

## A ARQUITECTURA DO UNIVERSO

**FIOLHAIS, Carlos**

*Departamento de Física*

UNIVERSIDADE DE COIMBRA - PORTUGAL

*O recente romance de José Rodrigues dos Santos «A Fórmula de Deus» (Gradiva, 2006) tece-se à volta de um tema de Astrofísica. Nele se abordam questões como: Como é a arquitectura do Universo? Como é que o Universo se foi construindo a si próprio desde o momento do «Big Bang»? Sem entrar no tema do «Grande Arquitecto», sobre o qual o romance especula, apresenta-se um resumo das principais ideias que hoje temos sobre o Universo e a sua história. Esse resumo baseia-se num capítulo do livro «Nova Física Divertida», que está no prelo.*

Uma das conclusões mais importantes da física do século XX é que o nosso Universo tem, atrás de si, uma história, uma longuíssima história. Não tem parado de se expandir desde que nasceu, há quinze mil milhões de anos. É a relatividade geral que permite conhecer a vida do Universo. Os astros que povoam o Universo também têm uma história, obviamente menor que a do Universo. Por exemplo, as estrelas começaram a nascer há catorze mil milhões de anos. E, tal como os humanos observadores de estrelas, também as estrelas nascem, vivem e, finalmente, morrem. É a física nuclear que permite conhecer os segredos mais íntimos da vida das estrelas.

Começámos por olhar para o céu e observar as estrelas, ainda não havia física nuclear nenhuma. A luz é o intermediário que permite o encontro à distância entre os homens e as estrelas e a cintilação das estrelas sempre foi motivo de encantamento. Conseguimos ver poucas centenas de estrelas à vista desarmada, mas o telescópio, que apareceu com Galileu no início do século XVII, veio armar a vista humana, revelando muito mais estrelas no céu do que aquelas que a vista sozinha conseguia ver. O céu aumentou extraordinariamente com Galileu

(curiosamente, foi entre Galileu e Newton que o céu deixou de ser visto como finito para passar a ser considerado infinito). Toda a luz que a vista vê é, claro, luz visível (uma verdade digna de Monsieur de La Palisse). Mas chama-se luz visível porque há luz que não é visível, a luz invisível, como por exemplo os raios X, os raios gama, ou as ondas de rádio, que é tão luz como a outra apesar de não ser captada pelos nossos olhos. Por que é que vemos a luz visível e a outra não? O Sol envia-nos principalmente luz visível, sendo a de cor verde a mais intensa (a cor amarelada do Sol surge da combinação entre o verde dominante e as diferentes cores emitidas) e, no decurso da evolução, os nossos olhos adaptaram-se a funcionar com a luz mais abundante, portanto a luz visível. Mas existem estrelas que são invisíveis ou praticamente invisíveis: são as estrelas que praticamente não emitem luz visível. Os satélites artificiais que transportam telescópios de luz invisível, por exemplo de raios X ou de raios gama, vieram aumentar nos anos 60 o olhar que a nossa vista alcança. Tiveram de ser postos acima da atmosfera para recolherem essa luz porque a luz invisível, com a exceção das ondas de rádio, microondas e alguma luz infravermelha, não consegue passar a atmosfera terrestre (e ainda bem, porque algumas radiações são perigosas para a vida!). Mesmo as microondas e a luz infravermelha lucram em ser recolhidas acima da atmosfera pois assim se evitam os prejuízos para a observação que sempre acontecem quando essa luz bate nas moléculas de ar. O Prémio Nobel da Física de 2006 foi dado a dois físicos norte-americanos John Mather e George Smoot, que conseguiram fazer um retrato completo do Universo quando ele era bebé com microondas recolhidas num satélite (o COBE, Cosmic Background Explorer, da NASA).

Nas décadas mais recentes, aproveitando a luz de vários tipos, tanto visível como invisível, foi possível obter uma rica coleção de retratos do céu e verificar que todo o Universo, incluindo as estrelas, está em constante transformação. Há estrelas que nascem, sempre lenta e pacatamente, e há estrelas que morrem, por vezes de uma forma muito violenta. O céu não é, pois, um sítio de paz e tranquilidade, um sítio de anjos em nuvens fofas onde não se passa nada, mas antes um lugar de perturbação e surpresa, palco de conturbados espectáculos da matéria e energia (só não é de *son et lumière*, porque no espaço vazio, e ao contrário do que fazem crer alguns filmes de ficção científica, o som não se pode propagar).

Pouco antes da invenção do telescópio, o astrónomo dinamarquês Tycho Brahe (mestre do astrónomo alemão Johannes Kepler e um grande admirador do matemático português Pedro Nunes, cujo nónio ele utilizou) viu aparecer uma estrela nova, que naturalmente julgou ser uma estrela a nascer, mas que afinal, sabemos-lo hoje, era uma estrela a morrer. O mesmo aconteceu com Johannes Kepler, discípulo de Brahe. Chamou-lhe em latim «*stella nova*», «nova estrela». Mas era uma estrela velha, muito velha, em explosão, num acontecimento a que hoje chamamos, paradoxalmente, uma supernova. As estrelas vivem e morrem, tal como nós!

Como é a arquitectura do Universo? O que vemos no céu a partir da Terra? O astro mais próximo de nós é o nosso único satélite natural, a Lua. O luar, luz do Sol reflectida na Lua, demora cerca de um segundo a viajar até à Terra. Os astronautas que foram à Lua demoraram um pouco mais – alguns dias – porque viajaram a uma velocidade muito menor do que a da luz. O sistema solar engloba a Terra, a Lua e mais sete planetas e seus satélites (Plutão é desde 2006 considerado planeta-anão). O homem ainda não foi directamente a outros astros para além da Lua, mas já enviou sondas aos astros principais do sistema solar e até mesmo para fora dele, como a *Voyager II*.

A estrela mais próxima da Terra depois do Sol, a Próxima do Centauro, está a quatro anos-luz de nós, isto é, a luz dela demora quatro anos a chegar (para comparação, a luz do Sol demora oito minutos). A estrela Sirius, uma das mais brilhantes do céu, está a 30 anos-luz de nós. Mas há milhões de outras estrelas só na nossa Galáxia, um conjunto de estrelas dispostas numa espiral que tem um diâmetro de quase cem mil anos-luz. Hoje sabe-se que existem outros sistemas planetários para além do nosso sistema solar: os astrónomos já identificaram várias dezenas. Na nossa Galáxia há estrelas ainda a nascer (a partir de poeira interestelar) e outras a morrer (como as supernovas que Brahe e Kepler viram explodir).

Mas há mais galáxias além da nossa. Essas, ao contrário da nossa, escrevem-se com minúscula. As mais próximas de nós são as Nuvens de Magalhães, relativamente pequenas e só visíveis do hemisfério Sul. Uma bem maior é a galáxia de Andrómeda, que está a um milhão de anos-luz de nós. As galáxias estão juntas em agregados. O nosso grupo de galáxias chama-se Grupo Local. Há ainda outros grupos de galáxias, tão longe quanto os nossos instrumentos de observação permitem alcançar. Os objectos mais distantes – os misteriosos quasares – estão a cerca de quinze mil milhões de anos-luz.

As estrelas, tal como tudo no Universo, são feitas de átomos, constituídos por sua vez por núcleos atómicos e electrões. Ao pesquisar a origem da luz das estrelas, identificaram-se no século XIX os átomos que constituem as estrelas. Os átomos das estrelas também existem na Terra, não são átomos estranhos. As estrelas são, portanto, feitas da mesma matéria existente na Terra, embora em proporções bastante diferentes. Para o astrónomo talvez seja intrigante pensar que ele próprio é feito da mesma matéria que as estrelas... E quais são os átomos preferidos pelas estrelas? Elas são constituídas essencialmente pelos dois primeiros elementos da tabela periódica: o hidrogénio e o hélio. O hidrogénio, o primeiro e o mais leve dos átomos, é também e de longe o primeiro em abundância dos elementos do cosmos. Cerca de 70 por cento dos átomos do Universo são de hidrogénio: existem nas estrelas e na poeira interestelar. Abunda também na Terra, uma vez que existe na água, a substância que caracteriza o nosso belo planeta azul. O hélio, que foi visto pela primeira vez no Sol (vem daí o seu nome: hélio significa Sol em grego), é não

só o segundo elemento da tabela periódica como o segundo elemento mais abundante no cosmos. Também existe na Terra, em particular na atmosfera, mas não é comum: é um dos chamados gases raros. O hélio no Universo existe tanto nas estrelas como fora delas (hélio produzido no decorrer do *Big Bang*, quando ainda não havia estrelas) e existe também na poeira interestelar. Cerca de 30 por cento dos átomos do Universo são de hélio. Sobra uma percentagem residual para os outros átomos todos, incluindo o carbono, que é essencial para a vida na Terra, e o oxigénio, que é um constituinte da água.

Nem sempre, porém, hidrogénio e hélio existiram no Universo nas proporções em que os conhecemos hoje. Houve um tempo em que nem sequer existiam estrelas e houve um tempo em que nem sequer existiam átomos. Nem de hidrogénio, nem de hélio, nem de coisíssima nenhuma!

Como é que o astrónomo de hoje conhece a história do Universo? Em primeiro lugar, ele observa o afastamento das galáxias, os grupos de estrelas (muitas estrelas, é normal haver mais de um milhão de estrelas numa galáxia): a força universal da gravidade, que Newton descreveu, é atractiva, mas, apesar disso, as galáxias estão, na sua maioria, a afastar-se umas das outras... Esse afastamento foi, pela primeira vez, descoberto pelo astrónomo norte-americano Edwin Hubble (que, já falecido, haveria de dar o nome ao telescópio espacial) nos anos 20 do século XX, no Observatório de Mount Wilson. O Universo está, portanto, em expansão a partir de uma prodigiosa, inimaginável, concentração inicial de energia. O momento inicial – chamado *Big Bang*, em português poderia ser o «Grande Pum», embora a expressão *Big Bang* também se use para designar todo o processo histórico à escala cósmica e não apenas o início desse processo, o instante zero – deu-se há cerca de quinze mil milhões de anos.

Contemos a história em três penadas. As estrelas só começaram a nascer passados cerca de um ou dois mil milhões de anos desde o instante zero do Universo, pois só nessa altura a força da gravidade conseguiu vencer a agitação desordenada dos átomos. Os átomos, por sua vez, apareceram antes das estrelas, cem mil anos depois do instante zero. Antes, os constituintes dos átomos, tanto electrões como núcleos, viviam ao deus-dará, alegremente separados uns dos outros. E antes... Um momento que já lá vamos. Paremos no instante da formação dos átomos, um instante cujo testemunho chegou até nós.

A segunda prova da história do Universo está, de facto, associada ao nascimento dos átomos. Os astrónomos observam da Terra, com o auxílio de radiotelescópios, uma radiação de fundo de microondas, que é igual para todos os lados onde olhem (não vem pois de nenhuma estrela ou de nenhuma galáxia em particular). É como se vivêssemos imersos num forno cósmico de microondas. Essa energia libertou-se quando surgiram os primeiros átomos, no instante em que os electrões e os núcleos deixaram de vadiar e se «casaram» uns com os outros por

todo o lado. O universo era opaco antes desse evento porque a radiação era continuamente emitida e absorvida pelos electrões e núcleos atómicos e passou, de repente, a ser transparente, uma vez que os átomos não podem emitir nem receber quaisquer quantidades de energia. Os primeiros a observar esta radiação «fóssil» foram, nos anos 60, os norte-americanos Arno Penzias e Robert Wilson, que estavam a verificar uma grande antena de microondas por conta da sua empresa, a *Bell Telephones*. Mas, mais recentemente, vários receptores de microondas colocados em balões e em satélites em órbita da Terra, obtiveram um retrato pormenorizado do «casamento» de electrões e núcleos, que ocorreu quando o Universo tinha apenas 150 mil anos. O pormenor é tal que apesar de a radiação vir quase uniformemente de todo o lado, é possível ver quais são os sítios onde ela, ainda que por pequeníssima margem, é diferente. Esses são os sítios onde a matéria era mais abundante e onde as galáxias se formaram.

A terceira prova da história do universo tem a ver com a proporção de átomos existentes à escala cósmica. As percentagens de hidrogénio e de hélio são números explicados pela física nuclear. Tal como a química estuda as reacções dos elementos e compostos, determinando as percentagens de produtos, a física nuclear permite explicar de forma quantitativa a formação dos núcleos atómicos no universo primitivo. Note-se que o tipo de partículas em reacção são muito diferentes da química (moléculas e seus constituintes, os átomos) e na física nuclear (núcleos atómicos e seus constituintes, os nucleões). Também muito diferente é a escala de energia das reacções, que é seis ordens de grandeza maior na física nuclear do que na química.

Sem ovos não se fazem omeletes e, antes de haver átomos, tiveram de se formar os núcleos atómicos (tal aconteceu quando tinham decorrido escassos três minutos depois do instante zero). O livro «*Os Três Primeiros Minutos*», do Prémio Nobel norte-americano Steven Weinberg, explica em poucas páginas o que aconteceu até haver núcleos. Antes dos núcleos tiveram de se formar os protões e neutrões (tal aconteceu ao fim de um milionésimo de segundo depois do Universo ter começado a existir). Mas o que é que havia no princípio, antes dos protões e neutrões? No princípio eram os quarks (os constituintes dos protões e dos neutrões), os electrões e ainda os neutrinos, estas últimas partículas estão por todo o lado atravessando facilmente a matéria. E antes? Bem, é lícito perguntar, mas a resposta de um físico não pode ser muito precisa: no princípio do princípio, era o reino da energia pura... do qual pouco ou nada sabemos. Provavelmente existia de início uma força única, a força unificada com que sonhava Einstein, que depois se foi desdobrando nas quatro forças fundamentais hoje conhecidas: nuclear forte, fraca, electromagnética e gravitacional. Foi a era do acordar das forças, finda a qual a energia se converteu em matéria, num processo descrito pela célebre equação de Einstein que relaciona energia e matéria. E antes desse antes? É ainda lícito perguntar, mas um físico não pode responder, porque ele só pode falar daquilo que

observa e a energia do *Big Bang* foi tão grande, tão grande, que apagou qualquer informação de qualquer coisa que tivesse existido antes. Embora haja físicos que gostem de especular e falem de um Universo cíclico, que se contraiu completamente antes de entrar em expansão, o certo é que os físicos, em geral, se abstém de falar daquilo que não sabem, e ainda mais daquilo que não sabem nem podem saber. A pergunta sobre o «antes do antes» é legítima, mas não devem ser os físicos a responder-lhe...

Havendo átomos, há material para fazer estrelas. As estrelas nasceram ou nascem todas mais ou menos da mesma maneira quando, no Universo, a força da gravidade fez ou faz juntar os átomos. As estrelas que vemos já, obviamente, nasceram, mas ainda hoje há estrelas a nascer. Logo que os núcleos dos átomos se aproximam o suficiente, entram em acção as poderosas forças nucleares (não é por acaso que se chama forte a essa força), iniciam-se violentas reacções nucleares, reacções de fusão que libertam muita energia (mais que as reacções de cisão nuclear). Nesses processos libertam-se raios gama, uma vez que a massa dos núcleos-filho é menor do que a massa dos núcleos-pais. Mais uma vez a fórmula de Einstein está em acção, mas enquanto no início do Universo foi a energia que deu lugar à matéria depois, no interior das estrelas, foi a matéria que deu lugar à energia. São essas reacções que mantêm as estrelas muito quentes, a temperaturas tão elevadas que é difícil imaginá-las, e que permitem por isso a excitação dos átomos na superfície solar, a emissão de luz e, portanto, que sejam vistas por nós. Mas o destino das estrelas depende, dramaticamente, do seu tamanho...

O tamanho importa! As estrelas podem classificar-se, de acordo com a sua massa, em pequenas, médias e grandes. O Sol é o padrão dessa escala, o fiel dessa balança. A massa das estrelas relaciona-se directamente com a sua temperatura e com a sua luminosidade. O Sol é uma estrela com um aspecto amarelo e, por isso, nem muito quente nem muito fria quando comparada com as outras. A cor de uma estrela permite conhecer logo a respectiva temperatura à superfície: no caso do Sol essa temperatura é de cerca de seis mil graus Celsius. A temperatura, muitíssimo maior no interior, só se consegue saber através de modelos teóricos, pois obviamente não se pode colocar um termómetro no interior do Sol. As estrelas normais, entendendo-se por normais as estrelas de meia idade, com um tamanho maior do que o do Sol são mais quentes e emitem mais luz: são azuis. As estrelas ainda normais mas com um tamanho menor do que o Sol são mais frias e emitem menos luz: são vermelhas. Existem, no entanto, estrelas anormais, estrelas que se encontram numa fase inicial ou terminal da sua vida. A morte dos vários tipos de estrelas é bem diferente, consoante a sua massa... A piada é de humor negro mas apetece dizer que também nas estrelas a qualidade do funeral é uma questão de massa!

As estrelas pequenas têm sempre uma temperatura relativamente baixa. Começam por emitir mais luz, vivem algum tempo como estrelas normais e acabam

cada vez mais pequenas (dizem-se então anãs vermelhas) e cada vez menos luminosas.

O Sol, uma estrela de tamanho médio e de meia idade, nasceu há cerca de cinco mil milhões de anos. No século XIX não se sabia por que é que as estrelas brilhavam e só a partir dos anos 30 do século XX, com os avanços da física nuclear e a compreensão dos processos de fusão nuclear, foi possível perceber por que é que as estrelas existem. A reacção principal no seu interior, que transforma núcleos de hidrogénio em núcleos de hélio faz diminuir continuamente a quantidade do primeiro e aumentar também continuamente a quantidade do segundo. Portanto, há muito hélio nas estrelas para além do hélio que se formou antes, durante o *Big Bang*. A vida da nossa estrela só se começará a extinguir quando faltar o «combustível» hidrogénio, tal e qual como uma fogueira que se apaga quando não há mais lenha. Mas atenção: as reacções da estrela não são químicas, mas sim nucleares, são um milhão de vezes mais energéticas. Quando a sua estabilidade terminar, o Sol arrefecerá e aumentará de luminosidade, tornando-se numa «gigante vermelha». Adquire cor vermelha e aumenta de tamanho. O raio do Sol dilatar-se-á até acabar por «engolir» a órbita da Terra e possivelmente até a órbita de Marte! Nessa altura, se a Terra ainda estiver na órbita actual e nós ainda existirmos sobre ela, estaremos literalmente fritos! Contudo, não tem o leitor motivos para alarme: isso só acontecerá daqui a cerca de cinco mil milhões de anos... A temperatura do Sol aumentará então progressivamente, diminuindo a sua luz. Tal se deve ao estabelecimento de uma nova reacção nuclear: a junção de três átomos de hélio para originar carbono. A simples presença do carbono auxiliará a consumir o que resta de hidrogénio. O Sol evoluirá lentamente para uma estrela de carbono (a mesma matéria da grafite e dos diamantes). Acabará como uma «anã branca», isto é, uma estrela pálida, cada vez mais pálida, com o tamanho da Terra e até menor. Com o decorrer do tempo, a anã branca diminuirá a sua luz de uma forma gradual até se apagar de vez...

Para quem estiver a ver o Sol nessa altura será um bom espectáculo. Mas uma estrela grande tem um destino mais espectacular que o Sol. Pode alimentar dentro de si não só a reacção de formação do carbono como várias outras que levam do carbono para núcleos atómicos sucessivamente mais pesados. No centro da estrela vão ficando camadas concêntricas com os núcleos mais pesados. A estrela – chamada uma «supergigante vermelha» (o nome não tem nada a ver com o Benfica!) – vai crescendo e, depois de uma vida bastante acidentada, acabará por explodir, projectando para o exterior o seu invólucro. É como uma cebola que rebenta deitando fora a casca. O nome «supernova» designa, precisamente, uma supergigante vermelha que explodiu. Antes de Brahe e Kepler, cerca do ano 1000 da nossa era, um grupo de monges chineses tiveram a sorte de ver uma supernova na constelação do Caranguejo e hoje, com bons telescópios, conseguimos identificar

não só a estrela que ficou no seu interior como a nuvem de material à volta. Kepler, o brilhante assistente de Brahe, também teve a sorte de ver uma supernova. Mas elas são raramente vistas da nossa posição na Galáxia (e ainda bem: a explosão de uma supernova é um acontecimento tão brutal que não convém estar perto). Mais recentemente, em 1987, foi possível ver a olho nu do hemisfério Sul da Terra uma supernova, de algum modo semelhante às novas descobertas por Brahe, por Kepler e, antes deles, pelos chineses. A sorte calhou a um astrónomo que estava de serviço nocturno no Observatório Europeu do Sul e o telescópio viu a supernova antes dele: fotografias tiradas antes e depois a uma mesma porção do céu distinguiam-se muito bem, por haver uma «estrela nova».

Uma vez que há elementos pesados na Terra e que estes só podem ser fabricados, pelo menos de modo natural, nas estrelas, a conclusão só pode ser que houve uma supernova anterior ao Sol. O Sol é, portanto, uma estrela de segunda geração, feita, assim como todo o seu sistema solar, de restos de uma estrela mais antiga. É de lá que vimos. Somos descendentes, ainda que remotos, de uma supernova que não foi nova para ninguém, uma estrela que ninguém viu explodir porque ainda não existiam seres humanos.

O interior de uma supernova pode, se a massa do caroço que ficar for suficientemente grande, ser uma estrela de neutrões, isto é, um gigantesco núcleo atómico, já que é formado essencialmente por neutrões. As estrelas de neutrões também são chamadas «pulsares» porque rodam com grande velocidade, emitindo luz. Parecem, por isso, faróis no espaço sideral, rodando a sua luz com um ritmo muito preciso. São objectos não do tamanho da Terra mas do tamanho de uma cidade, com uma massa que é várias vezes a do Sol. Foram descobertos nos anos 70 por uma aluna de doutoramento inglesa, Jocelyne Burns-Smith, que teve a desdita de não ter recebido o Prémio Nobel (atribuído apenas ao seu supervisor Anthony Hewish; não foram apenas as feministas que ficaram muito incomodadas com a Justiça).

O interior remanescente de uma supernova pode também ser um «buraco negro», se a sua massa for muito maior do que a do Sol. O nome, sem dúvida curioso, deve-se ao físico norte-americano John Wheeler. Não é propriamente um buraco, mas um objecto muito denso que atrai tudo à sua volta. De um buraco negro nada sai, nem a própria luz. De acordo com a teoria da relatividade geral de Einstein, os buracos negros são sítios onde o espaço-tempo acaba, extremamente distorcido pela enorme concentração de massa. Mas esses locais de perdição existirão mesmo? Sabemos hoje, embora indirectamente, que os buracos negros existem, com base na observação de estrelas binárias (ou duplas) em que só uma das parceiras é visível. Os raios X recolhidos por satélites em órbita da Terra testemunham o sorvedouro veloz de matéria pela estrela invisível que vem a ser, ao fim e ao cabo, o buraco negro. O astrofísico inglês, há muito retido numa cadeira de



rodas, Stephen Hawking apostou um dia com um amigo (a aposta não era em dinheiro mas uma assinatura da revista *Penthouse*...) que os buracos negros não existiam e já teve de pagar a aposta! Portanto existem mesmo. O próprio Hawking colocou a palavra «buraco negro» no subtítulo de um dos livros de ciência mais vendidos de sempre *Uma Breve História do Tempo*.

Dentro da supernova avistada pelos monges chineses ficou uma estrela de neutrões. Passados vários anos desde a supernova de 1987, a poeira ainda não assentou e ainda não sabemos ao certo se lá dentro está uma estrela de neutrões ou um burco-negro. O futuro o dirá...

Os humanos que construíram telescópios e satélites, habitantes de um planeta médio em torno de uma estrela média, são feitos da matéria das estrelas, de matéria que veio de uma ou de mais estrelas. Muitos dos átomos do seu corpo, incluindo o carbono, que tão precioso é para a vida, foram «cozinhados» no interior de uma ou de várias estrelas. É, por isso, um reencontro feliz aquele que se realiza quando um astrónomo observa uma estrela. Já alguém disse, numa bela metáfora, que um físico é o meio que o átomo encontrou para se compreender a si próprio. No mesmo sentido figurado, um astrónomo é o modo que uma estrela encontrou para se compreender a si própria, para conhecer o modo como nasceu, como vive e como um dia há-de morrer... E o astrónomo é o modo que o Universo encontrou para revelar a sua arquitectura!