

Discute-se o modelo físico-matemático usado para descrever o Universo: o *Modelo Cosmológico Padrão* ou *Modelo do Big Bang*. Descrevem-se os seus sucessos. Mostra-se como o modelo se pode compatibilizar com observações recentes. Especula-se sobre a natureza do *Big Bang*.

CARLOS HERDEIRO
Departamento de Física
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Rua do Campo Alegre, 687
4169-007 Porto

crherdei@fc.up.pt

UMA BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO: DO BIG BANG AO UNIVERSO ATUAL

ALGUMAS ESCALAS NO UNIVERSO

Por definição, pensamos no Universo como tudo o que existe. Planetas, estrelas, galáxias, enxames de galáxias, etc. Porque estão envolvidas escalas verdadeiramente gigantescas, usamos uma régua própria: o tempo que a luz demora a percorrer essas escalas. Nestas unidades, a distância Terra-Lua é aproximadamente 1 segundo luz. Pelo mesmo diapasão, a distância Terra-Sol é aproximadamente 8 minutos luz. O tamanho do sistema solar é da ordem de 5 horas luz, aproximadamente o raio médio da órbita de Plutão. A estrela mais próxima do Sol é a *Proxima Centauri*, a cerca de 4,2 anos luz, que é parte de um sistema estelar triplo. A nossa galáxia, a Via Láctea, tem um diâmetro de cerca de 100000 anos luz, uma dimensão que começa a parecer gigantesca, mas que é insignificante quando comparada com a dimensão estimada do Universo observável: cerca de 13,7 mil milhões de anos luz!

O MODELO COSMOLÓGICO PADRÃO

Os leitores mais cépticos estarão a interrogar-se sobre como é que podemos estimar a última dimensão dada na secção anterior. Estarão também a interrogar-se como será possível modelar um sistema tão complexo como o Universo, ou mesmo sobre o que significa *modelar* o Universo. As respostas a estas perguntas têm um factor comum, cuja história começa em Novembro de 1915. Nesse mês, Albert Einstein chegou à forma final da sua Teoria da Relatividade Geral, uma teoria da gravitação compatível com os princípios da Relatividade Restrita, introduzida em 1905, o que não acontecia com a velha Teoria da Gravitação Newtoniana. A teoria de Einstein previa alguns efeitos

TÓRIA DO BIG BANG ACELERADO

diferentes dos previstos pela teoria newtoniana, que viriam a confirmar a primeira. Conceptualmente, Einstein compreendera que podia modelar a interação gravítica como a *geometria do espaço e do tempo*. Isso significa, em particular, que o espaço e o tempo podem ser *dinâmicos*. O que permitiu compreender que o Universo, que é feito de espaço e de tempo e do que neles vive, pode ser dinâmico; pode ter tido um princípio e pode vir a ter um fim. Essa dinâmica é descrita pelas equações matemáticas da Relatividade Geral que, ainda que sem explicação, vale a pena contemplar:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} \quad (1)$$

Na expressão anterior $R_{\mu\nu}$ é o tensor de Ricci, $g_{\mu\nu}$ o tensor métrico, R é o escalar de Ricci, $T_{\mu\nu}$ designa o tensor energia-momento, G é a constante de gravitação universal e c a velocidade da luz no vázio.

Modelar o Universo significa compreender a dinâmica do espaço-tempo a que nós chamamos Universo, o que pode ser feito usando as equações (1). Mas, apesar do formalismo matemático bem definido, é necessário simplificar o problema para se tornar tratável. Esta simplificação chama-se *Princípio Cosmológico*. O conteúdo deste princípio é que o Universo é *homogéneo e isotrópico*. Isto é um princípio extremamente democrático! Significa que, em larga escala – e a Cosmologia debruça-se sobre a estrutura do Universo em larga escala – o Universo é semelhante em todos os locais e em todos os locais todas as direcções são equivalentes. Essencialmente, isto diz-nos que o Universo tem uma enorme simetria, e deixa (quase) como único grau de

liberdade para a dinâmica do Universo um *factor de escala*, que se representa como $a(t)$, e que nos informa do modo como o *tamanho* do Universo varia com o tempo cósmico. Com esta simplificação, a única liberdade que resta ao cosmólogo é escolher vários tipos de conteúdo material para o modelo do Universo; isto é, escolher se são electrões, quarks, fotões ou outras formas mais exóticas de matéria-energia os constituintes do Universo a incluir no modelo e em que quantidades. Fixando-as, as equações (1) dizem-nos como se comporta o factor de escala, ou seja, como é que o tamanho do Universo evolui no tempo.

No *Modelo Cosmológico Padrão* o conteúdo do Universo é escolhido de um modo conservador: a matéria e a radiação que bem conhecemos. Calculando o conseqüente factor de escala, obtemos um modelo que descreve apropriadamente três observações fundamentais, que se denominam os *pilares do Modelo Cosmológico Padrão*.

Primeiro pilar: a expansão cósmica

Em 1924, o astrónomo norte-americano Edwin Hubble fez um estudo sistemático do desvio para o vermelho da radiação recebida de outras galáxias e da distância às mesmas. Com base neste estudo publicou, em 1929, um diagrama – *o diagrama de Hubble* (Fig.1) – em que obtinha uma relação linear entre estas duas quantidades: quanto maior é a distância a uma determinada galáxia, maior é o desvio para o vermelho (*redshift*) da radiação proveniente dessa galáxia. Interpretando o desvio para o vermelho como *efeito Doppler*, isto é, devido ao movimento relativo entre o emissor e o receptor de radiação, concluiu-se das observações de Hubble que, genericamente, *todas as galáxias se estão a afastar de nós!* E quanto maior a distância à galáxia em questão, maior a velocidade de recessão da mesma relativamente a nós. Ora, pelo Princípio Cosmológico, a nossa posição no Cosmos nada tem de especial; logo todas as galáxias devem estar a afastar-se umas das outras.

Esta observação era facilmente integrável na teoria da Relatividade Geral, que trata o espaço-tempo como dinâmico. O holandês Willem de Sitter em 1917, o russo Alexander Friedmann, em 1922 e 1924, e o belga George Lemaître, em 1927, já haviam, antes da descoberta de Hubble, estudado modelos de universos em expansão usando a teoria de Einstein. Na descrição desta teoria, o movimento de recessão das galáxias não resulta de nenhuma velocidade peculiar das mesmas; é, literalmente, o espaço que estica, e as galáxias têm um movimento natural, co-móvel com esta dinâmica do espaço. Tal como pontos na superfície de um balão que é insuflado. Invertendo a seta temporal, o espaço contrai. Se no passado nada tiver invertido o processo, o espaço terá contraído tanto, que o factor de escala se terá reduzido a zero. Alexander Friedmann

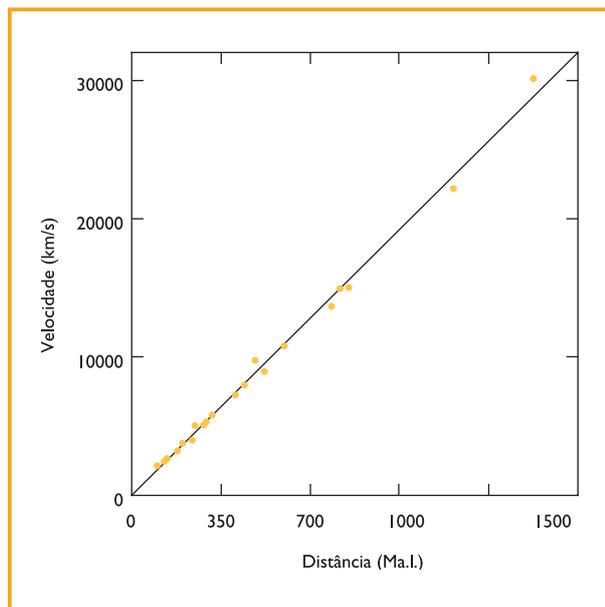


Fig. 1 - Lei de Hubble: existe uma relação linear entre a velocidade de recessão das galáxias e a distância às mesmas. A distância é apresentada em megaparsecs.

introduziu, em 1922, a ideia de um estado inicial com uma densidade muito elevada, se não infinita. Mas foi George Lemaître que popularizou a ideia de um átomo primordial – aquilo a que hoje chamamos o *Big Bang* – o popular termo cunhado em 1949 por Fred Hoyle.

Segundo pilar: a radiação cósmica de fundo

O Universo primitivo deverá ter sido não só extraordinariamente denso, mas também extraordinariamente quente. Um estudo quantitativo da temperatura do Universo foi feito em 1948, por um grupo de cientistas liderados por George Gamow, da Universidade George Washington, nos EUA. Gamow e colaboradores concluíram que deverá ter existido uma era primordial em que a densidade de energia da radiação terá sido superior à da matéria. Apesar de a densidade de energia da radiação diminuir mais bruscamente com a expansão do que a densidade de energia da matéria – pelo que eventualmente na evolução cósmica a densidade de energia da matéria começou a dominar – deverá existir ainda hoje um vestígio dessa radiação primordial, a inundar todo o Universo em equilíbrio térmico. Gamow e os seus colaboradores estimaram que esta *Radiação Cósmica de Fundo (RCF)* deveria ter presentemente uma temperatura entre os 5 e os 40 graus kelvin.

Num desenvolvimento paralelo, rádioastrónomos tinham encontrado, em estudos sobre emissões de baixa energia por moléculas no espaço interestelar, um ruído persistente e sem explicação óbvia. Em 1965, Arno Penzias e Robert

Wilson, dos Laboratórios Bell, sistematicamente eliminaram todas as possíveis fontes de ruído do seu receptor rádio em Holmdell, New Jersey, tendo chegado a um nível de ruído irremovível, aparentemente com origem extraterrestre, com a temperatura de cerca de 3 graus kelvin. No mesmo ano, Robert Dicke, James Peebles e colaboradores, refizeram a análise do grupo de Gamow e identificaram a radiação encontrada por Penzias e Wilson como a *RCF*, a assinatura de um *Big Bang* quente. Pela sua importantíssima descoberta, ainda que algo fortuita, Penzias e Wilson receberam, em 1978, o prémio Nobel da Física.

A *RCF* é mais do que uma relíquia do Universo primordial. É uma fotografia do Universo bebé, não na altura do parto, mas sim com a tenra idade de cerca de 300 000 anos. Com esta idade, a temperatura do Universo desceu o suficiente para que a maior parte dos electrões e protões – que até aí se encontravam livres formando um plasma – se tivessem associado em hidrogénio neutro. Este acontecimento, o *desacoplamento matéria-radiação*, marca uma transição. Para trás fica um nevoeiro luminoso em que os fotões da *RCF* estavam constantemente a ser absorvidos e emitidos por electrões livres. Para a frente fica um Universo transparente onde os fotões da *RCF* têm um enorme livre percurso médio. Alguns chegam mesmo até aos nossos olhos, hoje.

Apesar de esta radiação ser essencialmente isotrópica, há pequenas anisotropias – cerca de 1 parte em 10000 – que reflectem as flutuações de densidade da matéria-energia no Universo bebé. São estas pequenas perturbações de densidade, estudadas pelos satélites COBE (1992) e WMAP (2003), que irão evoluir para se tornarem as galáxias, estrelas e planetas do nosso Universo (Fig. 2).

Terceiro pilar: a nucleossíntese primordial

A partir do *Big Bang*, o Universo expande-se. Ao expandir-se as condições físicas tornam-se mais “amenas”: a densidade de matéria-energia diminui, tal como a temperatura. Da sopa primordial de partículas fermiónicas elementares – quarks e leptões, de acordo com o modelo padrão da física de partículas –, começam a emergir estados ligados, à medida que a energia disponível nesta sopa deixa de ser suficiente para vencer energias de ligação. Formam-se nucleões – protões e neutrões – como estados ligados de quarks e, entre 1 e 200 segundos depois do *Big Bang*, alguns núcleos de elementos leves são sintetizados. Para além do prótio ^1H , formam-se dois outros isótopos do hidrogénio, o deutério ^2H e o trítio ^3H , formam-se dois isótopos do hélio, ^3He e ^4He , dois isótopos do lítio, ^6Li e ^7Li , e um isótopo do berílio, ^7Be .

Em particular, cerca de 25% dos nucleões são convertidos em núcleos de ^4He . Estima-se que nos restantes cerca de 13,7 mil milhões de anos do Universo, milhões de estrelas

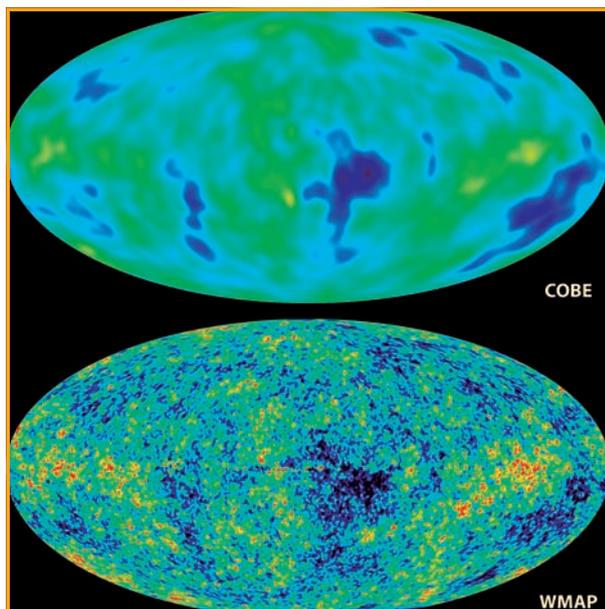


Fig. 2 - Mapa das anisotropias da radiação cósmica de fundo feita pelo satélite COBE e refinada pelo WMAP.

têm trabalhado arduamente, para converter cerca de 2% do restante hidrogénio do Universo em hélio. Assim só a nucleossíntese primordial, extremamente natural à luz do modelo do *Big Bang* quente pode explicar a abundância de hélio-4 e de deutério no Universo. É interessante observar que, na nucleossíntese primordial, nenhum elemento com número atómico superior a quatro foi formado. Os elementos com número atómico superior foram formados nas estrelas. Assim sendo, o Universo teria de esperar até à morte da primeira geração de estrelas para, numa segunda geração de estrelas e planetas, poder existir carbono, oxigénio e vida como a conhecemos.

O QUE FICA EM ABERTO NO MODELO COSMOLÓGICO PADRÃO ?

Consideremos uma experiência simples. Atiremos uma pedra ao ar. O que observamos? Ela cai, obviamente. Contudo, existe, ainda que teoricamente, um desfecho diferente. Se lançarmos a pedra ao ar com uma velocidade inicial superior à velocidade de escape da Terra, a pedra escapa à gravidade da Terra e não volta a cair. A questão pode ser reformulada: a pedra cai (não cai) se a força da gravidade da Terra for (não for) suficiente para travar a sua ascensão. Note-se que, em qualquer dos casos, o movimento ascendente é desacelerado.

A evolução do Universo é análoga. Existem duas possibilidades. Ou o Universo expandirá para sempre ou a sua expansão será travada e ele começará a contrair, voltando eventualmente a colapsar num ponto. A questão pode ser

formulada de uma maneira análoga à experiência da queda dos graves: a explosão inicial do Universo transmite-lhe um movimento de expansão que terminará (não terminará) se a força gravítica for suficiente (insuficiente) para travar a expansão. Note-se que, em qualquer dos casos, o facto de a força da gravidade ser atractiva implica que a expansão é desacelerada. No caso de parar, ao que se seguirá uma época de contracção, o Universo denomina-se *fechado*, e prevê-se uma nova singularidade cósmica – por vezes denominada *Big Crunch*. No caso de não parar, o Universo denomina-se *aberto*, e prevê-se uma morte térmica, quando todo o hidrogénio for convertido em hélio e todo o hélio em elementos mais pesados; a determinada altura terminará o combustível e dar-se-á, sem apelo nem agravo, a crise energética universal, para a qual não se vislumbra recurso a energias alternativas...

Até 1998, a questão que se colocava era em qual destes dois tipos de Universo é que nós vivemos. Mas estava uma surpresa, ainda por cima carregada de ironia, à nossa espera ao virar da esquina.

UMA MUDANÇA DE PARADIGMA: A ACELERAÇÃO PRESENTE DO UNIVERSO

Dois anos depois de ter formulado a Teoria da Relatividade Geral, Einstein dedicou-se à Cosmologia, tendo chegado à insatisfatória conclusão (do seu ponto de vista) de que as equações (1) não admitiam um universo estático como solução. Einstein tinha o preconceito filosófico de que o Universo era estático, e decidiu alterar as suas equações, da única maneira que, em quatro dimensões espaço-temporais, era possível fazê-lo consistentemente. Incluiu um *termo cosmológico* que contém uma constante, Λ , denominada, *constante cosmológica*. As equações (1) foram substituídas por

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad (2)$$

O problema de Einstein era análogo a conseguir colocar uma pedra em equilíbrio a uma determinada altitude no planeta Terra. A pedra quer cair devido à força gravítica. Para a manter em equilíbrio a uma certa altitude é necessário uma outra força, com sentido oposto, que equilibre a força gravítica. Para manter um universo em equilíbrio com um determinado factor de escala, é necessário equilibrar a atracção que as partes do universo exercem umas sobre as outras, por nelas existir matéria-energia. O termo cosmológico é interpretado fisicamente como uma pressão, ou “anti-gravidade”, e pode equilibrar o universo com um determinado factor de escala. Desta maneira, Einstein

descobriu uma solução estática (mas instável), hoje denominada Universo estático de Einstein. Mas, na década de 1920, Hubble descobre a expansão do Universo e Einstein classifica a constante cosmológica como “o seu maior erro”...

Em 1998, duas equipas (Riess *et al.* e Perlmutter *et al.*) obtiveram dados relativos à observação de supernovas extremamente longínquas. Das suas observações podia-se deduzir o desvio da linearidade da relação *redshift*-distância e deduzir não a velocidade, mas a aceleração do Universo. Os resultados mostraram que, ao contrário do que era geralmente aceite, a expansão do Universo é acelerada. O significado físico desta conclusão é que o tipo de matéria-energia dominante no Universo origina gravidade repulsiva. Embora impossível à luz da gravitação newtoniana, “gravidade repulsiva” é possível na teoria da gravitação relativista. A constante cosmológica de Einstein é um exemplo de matéria-energia que origina gravidade repulsiva e o mais forte candidato ao papel de “acelerador” do Universo.

Mas, fisicamente, a que corresponde este tipo de “matéria-energia”? Ou, mais genericamente, qual é o conteúdo de matéria-energia que existe no Universo? Acreditamos hoje que no Universo existe matéria bariónica, matéria escura e energia escura. Matéria bariónica é tudo o que “vemos”, isto é, que emite/reflecte radiação electromagnética. Matéria escura é algo que não “vemos”, mas inferimos dinamicamente a sua presença. O mais conhecido exemplo desta inferência dinâmica é dado pelas curvas de rotação galácticas. Imaginemo-nos num carrossel em andamento, com uma velocidade angular elevada, de modo a que, para não sermos “cuspidos” pela força centrífuga, temos de nos agarrar fortemente (criar uma força centrípeta) a um varão. Sabendo a velocidade angular do carrossel podemos calcular a força centrífuga e, como tal, a força centrípeta necessária para não sermos ejetados. Estudos de curvas de rotação galácticas demonstraram que a matéria visível presente na galáxia não consegue justificar a força gravítica (centrípeta) necessária para explicar a não ejeção das estrelas na periferia da galáxia, cujas velocidades de rotação podem ser calculadas. É necessária mais matéria – a matéria escura. Qual é a sua natureza? Há vários candidatos, desde neutrinos massivos a buracos negros ou ainda partículas exóticas, nenhum dos quais reúne consenso da comunidade científica. Há ainda quem advogue que poderão existir alterações às leis da gravidade a grandes distâncias.

Finalmente, a *energia escura*, que acelera o Universo. O folclore na comunidade é que a sua origem estará na energia de ponto zero de campos quânticos, que é uma consequência directa do princípio da incerteza de Heisenberg. Contudo, as dificuldades no tratamento da gravitação quântica têm impedido estimativas quantitativas; e as que se podem fazer diferem da magnitude da constante cosmológica necessária para explicar a aceleração do Universo

por dezenas de ordens de grandeza. O problema está, pois, completamente em aberto. O que sabemos, à luz dos dados do satélite WMAP, é que cerca de 73% do conteúdo matéria-energia do Universo é energia escura, 23% matéria escura e apenas 4% matéria visível ou bariónica. Para além da nossa ignorância, concluímos que, de facto, o Universo é dominado pelo “lado escuro”...

E O QUE PODEMOS DIZER À CERCA DO BIG BANG?

Será o *Big Bang* a criação? Ou haverá um pré-*Big Bang*? Modelos cosmológicos onde existe um pré-*Big Bang* têm surgido em duas classes. Numa primeira classe, à medida que caminhamos para o passado, o factor de escala nunca chega a zero, isto é, o Universo nunca colapsa num ponto. A determinada altura ele volta a expandir, num “ressalto cosmológico” ou *bounce* cosmológico. A razão é que algum tipo de matéria-energia que origina gravidade repulsiva começa a dominar a evolução do Universo, exactamente como na época presente. Numa segunda classe de modelos, o factor de escala torna-se zero, mas esta singularidade tem uma interpretação física. Existem modelos baseados em teoria de cordas deste tipo. Relativamente aos modelos em que o *Big Bang* é a criação do nosso Universo há grandes dificuldades; existiram algumas tentativas, na década de 1980, inspiradas em física das partículas e lideradas por Stephen Hawking que argumentavam a possibilidade de “nucleação” do nosso Universo. Mas estas ideias requerem implicitamente a existência de um hiper-espaço onde o nosso Universo é criado e nesse sentido não é a criação de *tudo*.

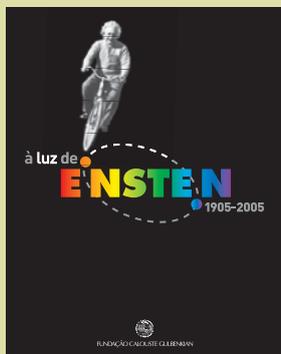
O desafio é, obviamente, enorme. Mas, dado o espantoso sucesso do modelo cosmológico padrão, também é enorme o estímulo de ir mais longe na nossa compreensão do Universo. Certamente o futuro trará muitas surpresas. E, provavelmente, citando Arthur C. Clarke, “*a realidade será, como sempre, bem mais estranha do que a ficção*”.

REFERÊNCIAS

[1] Para saber mais sobre o Modelo Padrão da Cosmologia, recomenda-se o livro *Cosmology: the science of the Universe*, Edward Harrison, Cambridge University Press, segunda edição, 2000, que faz a ponte entre um livro de divulgação científica e um livro técnico.

[2] Para saber mais sobre a aceleração presente do Universo, recomenda-se o artigo “Astronomy: Cosmic Motion Revealed”, James Glanz, *Science*, vol. 282, 1998, p.2156-2157; também disponível em <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/282/5397/2156a>.

EXPOSIÇÃO "À LUZ DE EINSTEIN" EM COIMBRA



"à luz de Einstein 1905-2005"

Coordenação de Ana Maria Eiró e Carlos Matos Ferreira
Fundação Calouste Gulbenkian, 2005.

Depois de exibida em Lisboa, na Fundação Calouste Gulbenkian, entre Outubro de 2005 e Janeiro deste ano, a exposição "**à luz de Einstein 1905-2005**" está agora patente ao público em Coimbra, nas instalações do Museu Nacional da Ciência e da Técnica Doutor Mário Silva, no Colégio das Artes (antigo hospital da Universidade), até ao dia 24 de Novembro de 2006.

Esta exposição foi organizada no âmbito do Ano Internacional da Física que, em 2005, assinalou o centenário de 1905, ano em que Einstein publicou quatro trabalhos que vieram a revolucionar a física, sendo, por isso, um marco histórico da física moderna.

A exposição inicia-se com um percurso histórico, que ilustra a evolução do conhecimento da Natureza ao longo de 2400 anos, desde a Grécia Antiga, berço da filosofia natural, até aos finais do século XIX, quando a nova ciência física triunfou plenamente. Segue-se uma referência à vida e obra de Einstein, em particular aos seus trabalhos de 1905, após o que a exposição se desenvolve em torno de temas da luz e da matéria, mostrando importantes progressos científicos dos últimos cem anos. Percorre-se o caminho desde a descoberta do electrão à moderna microelectrónica e desde a descoberta do fóton até à óptica dos lasers, mostrando como estas realizações permeiam as tecnologias da vida contemporânea. Mostra-se ainda como a física permitiu aprofundar o conhecimento sobre a vida e o corpo humano, e os benefícios que daí têm resultado na nova qualidade de vida. Finalmente, apresenta-se a visão actual do Universo e da sua evolução, tal como é revelado pela física actual.

Explicar os conceitos e realizações da física que estão por detrás da exposição, descrevendo cada um dos módulos, é o objectivo do catálogo, com o mesmo título da exposição, que está à venda para acompanhar o visitante durante e depois da visita. Nele, cada um dos responsáveis científicos pelas diversas áreas expositivas escreveu a respectiva história.

Na **Biblioteca do Saber**, Ana Simões conduz o leitor/visitante por um percurso através de 2400 anos de interrogações sobre o mundo físico, dos gregos até ao tempo de Einstein. Apresentam-se seis espaços, associados a seis filósofos da natureza/cientistas, e um conjunto de objectos emblemáticos da forma de fazer ciência associada a esses lugares. Os espaços seleccionados conduzem-nos do liceu aristotélico à universida-

de medieval, a uma corte renascentista, a uma sociedade científica, a um gabinete de física e, finalmente, a uma universidade do século XIX.

Depois deste percurso histórico, entra-se na descoberta do "novo mundo", que começa com a **Ruptura de 1905**, espaço/artigo dedicado à vida e obra de Albert Einstein, em particular aos seus trabalhos revolucionários de 1905. Das novas ideias apresentadas, Paulo Crawford destaca a dualidade onda-corpúsculo, que está na base da física quântica, e o conceito de espaço-tempo que vem substituir as velhas noções de espaço e tempo absolutos.

O espaço/artigo seguinte, o **Mundo dos Electrões** criado por Pedro Brogueira e Luis Viseu Melo, desenvolve-se em torno do electrão, descoberto no final do século XIX. Com ele, e com a mecânica quântica, se iniciou a revolução electrónica, fortemente impulsionada a meio do século XX com a invenção do transistor e do circuito integrado. Essa minúscula partícula carregada, "operário incansável" dos nossos dispositivos electrónicos, é também a onda que permite a observação nos microscópios electrónicos.

A natureza da luz, que Einstein também ajudou a compreender; deu lugar a grandes revoluções, como a invenção do laser nos anos 50. Esta nova luz, tornou-se uma ferramenta fundamental no desenvolvimento tecnológico das sociedades modernas. Na **Câmara da Luz**, Luís Oliveira e Silva e João Mendanha explicam as propriedades da luz, desde a geração de luz laser; passando pela detecção e transmissão de luz visível ou invisível, até ao armazenamento e codificação da informação que a luz pode transportar:

O século XX trouxe uma nova luz sobre o mundo. Vivemos de um modo diferente porque a **Física está em toda a parte**, como explica Gonçalo Figueira no seu artigo. Nele se mostra como as actividades comuns da vida moderna seriam impossíveis se a física não estivesse por detrás delas. O leitor é convidado a partir à descoberta da física numa viagem pelo quotidiano e a investigar as suas aplicações na cultura e nas comunicações.

A nossa qualidade de vida está também relacionada com o que foi possível conhecer sobre nós próprios. Com luzes visíveis ou invisíveis e aparelhos de medida que a física moderna permitiu desenvolver; conseguimos hoje observar a anatomia e a actividade de órgãos, tecidos e artérias no interior do corpo humano, perceber as suas funções, diagnosticar doenças, por vezes tratar e curar. Isto nos explica Teresa Peña no seu artigo **Luz sobre a Vida**, dando-nos pistas do modo como, a partir de medições de sinais eléctricos, estamos a aprender como é que os sentidos captam informação e o cérebro a processa.

No último espaço/artigo Rui Agostinho lança **Luz sobre o Cosmos**. Hoje podemos desvendar a verdadeira estrutura e composição do Universo, medir a abundância primordial dos elementos, a radiação cósmica de fundo e a velocidade e aceleração das galáxias. Aprendemos que o Universo está em expansão, desde o *Big Bang*, que foi origem do espaço-tempo, entendemos a formação e a composição das estrelas assim como a estrutura das galáxias, descobrimos planetas extra-solares, etc.

O catálogo é um convite à aventura da ciência, uma aventura sem fim. Esperamos que a sua leitura proporcione o prazer da descoberta e também um conhecimento adicional que permita olhar o mundo com os olhos mais abertos.