

O QUE É UM FACTO EM CIÊNCIA?

J.R. Croca e R.N. Moreira

Departamento de Física
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Campo Grande Ed. C8
1749-016 Lisboa
email: croca@fc.ul.pt, ranm@netcabo.pt

Um exemplo longínquo

Quando reflectimos sobre o que é um facto em ciência, um exemplo que nos salta imediatamente à mente, pela importância que possui, é o estudo da passagem de uma concepção geocêntrica do Cosmos e uma concepção heliocêntrica desse mesmo Cosmos. Concepções que se confrontaram durante a revolução científica do século XVII.

Durante muitos anos essa luta foi-nos apresentada, qual filme de Hollywood, como uma luta entre vilões e heróis em que no fim ganharam os heróis. De facto, o resultado final foi a vitória do modelo heliocêntrico do Cosmos que hoje aceitamos integrado numa visão muito mais vasta do Universo. Mas os historiadores da ciência como Koyré, Kuhn entre outros mostraram-nos que essa luta foi muito mais complexa do que pode parecer à primeira vista.

Não pretendemos neste minúsculo texto fazer uma análise detalhada desse período em que a ciência moderna nasceu e cingir-nos-emos à análise dos factos que apoiavam, quer o modelo geocêntrico, quer o modelo heliocêntrico.

Em primeiro lugar é necessário dizer que a crença milenária de uma Terra parada estava bem fundamentada na informação empírica mais imediata. De facto, quando nos sentamos numa cadeira não sentimos o mesmo que quando nos deslocamos numa carroça ou num cavalo. Aí sim, o nosso movimento manifesta-se pelas forças que nos solicitam e pela alteração da nossa posição face a outros objectos. Não nos atreveríamos a dizer que seriam os outros objectos que se deslocavam (por exemplo, as árvores da borda da estrada) e não nós. Se, por outro lado, fossemos nós que estivéssemos na borda a estrada afirmaríamos que seriam o cavalo ou a carroça que se moviam e não nós.

E era exactamente este o problema que se punha então relativamente à mobilidade ou imobilidade da Terra.

Quando em 1543 foi publicado o “De Revolutionibus” de Copérnico, que factos corroboravam a tese da imobilidade do Sol e da mobilidade da Terra que nessa obra se defendia? A única resposta possível é: Nenhum! Por isso, e também pela sua clara ousadia ao ir contra algo até então tão enquistado no nosso espírito como um Cosmos centrado numa Terra imóvel, não é de estranhar que muito poucos tivessem defendido essa tese e ainda menos a tivessem entendido.

Podemos dizer que nas décadas que se lhe seguiram alguns factos indiciavam a fragilidade da visão aristotélico-ptolomaica no seu estado puro, como tenha sido a observação do aparecimento de novas estrelas visíveis a olho nu (são aquilo a que se dá o nome de “novas” e que, sabemos hoje, correspondem a um estágio da vida das estrelas) e que, mais importante do que isso, verificara-se que essas estrelas não sofriam de paralaxe o que mostrava não se tratar de um fenómeno meteorológico como até então se pretendia.

Também o estudo do movimento de cometas mostrara que estes teriam atravessado as órbitas de diversos planetas pondo em causa assim mais uma vez a imutabilidade dos céus.

Mas, voltamos a frisar, nada disto evidenciava que a Terra estava em movimento.

Avancemos um pouco mais e falemos das observações de Galileu através da luneta: O maior número de estrelas que se conseguiam ver agora, as manchas solares, as montanhas da Lua, os satélites de Júpiter e as famosas fases de Vénus. Se os quatro últimos indiciam mais uma vez que o mundo supra-lunar de Aristóteles e de Platão não seria assim tão diferente do mundo sub-lunar, a última, as fases de Vénus é muitas vezes apresentado como um forte argumento contra tese geocêntrica. Podemos afirmar que não é assim. Se o modelo ptolomaico se via em dificuldades para explicar as características dessas fases, o modelo de Tycho Brahe, também ele geocêntrico, explicava-as com toda a facilidade. Ainda mais, esse modelo fazia agora compreender muito mais claramente qual o significado do deferente e o dos epiciclos no movimento dos planetas, o deferente seria a órbita do Sol em torno da Terra, enquanto o epiciclo seria a órbita do planeta em torno do Sol. Na verdade, esse modelo defendia que a Lua orbitava em torno da Terra, o Sol também, mas todos os planetas orbitavam em torno do Sol. As estrelas rodariam também em torno da Terra.

Concluindo, podemos afirmar que nenhuma destas observações apoiava o modelo heliocêntrico. Mas mais, a não observação da paralaxe das estrelas, era um fortíssimo argumento contra a mobilidade da Terra. Claro que Copérnico tinha consciência dessa crítica e argumentou que as distâncias a que essas estrelas se encontravam seria tão grande que essa paralaxe não se tornaria visível. Sabemos hoje que esta é a boa resposta, mas para a época o dilema era o seguinte:

1º - A Terra está imóvel e portanto não se observa a paralaxe porque esta não existe.

2º - A Terra move-se mas pelo facto de as estrelas se encontrarem a enormes distâncias a paralaxe não é observada.

As pessoas sensatas, adoptando o critério de Ocham, não poderiam deixar de escolher a primeira hipótese, pois era a que menos problemas levantava.

Quando Galileu fez e relatou no “Sidereus Nuncios” de 1610 e nos dois anos seguintes, as suas observações com a luneta, iniciando uma enorme campanha de propaganda a favor do sistema coperniciano, nenhum dos fenómenos observados corroborava a existência de uma Terra em movimento. Todos eles cabiam na capacidade explicativa

do modelo de Tycho Brahe que, como sabemos, mantinha a Terra imóvel. E Galileu conhecia bem o modelo de Tycho Brahe pelo menos desde 1600.

A única consequência destas observações era a de carrear informação que indiciava que esse mundo “lá de cima” não seria assim tão diferente deste mundo “cá de baixo”, ou seja, punha em causa a distinção ontológica que Platão fizera entre o mundo sub-lunar e o mundo supra-lunar. Poderiam começar a duvidar da justeza da divisão epistemológica entre esses dois sub-mundos. Mas, volto a frisar, não punham em causa a imobilidade da Terra.

Todos sabemos hoje que a proposta coperniciana fundamentou-se muito mais em razões de ordem filosófica do que em procurar responder a dificuldades que a informação empírica tivesse levantado. Também não podemos compreender Galileu se o encararmos como um empirista de tipo baconiano. Não o foi nem o poderia ter sido. Claro que Galileu efectuou experiências, mas estas foram acima de tudo provocadas por uma enorme desconfiança sobre a coerência da visão do mundo aristotélico-ptolomaica que arrastou inevitavelmente atrás de si uma profunda desconfiança sobre a Física de Aristóteles. Foi porque o modelo copernicano destruía a distinção ontológica entre os mundos sub-lunar e supra-lunar que Galileu o defendeu, pois a consequência desta unificação ontológica do Cosmos era uma outra unificação: a unificação epistemológica, ou seja, a forma de conhecer o mundo não era a que Aristóteles concebera ao criar a sua Física, mas sim a que Platão tinha proposto para entender o mundo supra-lunar. Ou seja, criar, agora premeditadamente, modelos matematizáveis para o mundo sub-lunar que já não se distinguiam ontologicamente do mundo supra-lunar.

Foi esta procura de uma coerência superior que guiou Galileu e lhe permitiu olhar para os factos numa outra perspectiva, realizando experiências e encontrando, assim, novos factos que, de outra forma, não teriam emergido de um aterra conceptual que não os deixava vislumbrar.

Por este exemplo, vemos que, em larga medida, os factos são criados pelas teorias. Novos factos só são encontrados quando a forma como olhamos para eles é condicionada por uma nova visão do mundo, por uma nova ontologia. Factos já conhecidos e explicados por uma teoria são reinterpretados à luz de uma nova teoria. Por exemplo, uma pedra atirada verticalmente ao ar e que cai aproximadamente no mesmo local de onde foi lançada, era um facto que os aristotélicos apresentavam como uma prova da imobilidade da Terra. Esse mesmo facto para Galileu não significava nem que a Terra estava imóvel nem que a Terra estava em movimento. Era para ele um facto irrelevante. Já Bruno o evidenciara na sua *Cena delle céneri*, ao falar da experiência de deixar cair na vertical uma pedra do alto de um mastro de um barco a navegar em águas calmas ao longo de um cais. Um observador colocado dentro do barco via a pedra cair na vertical paralelamente ao mastro, enquanto um observador colocado no cais a via seguir uma trajectória não vertical pois o barco tinha-se deslocado enquanto a pedra caía. A pedra caía na vertical no barco apesar do barco estar em movimento. O mesmo aconteceria se o barco estivesse parado. Este raciocínio podia ser aplicado à Terra que é o nosso “barco” e a experiência invocada pelos aristotélicos perdia agora todo o significado.

Aqueles que sucederam a Galileu, como Descartes e Newton, mais não fizeram, e não foi pouco, do que seguir o caminho traçado por aquele, e em meados do século XVII só

um insensato poria em causa o modelo heliocêntrico do Cosmos. No entanto, só no século XIX é que apareceram as primeiras experiências e observações que directamente evidenciavam a mobilidade da Terra: a experiência do pêndulo de Foucault que evidenciava o movimento de rotação da Terra e a observação da existência de paralaxe das estrelas com o recurso à utilização de telescópios mais poderosos que só então puderam ser construídos.

Um exemplo recente

Vejamos agora um exemplo actual em que com a mesma evidência experimental, os factos, são interpretados de forma diferente dando origem a duas cosmologias completamente distintas. Uma destas cosmologias afirma que o universo teve um principio, uma origem; a outra, pelo contrário, defende que nada se pode afirmar, em termos científicos, sobre a origem ou um eventual fim do universo.

Esta evidência experimental foi obtida pela primeira vez, nos anos trinta do século XX, por um astrónomo americano chamado Hubble. Ele descobriu que a luz que chega até nós, vinda das estrelas e outros objectos astronómicos, apresenta um desvio sistemático para o vermelho, o chamado *redshift* em jargão científico. Sabia-se devido às descobertas espectroscópicas dos fins do século XIX, que os elementos e as substâncias químicas quando excitadas, por descargas eléctricas ou outro processo, emitem uma luz característica desse mesmo elemento, o chamado espectro. Este espectro, característico de cada elemento ou substância, constitui, como por assim dizer, a sua assinatura. Um exemplo deste facto pode ser facilmente observado quando grãos de sal de cozinha caem na chama do fogão. Esta chama muda de cor tornando-se “amarelada” devido à excitação dos átomos de sódio contidos no sal. Este avanço no conhecimento permitiu, contra aquilo que era proclamado por Comte, conhecer a composição das estrelas. O caso do hélio é paradigmático pois a sua descoberta foi feita primeiro no Sol, e só mais tarde se descobriu a sua presença na Terra.

Hubble fez uma observação sistemática da luz emitida pelas estrelas e procedeu à sua comparação com o espectro de referência produzido no laboratório. Constatou que existia um desvio persistente dos espectros das estrelas para a região do vermelho. Quer dizer, a luz das estrelas chega à Terra um pouco “avermelhada”.

Ninguém, na comunidade científica, duvida deste facto, desta evidência experimental. O problema que se colocou, e continua a colocar, é saber qual a razão porque a luz emitida pelos objectos astronómicos surge “avermelhada”.

Várias respostas foram até hoje avançadas para explicar tal facto observacional. Aqui referiremos, apenas às duas explicações mais aceites.

A primeira deveu-se ao Abade Lemaitre. Este homem da igreja interpretou aquele facto experimental assumindo como premissa fundamental que o fotão, essa estranha entidade que constitui a luz, no seu trajecto de biliões de biliões de quilómetros, desde os objectos cósmicos até chegar à Terra, permanece sempre com a mesma frequência. Quer isto dizer, por maior que seja o percurso do fotão através do espaço ele mantém-se inalterado conservando sempre a mesma frequência. Como a frequência é proporcional à energia, isso significa que a energia que um fotão possuía à partida é precisamente a

mesma que tem ao chegar à Terra. E isto depois de percorrer distâncias astronómicas durante biliões de anos. Por outras palavras, esta interpretação atribui ao fóton, essa complexa partícula quântica, um estatuto ontológico completamente diferente de qualquer outro sistema natural organizado que está sujeito a um processo natural de degradação, de perda de energia, de envelhecimento. Assim, se o fóton permanece sempre inalterado, com a mesma energia, a sua frequência não varia qualquer que seja o espaço percorrido. Então o desvio para o vermelho é interpretado como devido ao chamado efeito de Doppler característico dos fenómenos puramente ondulatórios. Este efeito ondulatório pode ser observado quando um veículo em movimento emissor de som, um comboio por exemplo, se aproxima de nós. Verifica-se que o som emitido se torna mais agudo, tanto mais quanto maior for a velocidade do comboio. Quando se afasta dá-se o fenómeno inverso, o som torna-se mais grave. Quer dizer, a frequência do som medida pelo observador parado varia consoante a velocidade da fonte emissora. Nestas condições, para saber se o objecto emissor de ondas se está a aproximar ou a afastar basta medir a frequência com que um som conhecido chega até nós. Se a fonte se aproxima a frequência aumenta, quando se afasta diminui.

Possuindo também a luz propriedades ondulatórias, o mesmo fenómeno deve ser observado com fontes luminosas. Assim, se a luz proveniente dos objectos astronómicos apresenta um desvio sistemático para o vermelho, o que corresponde a uma diminuição de frequência, isso significa que esses mesmos objectos se estão a afastar da Terra. Esta explicação parte do princípio de que a luz é um fenómeno puramente ondulatório escamoteando completamente as suas inerentes características quânticas de natureza corpuscular.

Partindo destes pressupostos, Lemaitre vai afirmar então que o desvio sistemático para o vermelho, o *redshift*, é uma prova, uma evidência, de que os objectos estelares se estão a afastar de nós e portanto o Mundo, o Universo está em expansão. Daí segue-se que estando-se a afastar todos os corpos do Universo é porque houve um início. Daí ao chamado Big Bang, à grande explosão é apenas um passo. No princípio a matéria estaria concentrada num “átomo” gigantesco dando-se depois a Grande Explosão, o Grande Bang, que teria assim dado origem ao Mundo. O processo de criação do Universo, instante a instante, pode ser encontrado em qualquer livro de divulgação científica astronómica. Deste modo o astrónomo católico, o Abade Lemaitre, conseguiu conciliar as suas crenças religiosas com os factos, com a evidência experimental.

Os defensores da teoria criacionista do Big Bang apresentam ainda outros argumentos a favor sua validade. Um destes argumentos, considerado como um dos mais sólidos por estes especialistas, está relacionada com a previsão da temperatura do espaço sideral. Esta temperatura é determinada experimentalmente a partir do estudo da radiação de fundo cósmica. Convém dizer, em abono da verdade [5], que tal temperatura foi prevista pela primeira a partir de considerações puramente termodinâmicas por Guillaume [6] em 1896, antes de ter sido descoberto o *redshift* e conseqüentemente muito antes de ter surgido a teoria criacionista de Lemaitre!

A outra interpretação do desvio para o vermelho deve-se a Luís de Broglie [7]. Este físico francês vai rejeitar a hipótese do Abade Lemaitre de que o *redshift* resulta unicamente do carácter ondulatório da luz. De Broglie vai assumir que o fóton, tal como qualquer outra entidade quântica complexa, pode interactuar com o meio que o rodeia perdendo energia. Nestas condições o fóton ao deslocar-se no espaço sideral vai

interactuar com o meio degradando-se, perdendo energia. Este processo conduz, naturalmente, a um decréscimo de frequência, tornando-se então a luz, mais “vermelha”. Quanto maior for o espaço percorrido pelo fóton tanto maior será a sua perda de energia e portanto mais vermelha se torna a luz. Assim, o desvio observado para o vermelho, o *redshift*, significa simplesmente que o fóton, no seu longo trajecto no espaço sideral, devido a um processo de interacção, se foi naturalmente degradando e portanto perdendo energia.

A partir destes pressuposto é possível criar [8] um modelo matemático para descrever o fóton. Neste modelo o fóton é entendido como uma entidade possuindo simultaneamente propriedades de onda e de corpúsculo. Quer dizer o modelo contempla quer o aspecto puramente ondulatório clássico da luz quer o seu aspecto quântico de corpúsculo. Isto, como vimos, em total oposição à hipótese de partida de Lemaitre que apenas tem em conta o aspecto clássico ondulatório. A partir deste modelo mais completo é possível obter as leis de interacção e derivar as formulas que nos dão o decréscimo de frequência, o desvio para o vermelho, o *redshift*, da luz observada em função do espaço sideral percorrido. Este decréscimo de frequência, como é de esperar, é extremamente pequeno. Só a partir de distâncias astronómicas se torna possível observar qualquer variação significativa na frequência da luz.

Neste modelo, a partir do conhecimento do desvio para o vermelho, obtido por via experimental, e por aplicação directa das fórmulas deduzidas, é possível determinar, de um modo extremamente simples, a distância a que um objecto cósmico se encontra.

Acabamos de ver, partindo da mesma evidência experimental, ou seja, o desvio para o vermelho, o *redshift* da luz proveniente dos objectos estelares, que é possível chegar a duas cosmologias completamente diferentes. A primeira postula um início, um principio, para o Universo descrevendo até mesmo as diversas fases do processo de criação. A segunda não se pronuncia sobre o início ou o fim do Universo.

A evidência experimental que possuímos presentemente é o resultado de uma conjuntura histórica, científica e técnica, sendo portanto necessariamente limitada quer no espaço quer no tempo. Sendo assim, como é então possível generalizar para todo o espaço e para todo o tempo? Uma vez que dispomos de uma informação claramente insuficiente como nos podemos permitir o arrojo de emitir opiniões, cientificamente fundamentadas, sobre problemas tão complexos como a origem ou o fim do Mundo!

Por mais estranho que possa parecer a um espírito racional, aberto e livre de preconceitos, apanágio de qualquer cientista que procure a verdade, a cosmologia aceite pela maioria da comunidade científica, é a criacionista do Big Bang. Isto apesar de, em alguns casos, os seus defensores não conhecerem devidamente as bases em que se tal cosmologia se fundamenta.

A questão básica que se coloca hoje é de saber se o fóton pertence a um eventual “mundo supra-lunar” possuindo assim uma natureza eterna, conservando sempre a sua energia, ou se, pelo contrário, está sujeito a um processo natural de degradação e envelhecimento. Presentemente existe evidência experimental, proveniente das geociências, onde se observam pequeníssimas discrepâncias, impossíveis de explicar do ponto de vista da primeira hipótese do fóton eterno, que são perfeitamente explicadas [9] no quadro conceptual causal que aceita que o fóton, tal como qualquer outro sistema

complexo, pode interagir e portanto perder energia, vindo assim a sua frequência decrescer. Por outro lado existe também todo um conjunto de propostas de experiências [8] que podem testar, em laboratório, a verdadeira natureza do fóton. Da realização destas experiências poderemos concluir se o fóton, essa estranha entidade quântica, é ou não um sistema dotado de uma estrutura interna assaz rica e complexa.

Referências

- 1 – Thomas S. Kuhn, *A revolução copernicana*, Edições 70, 1990.
- 2 – Alexandre Koyré, *Do mundo fechado ao universo infinito*, Gradiva.
- 3 – Stillman Drake, *Galileu*, Publicações Dom Quixote, 1981.
- 4 – Ludovico Geymonat, *Galilee*, Editions Complexe, 1983.
- 5- A.K.T. Assis and M.C.D. Neves, *History of the 2.7 K Temperature prior to Penzias and Wilson*, Apeiron, Vol. 2, 3(1995)79
- 6 – C. E. Guillaume, *La Nature*, 24, series 2, 1896, p.234
- 7 - L. de Broglie, *Cahiers de Physique*, **16**, 147, 429 1962; *Acad. Sci. Paris*, **263 B**, 9, 589, 1966
- 8 - J.R. Croca, *Towards a Nonlinear Quantum Physics*, World Scientific, Singapore, 2002
- 9 - J.R. Croca, *Earth Sciences Provide Evidence on the Nature of the Photon*, in print