direcções variáveis; donde se infere que, em regra, eles reagem às forças actuantes com as duas inércias, simultaneamente; estas podem, portanto, ser consideradas como sendo “parcelas” (componentes) de uma única Inércia.

Se a Inércia tem duas componentes distintas, qualquer força actuante é, conforme os casos, equilibrada quer por uma só delas, quer pelas duas em simultâneo. Qualquer tipo de força actuante pode, por isso, ser tratada, também, como tendo “duas componentes”, como atrás já referido: uma em equilíbrio com a inércia linear do corpo e outra em equilíbrio com a inércia circular.

Por conseguinte, independentemente da natureza da força actuante (gravítica, eléctrica ou outra), há, em geral, *dois efeitos diferentes* sobre o corpo sujeito à sua acção. Mais uma vez, será bom insistir neste ponto, por vezes podemos ser levados a pensar que o corpo reage a duas forças actuantes distintas quando, afinal, é a própria inércia do corpo que origina dois tipos diferentes de reacção a uma única força actuante.

Quando, por exemplo, um corpo electricamente carregado (carga eléctrica) se desloca, a inércia circular de cargas existentes nas proximidades leva-nos a supor que a carga em movimento dá origem a uma *força magnética*, perpendicular à força eléctrica que faz deslocar o corpo carregado; do mesmo modo, se fosse possível aplicar a um planeta em órbita circular uma força que actuasse no sentido em que fizesse aumentar a sua velocidade, constatar-se-ia que o planeta se afastaria do Sol, “impelido” por uma estranha “força” que se desenvolveria perpendicularmente à força aplicada. Aquela “misteriosa” força, semelhante a uma *força magnética*, poderia designar-se por força magneto-gravítica mas, na verdade, trata-se, simplesmente, de um efeito

aparente da inércia circular do planeta.

O que se tem vindo a referir sobre a inércia em geral reforça a convicção de que esta propriedade da matéria é independente das propriedades que originam as forças actuates, quaisquer que sejam; é pouco provável, por isso, que a força gravítica possa ter origem na substância (massa) sobre a qual actua. Porém, mesmo que assim fosse, nada impede a separação ideal das duas noções, como se de duas coisas distintas se tratassem; deste modo, a *massa de inércia* deveria ser entendida como a substância sobre a qual as forças actuam, enquanto a *massa gravítica* seria a propriedade dos corpos considerada a “causa” da força gravítica. O facto de não serem distinguíveis, não deveria constituir obstáculo para que se considerasse as duas “massas” como representando propriedades distintas da matéria.

A inércia, por si só, não põe os corpos em movimento nem lhes altera a velocidade. O movimento de um corpo reflecte, apenas e tão só, a existência de forças (ou causas) cujas causas são “propriedades” da substância e não a substância em si. A substância em si será, apenas, a “causa” da força de inércia. A força gravítica não tem, nem é necessário que tenha, a mesma “causa” que a inércia; será, sim, equilibrada por ela, como qualquer outra força o será.

Um corpo só altera o seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha recta, quando uma força “estranha” actuar sobre ele; o movimento do corpo reflecte um estado de equilíbrio com a inércia. A inércia é, por assim dizer, a imagem no «espelho» das forças actuates e gera, por conseguinte, simetria; a tão desejada simetria que a Física “exige” da Natureza resulta, afinal, da inércia dos corpos. Ela equilibra, ou seja, é o “reflexo” de toda e qualquer força que a transcende.

Se, relativamente a um corpo em movimento, estabelecermos a igualdade:

$$\textit{Força actuante} = \textit{Força de Inércia}$$

o movimento do corpo fica definido pelo equilíbrio entre estas duas forças em que qualquer delas é a imagem reflectida da outra. Para cada uma daquelas forças foi estabelecida, de uma forma independente, isto é, sem qualquer inter-relação, uma determinada fórmula específica, que lhe é própria. O sinal de igualdade da expressão traduz a simetria entre

aquelas forças (de valor igual mas opostas). A igualdade não significa, de forma alguma, tratar-se de uma e a mesma força.

No caso particular de um corpo em queda livre, teremos:

$$\text{Peso} = \text{Inércia linear}$$

Ou, para um corpo em órbita circular, considera-se que:

$$\text{Peso} = \text{Inércia circular}$$

No caso geral, a força actuante é equilibrada pelas duas inércias já referidas (componentes da Inércia Total). Como as duas inércias são perpendiculares entre si, a sua “soma” (ou resultante) é obtida pela aplicação do Teorema de Pitágoras:

$$\text{Força}^2 = \text{Inércia linear}^2 + \text{Inércia circular}^2$$

A consideração simultânea das duas *inércias* explica a existência de movimentos mais complexos que os movimentos uniformemente acelerados ou os circulares uniformes; estes não passam, afinal, de casos particulares dos movimentos causados pelas forças.

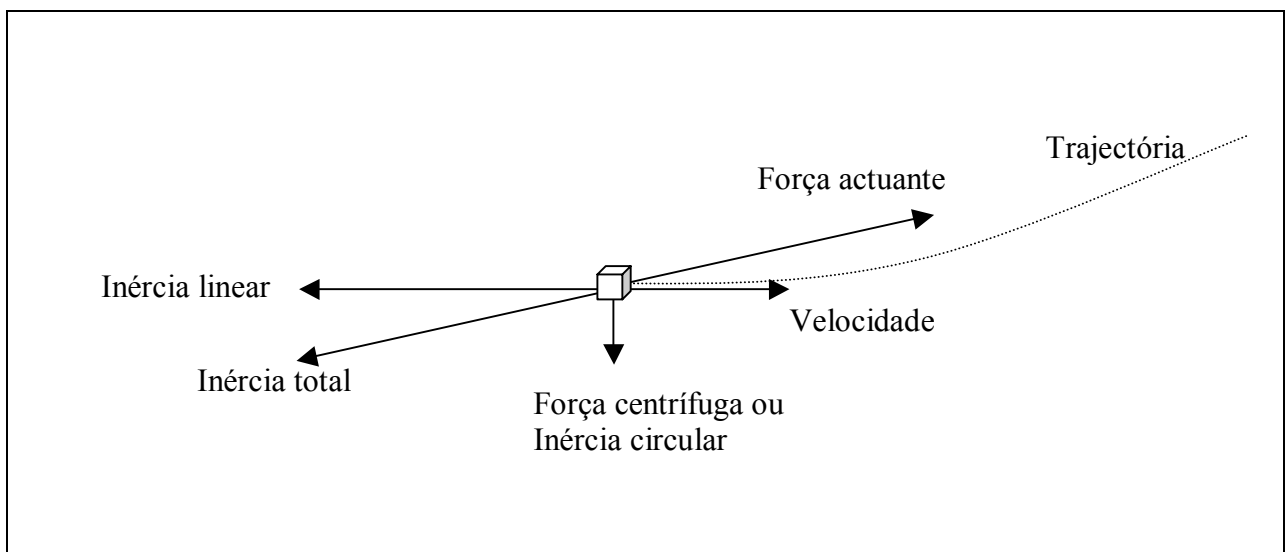


Fig. 1

Se decompusermos, adequadamente, uma força actuante em duas “partes”, podemos dizer que a parte equilibrada pela *inércia linear* é a “causa” da variação da velocidade; e a parte equilibrada pela *inércia circular* é a “causa” do desvio da trajectória. A trajectória de um corpo

será determinada pelo *equilíbrio entre a Força Actuante e a Inércia Total* do corpo, esta sim, composta por “duas partes” distintas.

A *inércia linear* que se manifesta, por exemplo, na queda dos graves à superfície da Terra caracteriza-se por um aumento uniforme da velocidade do corpo em queda, à razão de 9,8 m/s em cada segundo. A *inércia circular* manifesta-se, por exemplo, no movimento dos planetas em torno do Sol que se caracteriza por uma relação constante entre o cubo do raio da trajectória (órbita) e o quadrado do tempo de revolução em torno do Sol (período), relação esta descoberta por Kepler e de que falaremos mais adiante.

A inércia é fundamental. É ela que determina o comportamento dos corpos sujeitos a forças de qualquer natureza. A apreensão do significado de inércia pode ajudar-nos a compreender questões de vária natureza, inclusive cosmológicas.

Consideremos, por exemplo, a questão relativa à possibilidade do Universo ser fechado ou aberto. Supõe-se (ou sabe-se) que o Universo está em expansão. As galáxias afastam-se umas das outras com uma velocidade que aumenta com a distância a que elas se encontram. Esta expansão do Universo leva-nos a imaginar que, no passado, as galáxias estavam mais próximas umas das outras e tudo terá tido origem num ponto onde toda a matéria do Universo estaria concentrada (teoria do Big-Bang). De algum modo, porém, a actual expansão é contrariada pela força da gravidade que tende a juntar os corpos. Não se sabe, contudo, se a densidade do Universo é suficiente para fazer inverter a expansão e se, neste caso, as condições que deram origem à grande explosão se irão repetir no futuro. Se a expansão for reversível, o Universo diz-se fechado. Se, pelo contrário, a expansão for irreversível, o Universo diz-se aberto.

Um Universo fechado parece-nos incompatível com a existência da inércia circular que permite aos corpos manter as distâncias entre si, mesmo sujeitos à acção da gravidade. Não vemos qualquer razão para que o Universo seja fechado; cremos, pelo contrário, que a existência da inércia circular fará com que, se a expansão do Universo vier, porventura, a inverter, não se dê a compressão do Universo até à dimensão de um único ponto, como afirma John D. Barrow em /4/:

*“Mesmo numa perspectiva newtoniana da gravitação....
Se colocarmos uma nuvem de poeiras no espaço, as suas
partículas vão sentir a atracção gravítica mútua e,
consequentemente, a nuvem contrai-se.”*

Se se colocar, uma a uma, no espaço, partículas de poeira paradas, talvez! Aí, a atracção entre elas seria, inicialmente, equilibrada apenas pela inércia linear e as partículas poderiam, eventualmente, juntar-se. Mas se a nuvem for constituída por partículas em movimento que não perdem a sua energia cinética, a inércia circular encarregar-se-á de manter as distâncias. Mesmo partículas inicialmente em repouso, depois de se porem em movimento, alteram, muito provavelmente, as condições necessárias para se juntarem todas num mesmo ponto. Mesmo que isso acontecesse, para onde iria a energia potencial do sistema?

O Cosmos pode considerar-se uma nuvem de poeira em que os grãos de poeira são os corpos celestes e essa nuvem de poeira não poderá contrair-se toda num ponto. Se a expansão do Universo invertesse, mesmo assim, a inércia circular faria com que os corpos adquirissem um equilíbrio dinâmico em que as forças centrífugas equilibrariam a atracção gravítica. Por esta razão, um novo Big-Bang não nos parece possível. A compressão do Universo requer, além disso, que o Universo perca energia no seu todo o que é um absurdo. Para onde iria a energia do Universo? O Cosmos (ou parte dele) poderá portar-se, numa escala muito superior, provavelmente, como um gás. A compressão, sendo possível, originaria, quando muito, um aquecimento com libertação de energia que iria, no entanto, aumentar a energia noutros pontos do Universo. Por isso, a inércia circular dos corpos, aliada ao facto de o Universo só poder perder energia para si próprio, impedirá o colapso geral do Universo.

Isto não quer significar que, pontualmente, não possa haver implosões como a dos hipotéticos buracos negros cuja existência se considera, praticamente, provada. Os buracos negros poderão explodir de novo em pequenos “bangs” dando expansões locais, provavelmente, compensadas por contracções aqui e ali. As observações que levaram à hipótese da expansão geral do Universo não são conclusivas em absoluto; pode, perfeitamente, tratar-se de um fenómeno local no imenso Cosmos.

À laia de conclusão sobre a noção de inércia, diremos que é a reacção dos corpos às forças actuates e decomponível em duas partes com características distintas. Esta noção parece ser essencial na compreensão dos fenómenos físicos, em qualquer escala. As forças de interacção da matéria poderiam ter características diferentes conforme a escala considerada, mas a inércia teria sempre as mesmas características em todas as escalas, do infinitamente pequeno ao infinitamente grande. A inércia seria comum a todas as escalas, comportando-se sempre do mesmo modo, qualquer que fosse a natureza (ou causa) da força actuate.

Por esta razão, a inércia deveria ser considerada a propriedade fundamental de todos os corpos no Universo, em todas as escalas.

8. O MISTÉRIO COSMOGRÁFICO

“...E é também manifesto que a génese da teoria da gravitação universal se encontra em Kepler”/10/

A. Rupert Hall

O movimento dos planetas em torno do Sol é, aproximadamente, um movimento circular uniforme. A distância entre um determinado planeta e o Sol mantém-se, sensivelmente, constante; as duas forças que actuam sobre o planeta (atração centrípeta e força centrífuga) têm o mesmo valor, a mesma direcção, mas são de sentidos opostos.

Se, por hipótese, num espaço visível não existisse qualquer outro corpo celeste para além do Sol e da Terra, concluiríamos, muito possivelmente, da inexistência do movimento de translação da Terra, querendo esta parecer estar quase “parada” em relação ao Sol, já que a distância entre eles apenas oscilaria em torno de um valor médio. O Sistema Solar foi considerado geocêntrico, desde a Antiguidade até quase ao fim da Idade Média, posição esta que foi tomada desde que se descobriu que a Terra era redonda e que seria o centro do Universo – todos os corpos celestes girariam em torno dela. Esta ideia foi firmemente apoiada pela Igreja Católica. Mas, em 1543, na sua obra *“De Revolutionibus Or-bium Coelestium”*, o padre católico polaco Nicolas Koppernigk (Copérnico), aventou a hipótese, mais simples, que o Sol poderia ser considerado imóvel no centro do Universo e a Terra e

os planetas girariam em seu redor. Kepler e Galileu, entre outros, foram adeptos da ideia de Copérnico. No entanto, por defender esta “heresia”, Galileu seria condenado pela Inquisição a pena de residência fixa até à morte.

O Sistema Solar e demais corpos celestes exerceram, desde sempre, um enorme fascínio, como se, ao descobrir os seus mistérios o Homem se pudesse conhecer melhor, bem como, conhecer todo o Universo. Desde os tempos mais remotos que os homens se têm dedicado à observação e interpretação dos astros com o intuito de estabelecer ligações com os fenómenos que ocorrem à escala humana e/ou social. Atente-se na seguinte máxima de Hermes Trismegisto³¹:

“(...). O que está em baixo é como o que está em cima ...”

Na Europa ante-renascentista, os soberanos e grandes senhores patrocinavam Observatórios Astronómicos e contratavam astrónomos-astrólogos de renome para os dirigirem. Foi o caso do dinamarquês Tycho Brahe, convidado por Rudolfo II para dirigir o Observatório de Praga e completar as célebres Tabelas Rudolfinas. Os registos rigorosos de Brahe levariam Kepler, seu sucessor, à formulação das primeiras leis³² heliocêntricas do movimento dos planetas:

As órbitas dos planetas em torno do Sol são elipses nas quais o Sol ocupa um dos focos;

O raio vector que une cada um dos planetas ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais (lei das áreas);

Os cubos dos semieixos maiores das órbitas dos planetas são proporcionais aos quadrados dos respectivos períodos de translação.

A última é conhecida por Lei dos Períodos de Kepler e, já anteriormente, se fez referência a ela.

Newton viria a servir-se de todas as Leis de Kepler para chegar à Lei da Gravitação Universal. A primeira e a segunda daquelas leis serviram-lhe para demonstrar que a “outra força” que actua sobre os planetas, para além da centrífuga, tinha a direcção da linha recta que une

³¹ Antiquíssimo rei do Egipto, considerado pai de todas as ciências, artes e alquimias.

³² Johanes Kepler, “*Harmonia do Mundo*”, (1619).

o planeta ao Sol. A partir da Lei dos Períodos, retirando dela a expressão da força centrífuga (deduzida por ele), concluiu que esta se encontrava em equilíbrio com uma força proporcional à massa do planeta e inversamente proporcional ao quadrado da distância ao Sol. Esta foi a via seguida por Newton para chegar à lei da Atracção Universal que, já cerca de 1666, ocupava os seus pensamentos /15/.

Newton *induziu* a Lei da Gravitação a partir das Leis de Kepler. Tanto quanto sabemos, Kepler não terá tirado qualquer conclusão a partir das suas próprias leis; acreditava, porém, que os números que caracterizam os fenómenos celestes obedeceriam a certas regras. Na sua primeira grande obra “*Mysterium Cosmographicum*” (1596) defende uma *misteriosa* harmonia desses números. Coube a Newton levantar um pouco do véu que cobria esse mistério cosmográfico.

De facto, e particularmente, a Lei dos Períodos é de uma riqueza extraordinária. Se nos perguntássemos o que é que todos os planetas do Sistema Solar têm em comum, a resposta óbvia seria que todos eles rodam em torno do Sol. Logo, a relação constante contida na Lei dos Períodos só pode estar relacionada com o Sol, por ser idêntica para todos os planetas; depende de alguma “propriedade” do Sol. Todos os planetas se comportam como “sondas” que medem essa propriedade. O problema reside em saber qual a propriedade que é medida pelos planetas.

Foi com base nesta questão que a hipótese de Newton se revelou muito pertinente, admitindo que a propriedade do Sol que é medida pelos planetas é a *quantidade de matéria* contida no Sol, isto é, a massa do Sol. A massa do Sol seria, em última análise, *a causa da força* que mantém os planetas em órbita. A “constante de Kepler” dos planetas seria, então, em essência, uma medida da *massa* do Sol; de igual modo, a constante de Kepler de um satélite a girar em torno da Terra seria a medida da massa desta; ou a constante de Kepler do Sol a girar em torno do centro da Via Láctea seria a medida da massa do núcleo da galáxia.

Alarguemos o alcance da Lei dos Períodos de Kepler com a hipótese mais geral:

“A constante de Kepler de um corpo qualquer, em órbita estável em torno de outro, mede a propriedade deste que se possa considerar responsável pela força que mantém o corpo em órbita.”

A propriedade que é medida pelo corpo ou partícula (sonda) em órbita pode ser diferente, consoante o fenómeno em estudo. A sonda deverá, porém, possuir a dita propriedade do corpo em torno do qual orbita. Por exemplo, no movimento de um electrão em torno de um núcleo atómico, a *constante de Kepler* dar-nos-ia, não a massa, mas a *carga eléctrica* do núcleo. O valor da constante depende, por sua vez, da própria sonda. Se em vez do electrão fosse, por hipótese, outra partícula carregada, a constante de Kepler teria um valor diferente; este valor depende, por exemplo, no caso em questão, da relação entre a carga e a massa inercial da sonda.

Se a massa considerada na lei da gravitação fosse uma propriedade diferente da massa inercial dos corpos, a constante de Kepler para os planetas variaria, também, com a relação entre essas duas propriedades. Porém, se esta relação for a mesma para todos os corpos, a constante de Kepler na gravitação só dependerá da massa do centro de gravitação e isto quer dizer que não seremos capazes de separar as duas noções de massa – gravítica e inercial. Porém, nada nos garante que massa gravítica seja a mesma propriedade da matéria representada pela massa inercial. Possivelmente são proporcionais (ou quase) para a grande maioria dos corpos e, por isso, indistinguíveis.

Se, com o auxílio de um super-microscópio, Kepler tivesse estudado o átomo em vez de ter estudado o Sistema Solar, poderia ter estabelecido relações semelhantes para as órbitas dos electrões em torno do núcleo atómico. Teria Newton concluído, neste caso, que a causa da força que mantém os electrões em órbita era a quantidade de matéria (massa) do núcleo?

Por aqui se vê que é legítimo suspeitar que a propriedade responsável pela força gravítica não seja, necessariamente, a quantidade de matéria dos corpos.

Terão todos os planetas, por exemplo, exactamente a mesma relação entre a massa gravítica e a massa inercial? Calculámos essa relação com os dados de que dispomos sobre as distâncias ao Sol e os períodos dos planetas. Os resultados vêm dados em percentagem na tabela da página seguinte. Como se vê, as diferenças entre massa gravítica e massa inercial são, deveras, pequenas e podem atribuir-se à imprecisão dos dados de que partimos. Mercúrio, Vénus e Terra

apresentam os maiores desvios, sendo Vénus o planeta relativamente mais “carregado” de massa gravítica e Mercúrio o menos carregado.

Relação entre massa gravítica e massa inercial dos Planetas	
Mercúrio	98,9%
Vénus	102,2%
Terra	99,3%
Marte	99,9%
Júpiter	100,1%
Saturno	99,8%
Urano	99,8%
Neptuno	99,9%
Plutão	100,1%

É possível que a constante de Kepler contenha mais informação acerca do Universo do que, numa primeira abordagem, se possa pensar. Poderá uma simples relação entre o cubo de uma distância e o quadrado de um tempo ser a chave de muitos mistérios do Universo?

Analisemos o que ocorre quando se muda da escala atómica para a escala planetária relativamente às forças prevalecentes. No movimento do electrão em torno do núcleo, podemos ignorar, por completo, a força gravítica de atracção entre o núcleo e o electrão por ser muitíssimo menor que a eléctrica. Mas, a massa inercial tem, através da força de inércia, influência no movimento do electrão. Sem inércia, a descrição do movimento do electrão seria impossível. A força actuante deve-se, neste caso, a uma propriedade da matéria a que se chama carga eléctrica, noção perfeitamente independente da massa inercial.

Ao nível planetário a força prevalecente é a gravítica e, aqui também, a massa inercial assume um papel idêntico ao que desempenha ao nível atómico; porém, a força actuante deve-se à propriedade da matéria a que se chama massa gravítica e que se considera ser «idêntica» à massa inercial. Mais uma vez, perguntamo-nos: poderá uma força ter a sua causa na substância sobre a qual essa força actua? Não seria mais lógico admitir-se a existência de uma propriedade da matéria, unicamente responsável pela força gravítica? Isto, apesar de não

conseguirmos distinguir esta propriedade daquilo a que chamamos massa inercial dos corpos?

Por que razão a massa gravítica é sempre igual à massa inercial? Analisemos, para comparação, o papel da carga eléctrica. Se os corpos, em vez de serem electricamente neutros, tivessem todos uma carga eléctrica proporcional à quantidade de matéria neles contida, esta não poderia ser medida pelo valor da carga eléctrica? Do mesmo modo, se todas as partículas tiverem uma massa gravítica proporcional à quantidade de matéria, esta pode, também, ser medida pela massa gravítica do corpo.

A passagem do nível atómico para o nível planetário (mudança de escala) implicou uma mudança radical na “constante” de Kepler. Se num caso ela representa a propriedade da matéria a que chamamos carga eléctrica, no outro, representa outra propriedade a que chamamos massa gravítica. Numa nova mudança para uma escala maior, poderia produzir-se outra alteração radical: em vez de massa gravítica como causa da força teríamos, quiçá, uma nova propriedade da matéria de que não suspeitamos, tal como uma mudança para uma escala inferior altera, também, as propriedades da matéria responsáveis pelas forças. A nossa actual capacidade de observação não nos permite efectuar medidas de forças em escalas tão grandes ou tão pequenas quanto queiramos. No entanto, se conseguíssemos descobrir como se dão as mudanças de escala (reais), poderíamos prever o que se passa numa escala qualquer, sem necessidade de a observar directamente. Haveria leis que nos permitiriam saber como se alteram as forças numa mudança *real* de escala.

Os fenómenos à escala planetária e à escala atómica ajudam-nos a compreender os mistérios que cobrem os mundos do infinitamente grande ao infinitamente pequeno. Tal como os electrões são sondas do núcleo e os planetas são sondas do Sol, o Sol e as outras estrelas da galáxia poderão ser, hipoteticamente, sondas de uma outra entidade. A propriedade que o Sol-sonda mede será a massa gravítica do centro da Galáxia? Ou será uma outra propriedade dessa entidade em torno da qual ele e todas as outras estrelas-sonda da galáxia giram³³? Porque, se a

³³ Supõe-se que no centro da nossa galáxia existe um “buraco negro”.

propriedade medida pela sonda passa de carga eléctrica para massa gravítica quando mudamos do nível atómico para o planetário, também poderá dar-se uma mudança da propriedade medida pela sonda se mudarmos do nível planetário para o galáctico, em que as sondas são as estrelas.

Se as sondas forem as galáxias, a propriedade que é medida será, ainda, a mesma? Quem nos garante que as propriedades medidas, ao nível cósmico, são sempre a “massa” de Newton ou Einstein? Se assim for, pensemos nas consequências impostas pela Lei dos Períodos de Kepler:

O Sol descreve em torno do centro da Galáxia uma órbita caracterizada por um raio de 25.000 anos-luz e um período de 200 milhões de anos. Daqui resulta que a velocidade do Sol em torno do centro da galáxia é de 236 km /s. Se a velocidade dos astros aumentar com a sua proximidade ao centro da galáxia, os que descrevessem órbitas de raio inferior a 3.890 milhões de quilómetros mover-se-iam a velocidades superiores à da luz no vácuo, tal como previsto pela Lei dos Períodos. Este facto entraria em contradição com a hipótese de que os corpos não se podem mover a velocidades superiores à da luz; a ser verdadeira esta hipótese, o raio do corpo que ocupa o centro da galáxia (núcleo) deve ser superior a 3.890 milhões de quilómetros.

A Lei dos Períodos também nos permite calcular a “massa” do núcleo da Galáxia que é equivalente à massa de 100.000 milhões de estrelas iguais ao Sol. Se esta massa estivesse contida num volume esférico de raio igual a 3.890 milhões de quilómetros, calcula-se que a densidade da substância que constitui o núcleo da Galáxia seria de 3.380 milhões de toneladas por metro cúbico; esta densidade seria muito superior à densidade da substância que constitui os núcleos atómicos, avaliada em cerca de 1.500 milhões de toneladas por metro cúbico.

Se a substância dos núcleos atómicos for incompressível, o raio do núcleo da galáxia deverá ser, também, superior a 3.890 milhões de quilómetros e nenhum corpo poderá orbitar em torno dele à velocidade da luz. Se, porém, o núcleo da galáxia é um buraco negro como está “praticamente provado”, a luz é absorvida por ele ou, o mesmo é dizer-se, a luz pode orbitar em torno dele; a “massa” que se encontra no centro da galáxia deve ter, portanto, uma densidade superior a 3.380 milhões de

toneladas por metro cúbico. O que também quer dizer que a substância dos núcleos atômicos poderia ser mais densa ou, alternativamente, a propriedade que é medida pela constante de Kepler da Galáxia não será a mesma “massa” de Newton e Einstein, mas sim uma nova propriedade da matéria que se “revela” numa escala superior.

Podemos pôr em questão a Lei dos Períodos de Kepler? Historicamente trata-se de uma lei empírica, resultado da observação experimental. Newton *induziu* a lei da atracção universal a partir desta lei e da força centrífuga, também experimental. “Eu não forjo hipóteses”, terá dito Newton. No entanto, como já demonstrado em capítulos anteriores, quer a força de atracção universal, quer a força centrífuga podem ser obtidas por via dedutiva, pelo que a Lei dos Períodos perde o carácter experimental, passando a ser, antes, um corolário da hipótese da atracção universal.

O período dos planetas (sondas) do Sistema Solar aumenta com o aumento da sua distância ao Sol e a sua velocidade diminui. A uma distância cada vez maior, a velocidade de uma hipotética “sonda” do Sol tenderia para zero e o período tenderia para infinito. De facto, a velocidade da sonda *não tende para o zero absoluto* uma vez que ela passa a ser sonda de uma nova entidade, o centro da galáxia, com uma velocidade e um período associados. A propriedade do núcleo da galáxia que a sonda passa a medir será a mesma que media enquanto sonda do Sol? Que outras propriedades da matéria, medíveis por sondas, poderão existir ainda?

9. OS FILHOS DO SOL

“Sou uma parte do Sol da mesma forma que o meu olho é parte de mim”

D. H. Lawrence

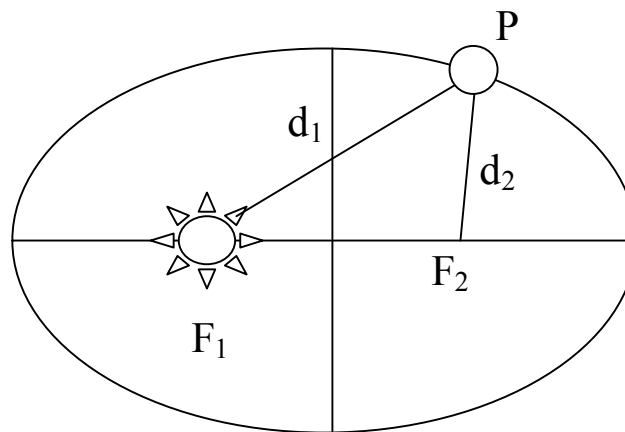
Na escala planetária, as sondas do Sol (planetas) descrevem órbitas elípticas, mais ou menos excêntricas, em que o Sol ocupa um dos dois focos da elipse, como se pode ver na figura da página seguinte. A distância de um planeta ao Sol varia entre um valor máximo e um valor mínimo. Se calcularmos as velocidades do planeta no ponto mais próximo e no ponto mais afastado, constataremos que a excentricidade³⁴ é também uma medida da variação relativa da velocidade do planeta entre esses pontos extremos.

A energia cinética (ligada à velocidade) do planeta é variável. A que se deve esta oscilação da energia cinética dos planetas? Será uma oscilação que resulta da velocidade inicial do planeta quando se formou? Ou esta oscilação deve-se simplesmente à influência do conjunto dos planetas e do Sol? Ou tem a ver com a inclinação dos planos das órbitas? Porque será que todos os planetas têm órbitas quase coplanares e giram no mesmo sentido? Como se terá formado o Sistema Solar?

Sobre a génese do Sistema Solar, a única teoria dita científica que

³⁴ A “excentricidade” de uma elipse é a relação entre o seu eixo maior e a distância dos focos ao centro.

sobreviveu até hoje foi a teoria evolucionista de Kant e Laplace (1755 e 1796), mais ou menos aperfeiçoada durante o século XX por físicos conceituados. Esta teoria, abordada aqui apenas de uma forma sucinta, refere que o sistema solar se formou a partir da contracção de uma nebulosa em rotação. A contracção fez aumentar a velocidade de rotação dos corpos constituintes da nebulosa que originaram o Sol e os planetas que giram em torno dele.



Imagine-se a Terra como um corpo indeformável que gira em torno de si mesmo com tal velocidade que, no Equador, os objectos deixam de ter peso; a força centrífuga equilibraria a força de atracção terrestre. Os habitantes da Terra, na proximidade do Equador, não sentiriam o seu peso mas, à medida que caminhassem em direcção aos pólos, passariam a ficar cada vez mais pesados até que, quando alcançassem um dos pólos, ficariam sujeitos à força máxima da atracção terrestre. Estes habitantes poderiam pensar que a Terra seria uma espécie de íman com dois pólos de atracção.

Se os “equatorianos” experimentassem saltar, abstraindo-nos da resistência do ar, ficariam a flutuar a altitudes diferentes, conforme o impulso dado por cada um; a sua velocidade diminuiria com a altitude tal como o previsto pela Lei dos Períodos de Kepler. Os “equatorianos” em órbitas mais próximas da Terra teriam a impressão que os das órbitas mais afastadas adquiriam velocidade em relação a eles e à Terra, mas o que de facto ocorreria é que estes, quanto maior fosse a sua altitude, mais lentos se tornariam no referencial absoluto.

Fora da zona equatorial, os habitantes desta “Terra super-

giratória”, para entrarem em órbita, não só teriam que saltar com um impulso muito maior, mas também no sentido da rotação da Terra (de Oeste para Este). Isto deve-se ao facto da velocidade de rotação diminuir à medida que se vai do equador para os pólos e, consequentemente, a força centrífuga se tornar cada vez menor relativamente à gravítica.

Se transpusermos este raciocínio para o Sol, que passaria a ser o equivalente da “Terra super-giratória”, e planetas, que seriam os equivalentes aos habitantes daquela, poder-se-á supor que “calhaus” enormes foram expelidos pelo Sol. Os que procederam das zonas tropicais e polares do Sol foram novamente atraídos para ele, enquanto os que procederam da zona equatorial conseguiram “fugir” à atracção gravítica do Sol, supondo que todos eles teriam sido expelidos com impulsos semelhantes por unidade de massa. Geralmente, assume-se que os planetas mais afastados do Sol são mais lentos que os que estão mais próximos, por aceitarmos que os planetas é que giram em torno do Sol com velocidades que diminuem com a distância. Contudo, ao aceitarmos a suposição dos planetas terem tido a sua origem no Sol, este está animado de movimento de rotação sobre si próprio e os planetas, quanto mais afastados estiverem, mais lentos se tornam no referencial absoluto, mas, em relação ao Sol, são cada vez mais rápidos.

Este raciocínio significa que os planetas e os asteróides podem ter sido projectados pelo Sol, a partir do seu equador, com velocidade suficiente para atingirem as órbitas que têm. Também se consegue perceber, deste modo, a razão pela qual todos os planetas giram no mesmo sentido: no sentido da rotação do Sol, como se fossem “arrastados” por ele, uns com mais e outros com menos “escorregamento”, de acordo com a sua maior ou menor proximidade em relação ao Sol.

Segundo a cosmogonia de Kant e Laplace, a contracção da nebulosa que terá dado origem ao Sistema Solar, pretende explicar, exactamente, o aumento da velocidade de rotação do conjunto do Sistema Solar. Uma pequena velocidade de rotação inicial dos corpos da nebulosa foi aumentando à medida que se dava a concentração de massa no Sol. Quando a rotação da nebulosa atingiu uma certa magnitude, a força centrífuga impediu que os planetas e asteróides conseguissem juntar-se ao Sol. Deu-se uma situação de equilíbrio entre as forças

centrífuga e gravítica que actuam sobre os planetas e asteróides. Isto quer dizer, porém, que a situação de partida não era de equilíbrio. Como se terá formado a nebulosa? Estas e outras questões semelhantes ocupam os cosmólogos na sua tentativa de explicar as origens do Universo.

Vimos, porém, que, só perto do plano do Equador solar, existem planetas e asteróides. Se os planetas se afastarem do plano do equador solar, serão sugados pelo Sol? As órbitas dos planetas serão tão estáveis como as observações nos fazem crer? Tudo indica que sim. O afastamento do plano do equador solar não aumenta a atracção do Sol, tal como os habitantes da “Terra super-giratória” supuseram; estes iam perdendo velocidade à medida que se afastavam do Equador e a força centrífuga diminuía. Os planetas não perdem velocidade, pelo que, em princípio, o equilíbrio entre a atracção solar e a força centrífuga se mantém. Porém, não é de excluir que a excentricidade tenha a ver com a inclinação das órbitas porque, de facto, os planetas mais excêntricos (Plutão e Mercúrio) têm, simultaneamente, os planos das órbitas mais inclinados.

Que outras conclusões se pode ainda tirar do raciocínio da “Terra super-giratória”? Será indiferente considerar os planetas a girar em torno do Sol considerado fixo relativamente a eles ou a serem “arrastados” pelo seu movimento de rotação? Assim quer parecer. Em qualquer destas hipóteses, a Lei dos Períodos de Kepler seria, igualmente, aplicável, uma vez que a força centrífuga se manifesta de igual modo.

Como se pode constatar, os corpos celestes, o Sol e os planetas encerram um enorme potencial de conhecimentos. Os mitos, as crenças, as religiões e a ciência antiga sempre quiseram fazer crer na profunda influência que os astros em geral e o sistema solar em particular exercem sobre nós. O Sol tem ocupado, sempre, um lugar central, sendo denominado, frequentemente, o astro-rei. Dele emana a luz, o movimento, a vida e a consciência!

10. UM ÁTOMO SEGUNDO KEPLER?

“Deus é requintado, mas não é mal-intencionado”

Albert Einstein

Da tentativa de descobrir regras no movimento dos planetas resultou a constante de Kepler que “oculta” a massa do Sol. A relação entre o cubo do raio da órbita de um planeta do Sistema Solar e o quadrado do seu período (que para a Terra é de 1 ano) é constante. De facto, como de resto já referimos, os planetas podem ser vistos como “sondas” do Sol, tal como o electrão pode ser visto como uma “sonda” do núcleo atómico. Sabemos que o electrão mede uma propriedade do núcleo a que se chama carga eléctrica.

A questão que se coloca é: se a propriedade do núcleo que é medida pelo electrão é a carga eléctrica, quem nos garante que os planetas não medem uma qualquer outra propriedade do Sol que se confunde com a massa, entendida como quantidade de matéria?

Se aceitarmos que os planetas medem a massa do Sol, de onde provirá a força que atribuímos a uma outra propriedade da matéria chamada carga eléctrica? A massa é uma propriedade da matéria que, para além de reagir às forças (massa inercial) é também causa da força gravítica (massa gravítica). Contudo, no átomo, à massa das partículas, enquanto causa de força, sobrepõe-se uma outra propriedade (carga) que apenas dá origem a uma força – a força eléctrica. O que é uma massa

com carga? O que é que se junta à massa de inércia para lhe conferir carga?

Vamos “aceitar” a hipótese da atracção das massas e daí retirar algumas ilações.

Da Lei dos Períodos de Kepler que permite obter uma relação própria do fenómeno gravítico deduz-se uma outra relação constante, dada pela multiplicação do quadrado da velocidade dos planetas pelo raio das respectivas órbitas.

As velocidades das sondas (planetas) aumentam com a proximidade a que se encontram do Sol.

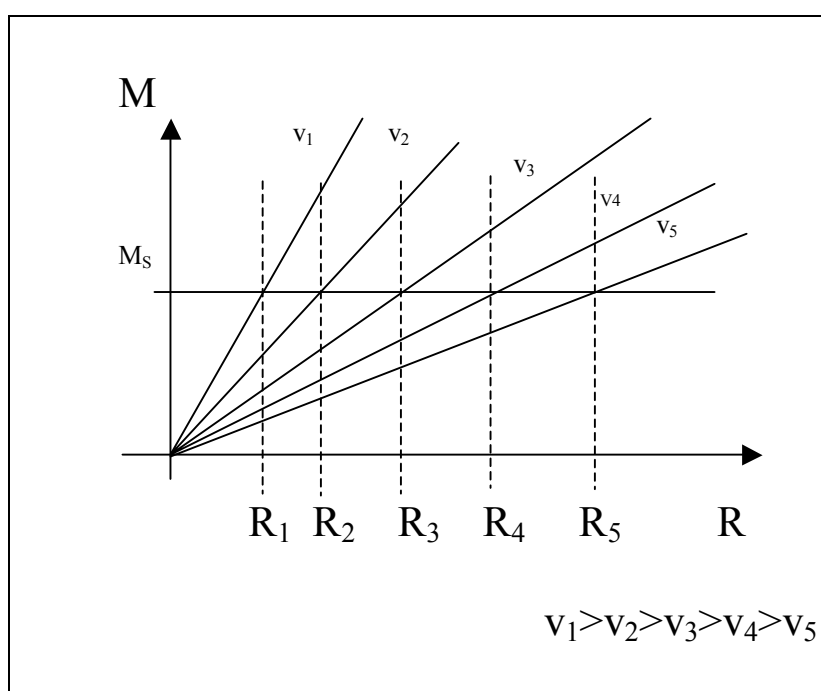


Fig. 2

Neste gráfico, o eixo horizontal representa o raio da órbita e o eixo vertical a massa que é medida pelas sondas.

Se M_S representa a massa do Sol, o planeta cuja órbita tivesse um raio R_1 (Mercúrio, por hipótese) teria uma velocidade $v_1 > v_2$ sendo esta a velocidade do planeta (Vénus, por hipótese) cuja órbita teria um raio $R_2 > R_1$ e, assim, sucessivamente. O mesmo gráfico aplica-se a outras massas e permite relacioná-las com a velocidade e o raio das órbitas de sondas que gravitam em torno da massa principal; à medida que a velocidade aumenta, o raio da órbita é cada vez menor. Mas o raio não

pode diminuir para além do que a densidade do corpo permite. Ou seja, quanto mais denso for o corpo, tanto maior pode ser a velocidade que uma sua sonda pode ter. Até poderá ser que a densidade de um corpo (ou corpúsculo) seja tal, que possa ter um fotão como sonda a gravitar à velocidade da luz. Será que a absorção da luz por esta via só acontece com os hipotéticos buracos negros, ou passar-se-á também à escala do átomo?

Será que a absorção dos fotões pelos electrões ou pelos protões poderá ser explicada pelo facto destes dois últimos serem partículas de elevada densidade? Ficarà o fotão a girar em torno do electrão ou dos protões do núcleo? E não será o fotão o responsável por conferir às partículas a propriedade a que chamamos carga eléctrica?

Havendo partículas com densidade suficiente para captar fotões e sendo estes abundantes, deve ser raro encontrar estas partículas no estado neutro (sem fotão) para além de se tornarem mais difíceis de detectar por não poderem ser desviadas pela força electro-magnética. A ser assim, o electrão não será uma *carga com massa*, mas uma massa muito densa em torno da qual gira um fotão que lhe confere uma propriedade – a carga eléctrica.

E como se pode explicar que o protão se comporte como uma carga de sinal contrário? Haverá dois tipos de fotões, positivos e negativos? Neste caso, porque é que os electrões captam mais os negativos e os protões os positivos, sendo ambos apenas massas densas? Poder-se-á colocar a hipótese de os fotões, à semelhança do que acontece com os ímans, conferirem dois pólos de carga eléctrica às partículas em torno das quais giram. A atracção resultaria do facto de, sendo o electrão mais leve, ele poder mais rapidamente orientar-se de forma a ser atraído pelo protão, tal como um íman leve faz na proximidade de um pesado.

Baseados nesta hipótese, podemos visualizar na figura 3 o que supomos poder ser um átomo de hidrogénio – c é a velocidade da luz. O movimento de rotação do par fotão-electrão em torno do fotão-protão é mantido pela atracção “foto-eléctrica”, muito superior à gravítica, e pela força centrífuga que depende da massa do electrão.

Porque é que existem partículas sem carga como os neutrões? Serão os neutrões partículas sem densidade suficiente para que um fotão

possa girar em torno delas, ou seja, incapazes de adquirir carga eléctrica? Mas os neutrões que se juntam aos protões, dão origem a núcleos de menor densidade e, se o número de neutrões exceder uma certa proporção em relação aos protões, será que a densidade do núcleo ainda é suficiente para manter os fotões em órbita?

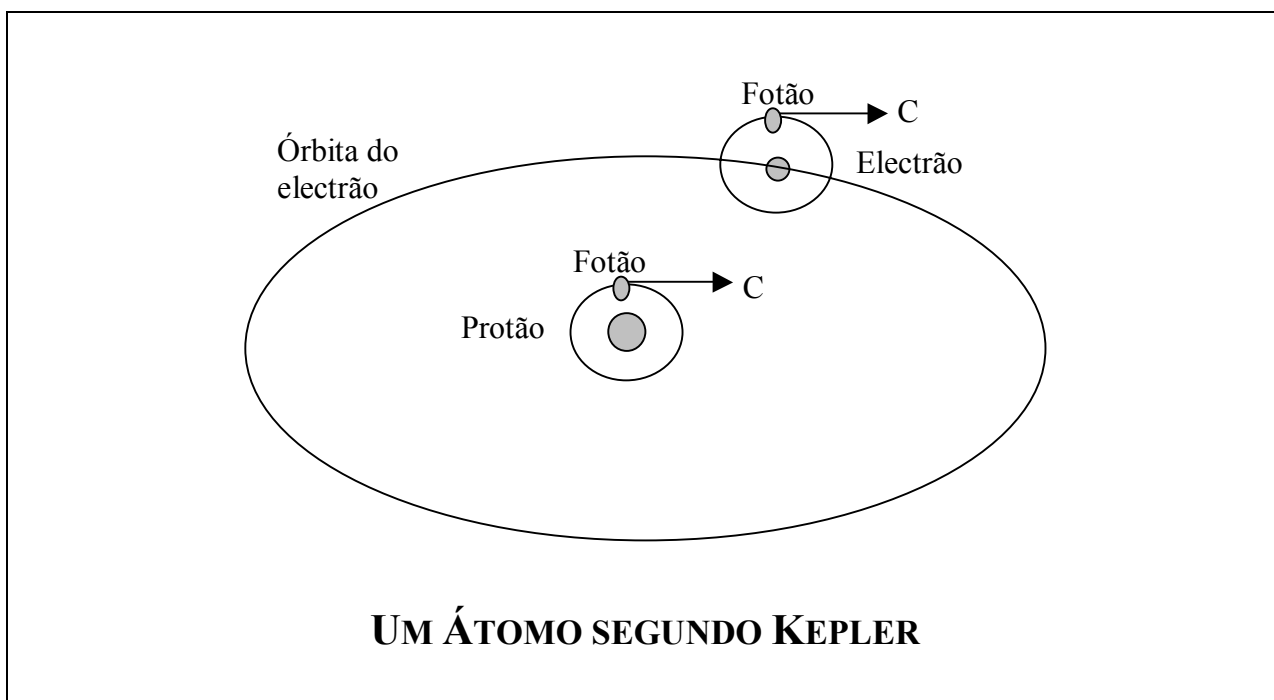


Fig. 3

Enrico Fermi descobriu que só os neutrões lentos conseguem juntar-se aos núcleos dos átomos e provocar a sua cisão. Será que esta cisão se poderia explicar pela *diminuição da densidade* do núcleo com a adição de neutrões?

O pensamento clássico sobre o átomo faz a seguinte interpretação da absorção-emissão de fotões pelo electrão numa órbita nuclear:

Quando um corpo é bombardeado com fotões ele fica “excitado” porque os electrões “absorvem” os fotões e mudam para uma órbita atómica mais aberta, podendo até libertar-se do núcleo. No entanto o electrão pode regressar à situação anterior libertando os fotões.

E como é que um electrão pode “absorver” um fotão e depois descartar-se dele? Qual a diferença entre um electrão excitado e um electrão não excitado?

O átomo de Kepler, baseado na gravidade, é incompatível com as medidas comumente aceites dos raios do electrão e do protão. Por outro lado, dizer-se que um electrão ou um protão são buracos negros é assustador porque poderiam passar a “engolir” tudo o que se aproximasse suficientemente deles. Embora nem o electrão nem o protão tenham, até hoje, sido vistos por ninguém, de forma directa, as suas dimensões são estimadas com valores muito superiores aos que resultam da hipótese aqui considerada. A força que mantém, hipoteticamente, o fotão em órbita em torno do electrão não será, possivelmente, a gravítica. Esta foi escolhida com o simples propósito de exemplificar o mecanismo da infinidade de forças.

Além disso, não precisamos reear ser “engolidos” pelo electrão ou pelo protão porque na realidade isso não acontece. Estes “buracos negros”, quando se rodeiam de fotões, transformam-se, possivelmente, em partículas que interagem sobretudo através da força electromagnética. Esta transformação de buraco negro em partícula com carga, seria semelhante, noutra escala, à transformação de um protão, potencialmente sorvedor de electrões, em átomo de hidrogénio, por ter um electrão em órbita. Prosseguindo o mesmo raciocínio, poder-se-ia concluir que o Sol adquire propriedades diferentes (em si) pelo facto de ter planetas que giram à sua volta. A ser assim, o Sol poderá ser actuado por forças de natureza distinta da da gravidade.

A hipótese do átomo de Kepler não nos parece, de todo, descabida, caso se considerasse um outro tipo de força que não a gravítica. Se ela, por acaso, se vier a confirmar, partículas como o electrão e o protão seriam simples “buraquinhos negros” rodeados de fotões, isto é, “partículas” resultantes da junção de corpúsculo (massa) e energia radiante: a dualidade afirmada pela Mecânica Quântica ficaria, por acaso, esclarecida?

Segundo a hipótese considerada, os electrões poderiam, por vezes, atrair-se uns aos outros em vez de se repelirem. A existência do anti-electrão poderia ser compreendida como a detecção de um movimento (raro) do electrão de sentido contrário ao habitual por se encontrar ocasionalmente “mal” orientado?

Relativamente à possibilidade de todas as cargas eléctricas poderem ser bipolares, poder-se-ia realizar experiências com ímans. O

que aconteceria se pendurássemos uma esfera de ferro magnetizada e atirássemos contra ela uma esfera também magnetizada, mas de massa muito menor, ou seja, na mesma proporção da massa do electrão para a massa do protão? As esferas atrair-se-iam, quase sempre, como o protão atrai o electrão? Outra experiência poderia consistir em atirar duas esferas magnetizadas, de massa idêntica, uma contra a outra. Elas repelir-se-iam, quase sempre, como o electrão repele o electrão?

Porém, a carga eléctrica como propriedade intrínseca e não adquirida corresponde ao que é geralmente aceite. Também neste caso, não haveria razão para considerarmos a massa gravítica como sendo a mesma propriedade que a massa inercial embora de valor proporcional a ela. Assim como a massa tem carga, poderá ter também outras propriedades. A massa gravítica seria apenas uma propriedade da matéria (massa) *semelhante* à carga eléctrica, desempenhando a função de causa de uma força numa outra escala. E, neste caso, a massa seria unicamente responsável pela inércia dos corpos. Ela seria, por hipótese, a *propriedade invariante* nas mudanças reais de escala (os princípios de estabilidade comuns, no dizer de João Dias de Deus /6/), podendo as causas das forças variar.

Agora coloca-se a questão que demanda maior acuidade:

Aceitou-se, “provisoriamente”, que a massa inercial era a causa da gravitação. Mas, tal como aventámos a hipótese de a carga eléctrica ser um efeito do movimento de um fotão em torno de uma massa e, se a massa gravítica for, também, uma propriedade adquirida, o que é que confere “gravidade” à massa? A resposta poderia ser, também, por hipótese: “Luz”. Mas, se a luz confere carga, poderá também conferir uma outra propriedade diferente? Há vários tipos de luz, várias “cores” e a diferença poderia residir aí.

Que propriedade da matéria é que atrai a “cor” que confere a gravidade aos corpos? Teríamos que admitir que haverá mais uma força para além da gravítica e depois mais outra e outra, “ad infinitum”. Ou então, que há apenas um número finito de forças e há apenas uma propriedade fundamental (a massa, por exemplo) que assume dois papéis: o de inércia e o de causa de força.

Estas hipóteses conduzem-nos a um dilema:

Ou a matéria tem, para além da massa inercial, diferentes outras propriedades responsáveis por forças (massa gravítica, carga eléctrica, carga forte, carga fraca e, possivelmente, uma infinidade de outras propriedades) ou a matéria só tem a massa como propriedade fundamental (simultaneamente causa de uma força e resistência às forças), podendo adquirir um certo número (finito) de outras propriedades.

Uma teoria unificadora baseada no facto de a massa ter duas funções distintas só será possível com muitos “truques” matemáticos.

A primeira hipótese sugere, intuitivamente, estarmos perante algo que funciona de forma receptiva, a massa ou matéria pura, a que se junta algo que a “fecunda”, podendo ser, por exemplo, a luz ou energia radiante. A massa seria passiva e a energia actuaria sobre ela activando-a ou conferindo-lhe a capacidade de interacção com outras massas “activadas”. Neste contexto, o papel da Luz (energia radiante) como fonte de vida no universo parece fundamentado. A energia radiante é, não só a luz visível, mas todo o espectro de radiações electromagnéticas com comprimentos de onda tão grandes ou tão pequenos quanto se queira. Os comprimentos de onda da energia radiante poderiam, quiçá, determinar as propriedades das massas que as captam.

A hipótese de haver um número infinito de forças, não necessita que a massa tenha duas funções distintas. A propriedade que é a causa de uma certa força derivaria sempre de uma outra força...

Não podemos afirmar peremptoriamente que a luz é o ingrediente que confere propriedades à matéria. Para tal, seria necessário que a luz fosse atraída por todas as forças (infinitas?) e confirmar este facto é algo que se mostra, no mínimo, da maior dificuldade.

A ideia do átomo de Kepler poderá não corresponder à realidade e apenas ter servido de exemplo para explicar o raciocínio que conduziu a aceitar a possibilidade das duas alternativas: número infinito de forças onde a massa inercial não necessita ser igual à massa gravítica e número finito de forças onde a massa de inércia é igual à massa gravítica.

A beleza da primeira alternativa é, indubitavelmente, superior e, como Deus é requintado, tal como afirmou Einstein, poderá ter optado por dotar a Natureza de um número infinito de forças, enquanto

manifestações de uma única Força. As forças provêm de forças e originam outras forças, sendo todas elas “adopções” de uma Força só.

11. DESCULPE-ME , EINSTEIN

“Geralmente falando, estamos mais firmemente convencidos das razões que nós mesmo descobrimos, do que das que nos são dadas por outros”

Blaise Pascal

O tema central deste trabalho tem-se cingido à questão da inércia, da gravitação e da unificação das forças actuates na Natureza que poderão estar relacionadas com as mudanças de escala reais, provavelmente geridas por leis específicas desconhecidas.

No que concerne à inércia, repensemos os raciocínios subjacentes à Teoria da Relatividade Geral:

Consideremos em primeiro lugar que nos encontramos dentro de uma cabina de um elevador de um prédio muito alto e a cabina entra em queda livre. Durante a queda, e na ausência de atrito, deixamos de sentir o nosso peso, flutuamos na cabina, tal como os astronautas no espaço; estamos parados em relação à cabina. Se tomarmos a cabina como sistema de referência, os corpos que nele se encontram respeitam a 1.^a Lei de Newton, isto é, permanecem em repouso ou em movimento uniforme em linha recta. Será que no sistema de referência da cabina, os corpos já não têm peso? Pode ser que tenham, mas não temos nenhum

processo para medi-lo se o elevador não tiver janelas³⁵ que nos permitam ver que nós é que nos movemos em relação àquilo que consideramos fixo.

Só quando o elevador começar a travar é que sentimos o nosso peso a actuar de novo. Quando o elevador está em queda, deixamos de sentir a força que nos faz cair; se o elevador estivesse a subir, em movimento acelerado idêntico ao da queda, sentiríamos uma força duas vezes superior ao nosso peso a puxar-nos para o chão do elevador; por outro lado, se o elevador fosse sobreacelerado em queda, dar-nos-íamos conta de uma força a puxar-nos para o tecto do elevador! Só em queda livre é que não sentimos força nenhuma a actuar sobre nós.

No elevador em queda e sem janelas não conseguimos detectar a acção da gravidade porque, nesse referencial, os corpos permanecem em repouso ou em movimento uniforme em linha recta.

Será que poderíamos admitir uma formulação alternativa para a 1.^a Lei de Newton por forma a que a força fosse uma grandeza relativa ao sistema considerado de referência? Por exemplo: “se num sistema de referência, um corpo não sofrer alteração da sua velocidade, não há, *neste sistema*, uma causa medível para o seu estado de movimento”? Serão as causas relativas?

Embora de forma implícita, a 1.^a Lei de Newton reporta-se a medidas feitas num determinado referencial (a medida da força também) e, por isso, a formulação original admite, em princípio, a relatividade das causas. Contudo, ao restringirmos a validade das leis da Dinâmica aos referenciais de inércia³⁶, as forças existem com carácter absoluto. Nos referenciais acelerados, como o elevador em queda, os corpos que nele se encontram estão sujeitos a duas forças que se anulam – a gravidade e a inércia.

Einstein propõe, na Teoria da Relatividade Geral, que a inércia dos corpos é “equivalente” à força gravítica. Esta equivalência verifica-se entre causa e efeito; o efeito e a causa passam a ser causa e efeito

³⁵ Este exemplo do elevador em queda é uma variante do raciocínio feito por Einstein e que o levou a concluir que a massa inercial é idêntica à massa gravítica, facto em que assenta a Teoria da Relatividade Geral.

³⁶ Um referencial de inércia é aquele que se encontra em repouso absoluto no Universo ou em movimento uniforme em linha recta.

simultaneamente. Einstein contornou, por assim dizer, a necessidade de nos indagarmos sobre a causa da força gravítica. Mas será que conseguiu?

Que a força gravítica é equilibrada pela inércia, isso seria admissível; mas que sejam duas forças equivalentes, no sentido proposto por Einstein, não parece muito óbvio. A equivalência é, aqui, o mesmo que dizer que um corpo está sujeito a uma única força que para uns é inércia e para outros é gravidade, conforme o ponto de vista do observador /2/. Supondo que desconhecíamos a força gravítica, mas conhecíamos, por hipótese a força eléctrica, poder-se-ia ter concluído, com base no mesmo raciocínio, que a inércia é equivalente à força eléctrica. Mas, na realidade, tratam-se de duas forças distintas!

Quando escrevemos uma igualdade, $A=B$, podemos querer dizer coisas diferentes, entre outras, podemos querer dizer que A toma o valor B, que A e B representam coisas distintas que se encontram em equilíbrio ou que A e B são apenas duas formas diferentes de nos referirmos à mesma coisa. Foi neste último sentido que Einstein afirmou a equivalência entre inércia e gravidade. E, inclusivamente, terá considerado a hipótese da equivalência entre aquelas forças como a ideia mais feliz de todas as que tivera até então.

Será que não se poderá aventar a hipótese de haver muitas forças actuantes e a inércia ser apenas a “qualidade” de reacção dos corpos a toda e qualquer força actuante?

Na base da equivalência estabelecida por Einstein esteve o facto de ele ter considerado *“uma vasta região do espaço, tão distante que nenhum efeito da gravitação se possa aí produzir; e que nesse espaço livre se encontra uma caixa enorme (sem janelas) com a forma de um quarto; no interior desse quarto há um observador munido de aparelhos. Para este observador o peso não existe. Se a caixa for acelerada por uma força exterior, o observador poderá medir dentro da caixa uma força que ele, erradamente, interpretará como uma força gravítica”*. /2/

Se fosse Galileu que estivesse dentro da caixa, as suas experiências com o plano inclinado dariam o mesmo resultado que ele obteve com a força gravítica. Nada poderia, segundo Einstein, fazer com que o observador distinguisse entre estar a ser acelerado e estar sob a acção da

gravidade. O que é que origina esta confusão? A inércia dos corpos. Quando a caixa é acelerada do exterior, os corpos no interior “reagem” com a inércia e esta “simula” a força exterior, na medida em que estabelece o equilíbrio. É como se a caixa e todos os corpos no interior dela se encontrassem sob a acção da gravidade. É uma situação *semelhante* mas não equivalente.

A inércia não permite simular só a gravidade, permite simular uma força qualquer. A inércia equilibra a força actuante, seja ela qual for. Se um corpo está sujeito a uma determinada força, ele “reage” com uma força contrária (a inércia) que equilibra a força actuante. A trajectória que o corpo segue é aquela na qual a soma das forças que sobre ele actuam, incluindo a inércia, se anulam³⁷.

Se, no exemplo da caixa-quarto de Einstein, a mesma seguisse uma trajectória circular com velocidade uniforme, o observador poderia medir a força centrífuga a que os corpos dentro da caixa ficariam sujeitos. Qual seria, neste caso, a equivalência entre gravidade e inércia? A inércia seria, agora, a força centrífuga. Se a força centrípeta for uma força exterior que apenas actua sobre a caixa, conseguiremos medir a força centrífuga (inércia) que actua sobre os corpos dentro da caixa. Mas se a força centrípeta for proveniente de uma atracção gravítica, o observador já não consegue medir a inércia dos corpos dentro da caixa.

Este exemplo poderia ser o caso de uma nave espacial sem janelas em órbita à volta da Terra. A nave e os corpos nele contidos descrevem uma trajectória circular e no seu interior os corpos respeitam a 1.^a Lei de Newton. Imaginemos um astronauta dentro da nave, munido também de aparelhos. Conseguirá o astronauta descobrir que se encontra em órbita à volta de um planeta?

Se a aparelhagem da nave for suficientemente sensível, diremos que sim. O astronauta poderia constatar que a trajectória de um corpo ao qual se dá um impulso numa certa direcção se desvia da direcção do impulso e que os desvios variam com o local da experiência dentro da nave. Mais, o astronauta poderia constatar que os corpos, deixados a flutuar em locais diferentes do espaço dentro da nave, iriam lentamente alterando as suas posições relativas, por se encontrarem em órbitas

³⁷ Princípio do equilíbrio dinâmico de D’Alembert

ligeiramente diferentes³⁸.

Voltando à caixa de Einstein, se esta se encontrasse parada sob a acção da gravidade, o observador dentro dela poderia também detectar diferenças de aceleração com a altitude, diferenças essas que não existem quando a caixa é actuada por uma força exterior constante.

E no elevador em queda livre? De modo semelhante à caixa ou à nave espacial, se o tempo de queda do elevador fosse suficientemente dilatado, seria possível, eventualmente, detectar variações da posição relativa dos corpos que indiciassem a presença da gravidade. Ou seja, será que os corpos, de facto, caem todos ao mesmo tempo? Se não caem ao mesmo tempo, a massa gravítica (causa da força actuante) por unidade de massa de inércia (resistência à força actuante) não é sempre a mesma para todos os corpos. A ser assim, teríamos que admitir que a massa de inércia é uma propriedade da matéria distinta da massa (ou carga) gravítica.

Retomando mais uma vez o raciocínio da caixa de Einstein gostaríamos de sustentar melhor o nosso ponto de vista:

Pelo facto de, numa caixa sem janelas, não podermos distinguir se estamos a ser atraídos pela força gravítica ou se a caixa é que está em movimento acelerado, não se deveria concluir, exclusivamente, que a massa inercial é equivalente à massa gravítica.

Quando estamos dentro de um comboio que se encontra parado numa estação e o comboio do lado começa a deslocar-se lentamente, temos a impressão de ter sido o comboio onde nos encontramos que arrancou em sentido contrário. Mas, quando o outro comboio passa constatamos que, afinal de contas, estamos parados. De repente, temos que nos adaptar a uma realidade diferente daquela que “vivenciámos”.

De igual modo, se estivermos na caixa sem janelas de Einstein e constataremos que os corpos são atraídos para o chão e os objectos que deixamos cair seguem a lei do movimento acelerado, podemos pensar que a caixa começou a movimentar-se. Se, de repente, pudéssemos ver o que se passa fora, poderíamos constatar que estamos parados num campo gravítico. Ou vice-versa. Poder-se-á daqui concluir que a gravitação é equivalente à inércia?

³⁸ Este facto é interpretado pela Lei dos Períodos de Kepler.

Porque não concluir, simplesmente, que a inércia permite *simular* a gravidade, da mesma forma que a inércia permitiria simular outra força qualquer?

No exemplo do elevador em queda livre, para todos os corpos no elevador, existe um equilíbrio entre a inércia de cada um deles e o seu peso (gravidade). Logo, não conseguimos medir força alguma a actuar sobre os corpos dentro do elevador. Porém, se o elevador estiver parado, os corpos dentro dele caem com movimento acelerado mas estão, na mesma, sujeitos a duas forças – a gravidade e a inércia. Permitir que todo o elevador caia é deixar actuar a inércia anulando todas as forças que actuam sobre os corpos. Isto significa que os corpos seguem sempre a trajectória onde as forças que sobre eles actuam são nulas. A presença da Gravidade cria trajectórias possíveis para os corpos, consoante a sua inércia. Os planetas em órbita em torno do Sol seguem as trajectórias possíveis devidas à presença da gravidade solar³⁹ e à sua inércia que, neste caso, é uma força centrífuga.

No caso da caixa de Einstein, fora da acção da gravidade e puxada por uma força exterior, os corpos não estão sob a acção directa da força. A força só actua sobre a caixa e não sobre os corpos nela contidos. O equilíbrio exige que a inércia dos corpos contrarie, individualmente, a força exterior. Logo, podemos detectar a força exterior dentro da caixa, medindo a inércia dos corpos que se opõe à força aplicada que é, por seu lado, ela também, uma medida da inércia dos corpos⁴⁰.

O elevador parado sob a acção da gravidade é “semelhante” mas não “equivalente” à caixa em movimento acelerado fora da acção da gravidade. No primeiro caso, os corpos em repouso dentro do elevador ficam sujeitos à gravidade e no segundo o observador dá-se conta de uma força exterior pela manifestação da inércia dos corpos. Porque insistir então na semelhança e não assumir também a equivalência?

Sugere-se, agora, um esforço de concentração maior, imaginando um elevador sob a acção, não da força gravítica, mas de forças electrostáticas. O elevador está electricamente carregado e é puxado para baixo por uma força electrostática muito maior que a gravidade. Na

³⁹ Por isso Einstein terá dito que a gravidade deforma o espaço?

⁴⁰ É uma situação semelhante a uma balança de dois pratos com um peso em cada prato. Qual o peso que mede qual?

medida em que só o elevador está electricamente carregado, os corpos dentro dele “reagem” com inércia e são puxados para o tecto. Mas se a carga eléctrica estivesse distribuída uniformemente por todos os corpos, todos estariam de igual forma sujeitos à força electrostática e a inércia de cada um deles equilibraria individualmente a força actuante. Já não seria possível medir a inércia dos corpos dentro do elevador.

Neste caso, em vez de chegarmos à conclusão que a inércia é “equivalente” à força electrostática, concluiríamos que a inércia nos permite medir a força electrostática que actua sobre o elevador quando os corpos (dentro dele) não se encontram carregados.

De forma semelhante, voltando a considerar o elevador em queda livre, sob a acção da gravidade, em vez de concluirmos que a inércia é “equivalente” à gravidade, poder-se-ia pôr a hipótese (tão legítima como a de Einstein) de que:

“a massa (ou carga) gravítica específica (por unidade de massa inercial) é, praticamente, a mesma para todos os corpos do Universo”

Por esta razão, se se pretender considerar a massa gravítica como uma propriedade da matéria distinta da massa inercial, nada nos impede de o fazer. Compete à Física Experimental descobrir, se é que não o fez já, se a massa gravítica específica dos corpos é ou não sempre a mesma para todos os corpos.

Já sugerimos, anteriormente, que a medição rigorosa dos tempos de queda dos corpos pode, eventualmente, revelar diferenças. Esta experiência permitiria verificar se a relação entre massa gravítica e massa de inércia pode, por vezes, variar. Outra abordagem possível seria medir com maior rigor a constante de Kepler dos planetas em torno do Sol e das estrelas em torno do núcleo da galáxia.

12. SOM E LUZ

“O que de mais belo podemos experimentar é o misterioso. É a fonte de toda a verdadeira arte e ciência”

Albert Einstein

Será que a Ciência “explica” os fenómenos da Natureza? Segundo P. Duhem⁴¹, “explicar é despir a realidade das aparências que a envolvem como véus, de modo a ver esta realidade nua e face a face”. O mesmo autor distingue entre explicação propriamente dita e explicação hipotética: existem fenómenos passíveis de uma verdadeira explicação (o som, por exemplo) e outros relativamente aos quais apenas conseguimos dar explicações hipotéticas (a luz, por exemplo).

O som propaga-se no ar ou noutro meio qualquer, mas não se propaga no vazio; propaga-se por intermédio da matéria. Porém, se entre as partículas elementares que constituem a matéria o que existe é praticamente só vazio e o som não se propaga nele, como é que o som chega até nós? Como explicar o fenómeno da propagação do som? O que se passa ao nível das partículas elementares?

O som é uma transmissão de forças entre partículas de um meio, separadas pelo vazio. A transmissão de forças entre as partículas

⁴¹ *Teoria Física e Explicação Metafísica*, in “Epistemologia: Posições e críticas”, Org. Manuel M. Carrilho, Lisboa, C. Gulbenkian, 1991.

elementares constituintes do meio onde se dá a propagação deve ser então uma espécie de choque em cadeia das partículas do meio. O som é transmitido quando as partículas do meio (ar neste caso) chocam contra o ouvido, por exemplo.

Ao nível das partículas elementares que constituem o meio da propagação, a força exercida sobre a primeira partícula faz esta deslocar-se em relação à segunda; a força entre elas varia e a segunda partícula também se desloca, alterando a força com a terceira que por seu lado se desloca e assim, sucessivamente. A ser assim, a velocidade de propagação do som dependerá da intensidade da força actuante, da massa das partículas e da distância entre elas. Isto, apenas pela dedução lógica. Estará esta hipótese correcta?

Através do conhecimento da velocidade de propagação do som num meio com certa densidade e a uma dada pressão, podemos prever a fracção da distância interatómica que cada partícula percorre sob a acção da pressão sonora.

Fenómenos que acontecem à nossa escala podem fornecer-nos informação sobre o que se passa em escalas inacessíveis para nós. Para isso, basta que tenhamos *explicações plausíveis* sobre a realidade e submetamo-las, posteriormente, a testes de falseação. Enquanto nenhum teste falsear a explicação, ela poderá ser aceite como cientificamente válida, segundo Karl Popper.

O mecanismo da propagação do som, que admite uma ou mais explicações plausíveis, pode servir para “idealizarmos” a estrutura da matéria numa escala inacessível para nós. É como se o som nos permitisse “ver” o que acontece ao nível das partículas elementares. Não parece, contudo, necessário, nem possível, conhecer em detalhe o que acontece nessas escalas. Por mais aperfeiçoados que sejam os nossos meios de perscrutar o infinitamente pequeno e o infinitamente grande, chegaremos sempre a limites impostos por esses meios; uma confirmação indubitável da veracidade da explicação torna-se, praticamente, impossível.

Continuamos a pretender saber quais são as partículas fundamentais da matéria, descobrir tudo sobre o Cosmos, conjecturando sobre a dimensão do Universo, das galáxias, dos conjuntos de galáxias, etc. e supomos, muito ingenuamente, que o Universo tenha um tamanho

limite para cima e para baixo.

O estudo de fenómenos com origem noutras escalas pode orientar-nos na descoberta das regras de mudança de escala; é provável, contudo, que nunca consigamos descobrir e baptizar nem os componentes fundamentais da matéria nem o Universo.

Considere-se agora o fenómeno da propagação da luz. Como é que a luz se propaga no vazio? Porque é que a velocidade de propagação da luz é a velocidade limite no Universo?

Michael Faraday foi um homem extraordinário que, sem formação académica, conseguiu notabilizar-se no meio científico inglês por ter dado uma explicação intuitiva muito válida da relação entre a electricidade e o magnetismo; recorreu depois a James Clerk Maxwell que pegou nas suas ideias e lhes deu consistência matemática. A teoria de Maxwell é tão elegante que condensa todo o conhecimento sobre o Electromagnetismo em apenas quatro equações; a partir destas equações deduzem-se as relações particulares válidas nos diferentes casos. Foi a primeira grande Unificação de Forças da Natureza, depois da que tinha sido feita por Newton ao descobrir que a força que mantém os planetas em órbita é a mesma que nos mantém “colados” à Terra.

Uma das previsões extraídas das equações de Maxwell foi a da existência de ondas electro-magnéticas que se propagam a uma velocidade que apenas depende do meio onde se dá a propagação, sendo que no vazio atinge o valor máximo, de 300.000 quilómetros por segundo.

Einstein, desde muito cedo se questionou se seria possível alcançar um feixe de luz. Após ter tomado conhecimento da teoria de Maxwell, compreendeu que a velocidade da luz, a mesma da propagação das ondas electromagnéticas de Maxwell, era inultrapassável. Por mais que um corpo seja acelerado, nunca conseguirá alcançar um feixe de luz.

A teoria de Maxwell foi desenvolvida para ondas⁴² e a luz (tal como a radiação electromagnética em geral) não tem uma natureza completamente esclarecida. O seu comportamento assemelha-se, em certos fenómenos, ao de ondas e, noutros, ao de partículas. É difícil afirmar-se algo diferente sobre a natureza da radiação electromagnética

⁴² Uma onda requer um meio para se propagar e esse meio (o éter) nunca foi detectado.

dizendo que não se trata nem de onda nem de partícula, porque não conseguimos imaginar mais nada. Foi a constância da velocidade da luz no vazio (luz enquanto onda) que, até hoje, nenhuma experiência conseguiu negar, que levou Einstein à Teoria da Relatividade Restrita. Segundo esta teoria o tempo pode dilatar-se, o espaço pode contrair-se e a massa dos corpos equivale a energia segundo a célebre fórmula $E = mc^2$.

O leitor deverá estar a pensar: lá vem de novo a teoria da relatividade que quase ninguém entende mas de que todos gostam de falar. Pretendemos apenas filosofar sobre o fenómeno da propagação da luz e ver até que ponto o mesmo se relaciona com a mudança de escala.

Einstein “aceitou” que a velocidade de propagação da luz era constante. Embora este facto fosse difícil de admitir por violar as leis da Mecânica Clássica até então aceites, fez o salto qualitativo e postulou que a luz se propaga com velocidade finita e constante, quer medida de um referencial em repouso, relativamente à fonte emissora, quer de um outro referencial animado de velocidade, em relação à fonte de luz.

Comparando, mentalmente, a trajectória da luz num referencial em repouso com a trajectória relativa a um referencial animado de velocidade constante, Einstein concluiu que:

A luz emitida num ponto A do referencial em movimento e recebida no ponto B desse mesmo referencial, ao fim de um certo intervalo de tempo (medido também nesse mesmo referencial), quando vista do referencial em repouso, não pode atingir o ponto B no mesmo intervalo de tempo (se as medições forem feitas no referencial em repouso).

Isto significa que a percepção que temos da passagem do tempo em referenciais animados de velocidade relativamente a nós, é diferente: o tempo passa mais devagar nos referenciais animados de velocidade, em relação a nós.

A constância da velocidade da luz significará que ela não é afectada pela velocidade do corpo emissor e, por conseguinte, *a luz não é constituída por partículas* capazes de receber um impulso? Se a luz é constituída por partículas, estas não têm, provavelmente, massa inercial. Pode haver *partículas sem massa*? Não haverá uma contradição nesta asserção?

De facto, se a luz se propaga sempre à mesma velocidade, isto significa que requer sempre o mesmo tempo por unidade de espaço, qualquer que seja o referencial que se considere. A distância que medirmos determina o tempo da propagação. Assim, por exemplo, o tempo necessário para a luz percorrer a distância de 1 metro é dado pelo inverso da chamada velocidade da luz e vale 3,33564 nanosegundos⁴³; em qualquer referencial!

O movimento do referencial onde se considera a propagação provoca uma variação da distância percebida por um observador em repouso. Há, portanto, uma distorção da distância pelo facto de a propagação não ser instantânea. Esta distorção do espaço acarreta também uma distorção do tempo porque a propagação da acção necessita de 3,33564 nanosegundos por metro de distância entre emissor e receptor. O movimento do referencial faz com que a direcção de propagação da luz mude relativamente ao observador em repouso. Isto aconteceria, aliás, com qualquer partícula que se movesse naquele referencial. Mas como *a luz não é transportada por corpúsculos com massa* que possam absorver energia cinética, ela apenas muda de direcção (para poder chegar ao receptor), mas mantém a mesma velocidade.

O facto de a luz demorar mais tempo quando o fenómeno é visto de um referencial em movimento pode significar que fenómenos que deviam ser simultâneos em referencias com movimento relativo, de facto, não são. Esta foi a conclusão retirada por Einstein.

A dilatação do tempo tem como consequência a contracção do espaço no sentido do movimento. Estas conclusões levam a que as mudanças de referencial já não possam ser descritas por simples adição de velocidades como se fazia na Mecânica newtoniana, com a chamada transformação de Galileu.

Temos pensado, repetidamente, nestas conclusões da Relatividade Restrita porque ficamos sempre com a sensação de que assenta em qualquer coisa que não estava ainda esclarecida – a natureza da luz. A explicação tornar-se-ia mais óbvia se conhecêssemos a verdadeira natureza da luz?

⁴³ 1 nanosegundo é 1 segundo a dividir por 1.000.000.000.

Se a natureza da luz, por hipótese, não for nem corpuscular nem ondulatória, o que será então? Esta pergunta pode ser simplesmente de natureza filosófica, mas tem que ser posta. Trata-se de querer saber como se dá afinal a interacção entre luz e matéria. Sabemos que o tempo necessário no vazio para que a luz emitida por um corpo chegue a outro é de 3,33564 nanosegundos por metro de distância que separa o emissor do receptor no referencial do observador. A luz é emitida por corpos e recebida também por corpos. Tem propriedades como a intensidade, a frequência, o comprimento de onda, etc., mas não conseguimos atribuir estas propriedades a nada em concreto. Não nos satisfaz assumir ora uma natureza corpuscular ora uma natureza ondulatória, conforme as conveniências de interpretação dos fenómenos. Achamos que é tempo de se fixar a natureza da luz, se é que ela tem alguma.

Lidamos frequentemente com conceitos em relação aos quais não procuramos saber exactamente o que são, mas que utilizamos diariamente. Um destes conceitos é o de energia. Dizemos que um corpo tem energia, medimos essa energia, utilizamos e muitas vezes desperdiçamos energia; dizemos que a energia é cara, mas pagamo-la. No entanto, o que é a energia? Onde está a energia eléctrica que foi paga no mês passado? Afinal o que é que nós comprámos ao certo? Obviamente quase nada, mas esse quase nada teve um custo e não nos importámos de o pagar. A luz que utilizámos para ler, escrever, poder ver o que fazemos, onde está agora? Foi totalmente consumida, está espalhada por todo o lado, podemos mesmo dizer, por todo o Universo. A luz é uma forma de energia. Para responder à questão da natureza da luz, temos que responder à questão da natureza da energia.

Um receptor de luz recebe energia. Logo, o emissor também emite energia. O emissor de luz perde energia e o receptor ganha energia. Ao desaparecer energia num ponto do Universo ela é ganha noutros pontos desse Universo. Entre o desaparecimento da energia e o seu aparecimento noutros pontos onde fica essa energia e sob que forma? Pois, como no vazio essa energia não pode ser armazenada em coisa alguma, temos que concluir que, ou não fica em lado algum, ou é uma partícula “imaterial” que se desloca no vazio ou, ainda, que não existe o vazio e a luz se propaga efectivamente num meio (éter) como uma onda, de modo semelhante ao som.

Admitamos “provisoriamente” que se trata de uma partícula e, como tal, podemos também supor que a seguimos à distância. Mas, alto! No referencial da partícula os relógios não marcam o tempo. O tempo não passa, não há tempo ou ele tornou-se infinitamente lento. E o espaço na direcção de propagação é agora zero, não há distância a percorrer sequer!

Assim, a energia, à medida que é emitida (diminui ou desaparece) do ponto emissor, é transferida para outros pontos do espaço que, no “referencial” da luz, estão “colados” uns aos outros. E o que é o tempo de propagação da luz que nós afinal medimos? Talvez não seja o tempo da propagação em si, que é, por hipótese, instantânea, mas tão somente o tempo medido nos referenciais materiais. Se nos reportássemos ao hipotético “referencial” da luz, a relação tempo/espaço seria, de facto, *indeterminada*. Então o tempo/espaço de 3,33564 nanosegundos por metro não será apenas o resultado da transformação do tempo/espaço da propagação instantânea no “referencial” da luz em tempo/espaço material resultante do levantamento da indeterminação? O indeterminado⁴⁴ torna-se determinado, dando o mesmo valor para qualquer referencial porque todos os referenciais serão igualmente válidos?

Ao falarmos do hipotético referencial da luz pomo-lo entre aspas porque de facto este referencial também é irreal. Por mais depressa que corramos atrás de um raio de luz que se afasta, vê-lo-emos sempre a afastar-se à mesma velocidade, como concluiu Einstein. Devíamos talvez, em vez de referencial, falar de escala ou dimensão.

Existindo dimensões onde o tempo/espaço é indeterminado, como surgem as dimensões onde ele é determinado?

A *mudança de escala* pode, quiçá, intervir aqui. Na dimensão da luz a relação tempo/espaço é indeterminada, não existe. A hipótese que se poderia pôr é que a passagem para a dimensão da luz elimina o tempo e o espaço e dá origem a uma única entidade: “Luz”. Tudo se transformaria em luz.

⁴⁴ Os pensadores e cientistas da antiguidade grega quiseram determinar a essência do mundo material, propondo como matéria constitutiva fundamental, p. ex., a água (Tales de Mileto), o **indeterminado** (Anaximandro), os quatro elementos ar, água, terra e fogo (Empédocles, Aristóteles), ou os átomos (Leucipo, Demócrito e Epicuro).

A transformação das propriedades da matéria (causas de forças) em luz pode ser vista como uma espécie de morte da matéria. Esta evaporação pode acontecer, segundo parece, quando uma partícula encontra uma anti-partícula (partícula de massa idêntica mas de propriedades contrárias). É o fim da matéria viva que se separa em Energia e Massa, ou seja, volta a ser o que já foi. Pelo contrário, a passagem de matéria inerte a matéria viva é determinada pela condensação da Energia. Num determinado ponto de um espaço material preexistente surgem, de repente, partículas “activadas” por Fusão da Luz com a Massa. Como se dá esta Fusão? Aqui temos que parar e ter a atitude humilde de Newton: mistério divino, o Mistério da Fusão ou da Fecundação da Massa pela Luz.

Imagine-se que nada mais existe no Universo a não ser a Massa (inércia) e a Luz (radiação). E toda a variedade de matéria existente não passa de um arranjo inteligente destes dois ingredientes. Um deles é passivo, receptivo, neutro e determinado no espaço e no tempo: a Massa. O outro é activo, fecundante, qualificador e indeterminado no espaço e no tempo: a Luz.

A Massa pura (sem propriedades conferidas pela luz) seria indetectável porque nenhuma força actuaria (presumivelmente) sobre ela. Logo, é como que inexistente. A luz só é visível para nós numa faixa muito estreita de comprimentos de onda (de 390 a 770 nanómetros⁴⁵). Conseguimos detectar, com os meios técnicos actualmente disponíveis, radiações electromagnéticas de comprimentos de onda até milionésimos de nanometro. Comprimentos menores passam-nos também despercebidos e o Universo pode estar repleto de “luz” sem que nos apercebamos dela.

⁴⁵ 1 nanometro é 1 metro a dividir por 1.000.000.000.

13. MUDANÇA REAL DE ESCALA

“Todo o Universo está misteriosamente presente em cada local e a cada instante do mundo.”

Mach

«Quantos números, ou parâmetros numéricos, são necessários para descrever o cosmos? No quadro das teorias actuais da física e da cosmologia, são necessários mais de vinte. A situação está longe de ser satisfatória.»/16/.

Abordemos, uma vez mais, a transição entre o nível atómico e o planetário. A carga eléctrica, que desempenhava um papel fundamental à escala atómica, cede a sua importância à massa gravítica; e esta cederá, provavelmente, a favor de uma outra propriedade numa escala superior e, assim, sucessivamente. As propriedades da matéria alteram-se nas mudanças reais de escala. Há, porém, uma propriedade que se mantém em todas as escalas: a inércia.

Como se separam as escalas reais umas das outras? Poderemos separá-las conforme os valores das constantes que caracterizam as forças prevaletentes? Uma transição contínua e uniforme de escala como idealizámos não corresponde à realidade tal como ela se nos apresenta. Temos a impressão que esta efectua transições com saltos bruscos. Qual será a causa subjacente a estes saltos?

Atente-se, simplesmente, às seguintes “coincidências”:

Primeira coincidência: A relação entre a carga de um electrão e a sua massa é da mesma ordem de grandeza da relação entre a “massa” do núcleo da Via Láctea e a massa do Sol (cerca de cem mil milhões). As aspas utilizadas para a massa do núcleo da Via Láctea pretendem salientar que se admite que a força do núcleo da Galáxia sobre o Sol possa ter origem numa nova propriedade da matéria distinta da massa.

Segunda coincidência: Como referido anteriormente, as expressões das leis que nos permitem quantificar qualquer força de interacção são, formalmente, idênticas. Diferem, apenas, no valor das constantes e nas propriedades a que se atribui a força em questão (massa, carga, etc.). O quociente entre a “constante” que figura na expressão da força eléctrica e a que figura na expressão da força gravítica (constante de gravitação) é muito próximo do produto da *massa do Sol pela constante de gravitação*. Este valor é, também, igual ao produto do quadrado da velocidade de um planeta pela sua distância ao Sol e tem um significado idêntico ao da constante de Kepler do Sistema Solar.

Quer isto significar que, partindo da expressão da força gravítica, substituindo o papel das massas pelo das cargas eléctricas e multiplicando a constante de gravitação pela constante atrás referida, obter-se-á a expressão da força eléctrica, ou seja, muda-se da escala gravítica para a eléctrica. Qual será a influência do Sol na força de interacção eléctrica?

O Sol é, no espaço que nos rodeia, o corpo de maiores proporções. A massa do conjunto de todos os planetas do Sistema Solar é muito menor que a do Sol. Os planetas não passam de *poeiras arrastadas* pelo Sol no seu movimento de rotação. É óbvio que a presença do Sol se fará sentir em todos os corpos da sua esfera de acção.

A força de atracção gravítica, entre dois corpos quaisquer do Sistema Solar, é caracterizada pela constante de gravitação G . Esta representa a força que se exerce entre duas massas unitárias, colocadas à distância unitária. Desconhece-se a razão de ser do valor assumido por G , isto é, o facto de ter o valor que tem e não outro valor qualquer; além disso, nada nos garante que ele se mantenha constante para lá do Sistema Solar. Poderá ser uma constante local, uma simples “emanação” do Sol, astro que exerce maior influência sobre o nosso nicho cósmico. Será que a atracção gravítica é induzida pelo Sol, tal como um íman

induz magnetismo nos corpos ferromagnéticos colocados na sua vizinhança?

Desta forma, a atracção gravítica pode ser apreendida como uma lei universal veiculada pelo Sol à qual todos os corpos (súbditos do Sol) devem obediência. Numa escala tão pequena quanto a atómica, em que o electrão não passa de uma poeira quando comparado com os núcleos atómicos, estes serão veículos da mesma lei universal, porém adaptada (com uma outra constante) à escala dos novos “súbditos”, ou seja, os electrões. Desta forma, o electrão receberá, indirectamente, a “emanação” do Sol, por intermédio dos núcleos atómicos.

A questão poderia ser vista de forma inversa, fazendo depender a constante de gravitação da constante que caracteriza a força eléctrica. É, contudo, mais natural que seja a força do maior que determina a força do menor. Em concomitância, aceitaremos que a constante da força eléctrica é igual ao quadrado da constante de gravitação vezes a massa do Sol.

A constante de gravitação, por seu turno, dependerá de uma outra constante galáctica e, assim, até ao Infinito.

A constatação da possibilidade de existir este efeito em cadeia deixa-nos perplexos. A ser assim, estamos, de certo modo, “unidos” a todo o Universo. Existe uma “emanação” que se manifesta em todos os corpos, com diferentes intensidades, conforme a escala em que se encontram. Esta emanação, à medida que caminhamos para escalas maiores, iria enfraquecendo, como se o aumento de escala acarretasse um maior grau de liberdade.

Se a constante da força eléctrica depender do Sol, então, a própria velocidade da luz seria imposta pelo Sol pois, como é conhecido, a velocidade da luz depende da constante da força eléctrica. É caso para perguntar se, num outro sistema solar, constituído por uma estrela de outra dimensão, as constantes das forças se mantêm iguais às do nosso sistema...

Ao sairmos da esfera de acção do Sol, no espaço aberto, sob a influência de uma outra grande “massa”, continuarão as forças a ter os mesmos valores que têm na proximidade do Sol? E a luz continuará a viajar à mesma velocidade que na vizinhança solar?

A verificarem-se as dependências aqui sugeridas, a velocidade da

luz, fora da zona de influência do Sol, poderia assumir valores superiores ao que lhe é, supostamente, imposto pela sua presença.

Não se exclui a hipótese de a constante de gravitação G ser uma constante universal e não apenas uma “emanação” do Sol. Torna-se, mesmo assim, difícil admitir que a constante da força eléctrica seja, por um simples acaso, igual à constante gravítica ao quadrado a multiplicar pela massa do Sol. Não se pode, porém, rejeitar a mera coincidência.

Terminamos com a esperança que, um dia, seja possível derrubar a barreira da velocidade limite no Universo e se possa viajar para outros sistemas solares, contactar outras civilizações... e “dar novos mundos ao mundo!”

AGRADECIMENTOS

Nunca poderia ter escrito este trabalho sem o encorajamento e estímulo da pessoa a quem é dedicado. Para ela, em lugar de destaque, o meu mais profundo reconhecimento pelo apoio, pela motivação e pela auto-confiança que me instilou. A sua visão holística possibilitou uma troca de ideias portadora de um enriquecimento mútuo, como se pretende para todo e qualquer tipo de troca. Os nossos debates, numa perspectiva global e globalizante, permitiram-nos vislumbrar a luz intensa e perene que emana de valores cada vez mais alienados, de uma natureza que a grande maioria das pessoas ignora e outras pretendem, conscientemente, destruir.

Agradeço ao leitor por me ter escutado com paciência e, quiçá, com benevolência. Agradeço, também, aos Mestres do passado e a todas as forças intervenientes, em particular, às de inércia.

LEITURAS RECOMENDADAS

- /1/ ALVES, ADALBERTO, *“As Sandálias do Mestre”*, Lisboa, Hugin Editores L.^{da}, 2001
- /2/ BALIBAR, FRANÇOISE, *“Einstein: Uma Leitura de Galileu e Newton”*, Lisboa, Edições 70, 1988
- /3/ BAPTISTA, ANTÓNIO MANUEL, *“O Discurso Pós-Moderno Contra a Ciência”*, Lisboa, Gradiva – Publicações, L.^{da}, 2002
- /4/ BARROW, JOHN D., *“A Origem do Universo”*, Lisboa, Temas e Debates – Actividades Editoriais L.^{da}, 2001
- /5/ BODANIS, DAVID, *“ $E = m c^2$ ”*, Lisboa, Gradiva – Publicações, L.^{da}, 2001
- /6/ DE DEUS, JORGE DIAS, *“Ciência, Curiosidade e Maldição”*, Lisboa, Gradiva – Publicações, L.^{da}, 1990
- /7/ DELLA VOLPE, GALVANO, *“a Lógica como Ciência Histórica”*, Lisboa, Edições 70 L.^{da}, 1984
- /8/ GREENE, BRIAN, *“O Universo Elegante”*, Lisboa, Gradiva – Publicações, L.^{da}, 2000
- /9/ GUITTON, JEAN, *“Deus e a Ciência para um meta-realismo”*, Lisboa, Editorial Notícias, 1992
- /10/ HALL, A. RUPERT, *“A Revolução na Ciência 1500-1750”*, Lisboa, Edições 70 L.^{da}, 1988
- /11/ HOUSTON, JAMES M., *“Mind On Fire”*, Minneapolis, Bethany House Publishers, 1989

/12/ REEVES, HUBERT, JOEL DE ROSNAY, YVES COPPENS, DOMINIQUE SIMONNET, “*A Mais Bela História do Mundo*”, Lisboa, Gradiva – Publicações, L.^{da}, 1996

/13/ REEVES, HUBERT, “*A hora do deslumbramento*”, Lisboa, Gradiva – Publicações, L.^{da}, 1994

/14/ STEPHEN HAWKING, ROGER PENROSE, “*A Natureza do Espaço e do Tempo*”, Lisboa, Gradiva – Publicações, L.^{da}, 1996

/15/ WHITE, MICHAEL, “*Isaac Newton, The Last Sorcerer*”, London, Fourth Estate, 1998

/16/ KUCHLING, HORST, “*PHYSIK, Formeln und Gesetze*”, Leipzig, VEB Fachbuchverlag, 1976.