

Luz: História, Natureza e Aplicações

Ana Rita Ribeiro, Luis Coelho, Orfeu Bertolami, Ricardo André

Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Resumo

O ano de 2015 foi proclamado pela UNESCO como o Ano Internacional da Luz e das Tecnologias baseadas em Luz. Neste sentido, pretende-se consciencializar a população para a importância do papel que a luz desempenha no nosso dia-a-dia. Com este artigo, os autores pretendem fazer uma breve revisão da História da luz, descrevendo sucintamente as teorias adjacentes a este fenómeno, bem como as principais descobertas que assentam na mesma. Para além disto, são também expostas algumas aplicações em que a luz é utilizada.

Até ao início do século XVII, o entendimento humano sobre a luz tanto ao nível da sua natureza como ao nível da explicação de fenómenos ópticos evoluiu muito lentamente. Desde o mundo antigo que sabemos que a luz se propaga em linha recta, embora a ideia estivesse ligada a raios que saíam dos olhos em direcção aos objectos de modo a “sentir” esses objectos. Esta noção começou com Euclides (ca. 325 a.C. a 265 a. C.) que, no seu tratado *Optica*, descrevia a luz como raios que partiam dos olhos para os objectos. No entanto, foi também o primeiro a notar que a luz viajava em linha recta e descreveu a lei da reflexão. Heron de Alexandria (ca. 10 d.C. a 70 d.C.), na sua obra *Catoptrica*, mostrou geometricamente que um raio de luz segue o caminho mais curto quando reflectido por um espelho plano. Já Ptolomeu (ca. 90 d.C. a 168 d.C.), que estudou a refacção, sugeriu que o ângulo de refacção era proporcional ao ângulo de incidência.

Após o desenvolvimento das primeiras noções e teorias da luz pelos gregos até ao segundo século d.C., seguiu-se um longo período de hibernação científica até ao início do século XVII. Nestes cerca de 1500 anos, destaca-se Ibn al-Haitham (963–1039), conhecido na Europa como Alhazen. Ibn al-Haitham foi o primeiro a destrinçar luz de visão, a retirar da óptica o aspecto subjectivo do que os olhos vêem. Refutou a lei da refacção de Ptolomeu, explicando que apenas se verificava para pequenos ângulos, discutiu a refacção atmosférica, explicou o aumento aparente do Sol e da Lua quando perto do horizonte e foi o primeiro a dar uma descrição precisa do funcionamento do olho humano. Ibn al-Haitham foi sem dúvida a figura mais importante na

história da óptica e da luz desde a antiguidade até ao século XVII, de tal modo que o Ano Internacional da Luz 2015 assinala, entre várias efemérides, o milésimo aniversário do seu tratado *Kitab al-Manazir* (Livro de Óptica).

Como em tempos de seca qualquer gota conta, no século XIII, destacam-se três figuras na Europa: Robert Grosseteste, Roger Bacon e Vitelo de Silesia. Robert Grosseteste (ca. 1175–1253), cientista, teólogo e bispo de Lincoln, propôs que a teoria deveria ser combinada com a observação experimental, lançando as bases do que é hoje conhecido como o método científico. Acreditava que as cores estavam relacionadas com a intensidade da luz e que o arco-íris resultava da reflexão e refacção por camadas numa cortina de água, embora nunca tenha considerado o efeito de gotas individuais. Tal como Euclides e os primeiros gregos, acreditava que a visão envolvia emanações do olho para o objecto. Roger Bacon (ca. 1215–1294), seguidor dos trabalhos de Grosseteste e do seu método científico, levou a cabo diversas experiências com lentes e espelhos, considerou que a luz teria uma velocidade finita e atribuiu o arco-íris à reflexão da luz solar em gotas individuais. Vitelo de Silesia (1230–1275) escreveu um texto sobre óptica, *Perspectiva*, que permaneceu uma das referências na área durante séculos, embora tenha sido em grande parte baseado no tratado em óptica de Ibn al-Haitham. Reconheceu ainda que o ângulo de refacção não é proporcional ao ângulo de incidência.

O grande desenvolvimento do início do século XVII foi iniciado pela invenção de novos instrumentos ópticos. Foi nesta altura que tanto o microscópio como o telescópio foram inventados, e a sua origem é ainda hoje debatida. A invenção do microscópio é atribuída ao fabricante de óculos holandês Zacharias Janssen, em 1590. No entanto, esta descoberta é disputada pelo seu compatriota Hans Lippershey. Já a invenção do telescópio está associada não só a estes dois fabricantes de óculos mas também ao



Fig. 1 - Objectiva do telescópio de Galileu e o próprio telescópio no detalhe.

fabricante de instrumentos e oculista, também holandês, Jacob Metius, em 1608. O desenvolvimento de ambos os instrumentos prosseguiu durante o século XVII e a notícia das invenções rapidamente se espalhou pela Europa. Galileu Galilei (1564–1642) construiu em 1609 o seu próprio telescópio com uma ampliação superior ao telescópio de Lipperhey, permitindo-lhe fazer observações e descobertas astronómicas que eventualmente fundamentaram o modelo heliocêntrico de Copérnico (Figura 1). Johannes Kepler (1571–1630), um dos poucos que aceitava a teoria heliocêntrica de Copérnico, apresentou explicações dos princípios que envolviam a utilização de lentes convergentes e divergentes em microscópios e telescópios e descobriu as leis de movimento planetário. Apresentou uma explicação correcta da visão e das funções da pupila, da córnea e da retina e descobriu ainda a reflexão interna total, mas foi incapaz de deduzir uma relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de refração. Só em 1621, Willebrord Snell (1580–1626) descobriu experimentalmente a lei da refração, a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de refração quando a luz passa de um meio transparente para outro. A lei da refração na sua forma actual, envolvendo termos sinusoidais, foi publicada por René Descartes (1596–1650) em 1644. Em 1657, Pierre de Fermat (1601–1665) deduziu a lei da refração do seu princípio de tempo mínimo, que diz que “a trajetória percorrida pela luz ao se propagar de um ponto a outro é tal que o tempo gasto em percorrê-la é um mínimo”.

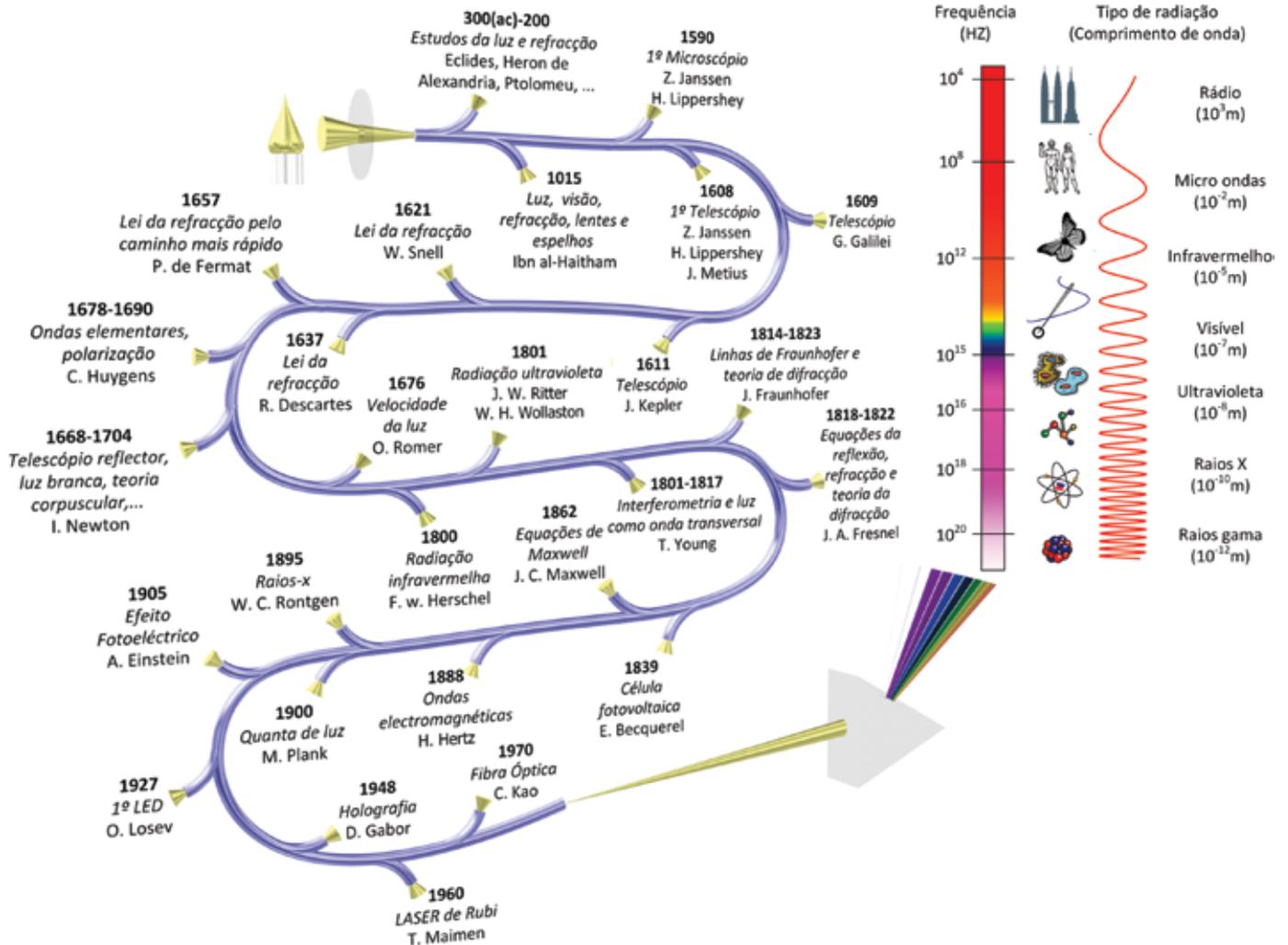
No final do século XVII, a óptica geométrica e o fabrico de lentes eram bem compreendidos, mas a natureza da luz era ainda um mistério. É aqui que Isaac Newton (1642–1727) dá um contributo essencial ao descrever a dispersão da luz branca quando atravessa um prisma (1666) e concluir que a luz solar era constituída por luz de diferentes cores. Construiu também o primeiro telescópio reflector para solucionar o problema da aberração cromática exibida pelos telescópios refractores (1668). Nesta altura, Christiaan Huygens (1629–1695) desenvolvia

a sua teoria ondulatória proposta no seu *Traité de Lumière* em 1690. De acordo com a teoria de Huygens, em cada ponto do espaço, a luz excita ondas elementares. Essas excitações funcionam então como fontes secundárias, e assim se propaga a luz. O mais surpreendente é que o modelo de Huygens não é uma verdadeira teoria ondulatória; as suas ondas elementares são de facto mais comparáveis a frentes de onda ou ondas de choque e não estão relacionadas com nenhuma noção de movimento periódico. Com a sua teoria, Huygens consegue explicar a velocidade reduzida da luz num meio mais denso, a refração, a polarização e a birrefringência.

A visão que Newton tinha de luz chocava com a de Huygens. Na sua obra *Opticks* (1704), Newton apresentou a ideia que a luz é corpuscular, é formada por raios que viajam em linha recta e não como ondas. Para Newton a propagação em linha recta da luz não era compatível com uma teoria ondulatória. Newton explicou muitos fenómenos com a sua teoria corpuscular e, devido ao peso das suas opiniões, levou a que esta fosse a mais aceite durante cem anos. É de salientar que durante esta disputa, em 1676, Ole Rømer determinou a velocidade da luz através do atraso nos eclipses das luas de Júpiter durante o período de afastamento entre a Terra e este planeta. Rømer obteve um valor de cerca de 2×10^8 m/s.

O século XVIII foi mais uma vez escasso em desenvolvimentos ópticos, mas no século XIX a óptica evoluiu rapidamente. Em 1802, Thomas Young (1773–1829) formulou o princípio da interferência e mostrou, com uma série de experiências engenhosas, que a luz se comporta claramente como uma onda. Explicou assim a difração da luz, e foi também o primeiro a introduzir a ideia da luz como onda transversal (1817), que era até então vista como uma onda longitudinal. Muito do progresso da teoria ondulatória deve-se a Augustin Jean Fresnel (1788–1827). Apologista da teoria ondulatória, Fresnel explicou a propagação rectilínea da luz em meios homogéneos e isotrópicos, calculou padrões de difração e deduziu equações para a intensidade da luz reflectida e refractada – as equações de Fresnel. Juntamente com Dominique François Arago (1786–1853) demonstrou que dois raios de luz com polarizações perpendiculares não interferiam, o que levou Young à conclusão que a luz é uma onda transversal. Ainda no século XIX, Joseph von Fraunhofer (1787–1826), entre outras experiências com a luz, inventou a espectroscopia, sendo o seu trabalho continuado e consolidado por Gustav Kirchhoff (1824–1887). Os sucessos da teoria ondulatória até então não tinham rival na teoria corpuscular, mas a decisão final veio da medição da velocidade da luz por Jean Bernard Léon Foucault (1819–1868) que em 1850 provou que a velocidade da luz num meio (água neste caso) era inferior à velocidade da luz no vácuo, algo que contrariava Newton e a sua teoria corpuscular. Foucault obteve um valor de 298 000 km/s para a velocidade da luz no ar.

Baseado nos trabalhos de Michael Faraday (1791–1867), James Clerk Maxwell (1831–1879) derivou as equações fundamentais do electromagnetismo, que implicam a existência de ondas electromagnéticas transversais a propagar-se a



Cronologia de acontecimentos históricos e descobertas relacionadas com a luz com inclusão do espectro electromagnético.

uma velocidade fixa, à velocidade da luz. Em 1888, Heinrich Hertz (1857–1894) desenhou um detector e um oscilador que lhe permitiram gerar e detectar ondas electromagnéticas, fazendo da óptica um ramo da electrodinâmica. Hertz descobriu também o efeito fotoeléctrico (1887), embora a sua explicação viesse apenas com Einstein, anos mais tarde.

No fim do século XIX, o sucesso da teoria ondulatória parecia inequívoco, mas Max Planck (1858–1947) explicou em 1900 a distribuição de energia de um corpo negro usando a sua teoria quântica. Esta suscitou que Albert Einstein (1879–1955) introduzisse o conceito de *quanta* de energia (mais tarde denominado *fotão*) e assim atribuiu novamente propriedades corpusculares à luz. Ao renovar a perspectiva corpuscular, Einstein abriu caminho à noção de dualidade onda-partícula. Este conceito foi central na revolução desencadeada pela mecânica quântica, onde reciprocamente se atribui às partículas microscópicas um comportamento ondulatório.

No seu *annus mirabilis*, 1905, Einstein publicou quatro artigos que revolucionaram a física. Nesses trabalhos, Einstein resolveu quatro problemas, directa ou indirectamente associados à luz. Começa por examinar o efeito fotoeléctrico, verificado experimentalmente no final do século XIX, que

consiste na dependência da energia dos electrões emitidos por superfícies metálicas em função da frequência da luz incidente. Esta ideia, essencial para o entendimento do efeito fotoeléctrico, assume que a luz é composta por corpúsculos, os fotões, com energia proporcional à sua frequência. Estuda de seguida o movimento browniano, a deslocação errática de partículas suspensas numa solução devida às colisões com moléculas de água.

A explicação deste fenómeno encerrou definitivamente a querela acerca da existência dos átomos, até então inobservados. Apresenta então a teoria da relatividade restrita, no seio da qual a luz tem um papel estruturante, e a demonstração da equivalência entre a massa de repouso, m , de um corpo e a energia, E , nele armazenada: a célebre equação $E = mc^2$, sendo c a velocidade da luz no vácuo.

A teoria da relatividade restrita veio resolver outra crise da física clássica. A mecânica de Newton e a teoria electromagnética de Maxwell haviam sido formuladas no pressuposto de que as suas leis eram independentes da velocidade relativa constante, v , entre sistemas de referência (referenciais de inércia).

Contudo, as equações da mecânica newtoniana

eram invariantes sob as chamadas transformações de Galileu, que assumiam ser o tempo absoluto. Porém, a aplicação destas transformações às equações de Maxwell não as deixa invariantes. Em oposição, as equações que unificam a electricidade e o magnetismo são invariantes sob as chamadas transformações de FitzGerald-Lorentz, transformações em que o tempo deixa de ser absoluto.

Einstein adoptou as transformações de FitzGerald-Lorentz e generalizou a mecânica de Newton. Nesta generalização assumiu dois postulados, um dos quais se refere explicitamente à luz:

- 1) As leis da física, da mecânica ao electromagnetismo, da física estatística à nuclear, etc. são invariantes sob as transformações de FitzGerald-Lorentz;
- 2) A velocidade da luz no vácuo, c , é constante e tem o mesmo valor independentemente da velocidade da fonte emissora ou do observador.

Esses postulados têm implicações que, do ponto de vista da mecânica de Newton, são paradoxais. O facto de a informação sobre os acontecimentos ser transmitida pela luz a uma velocidade finita, implica que acontecimentos simultâneos num referencial não o são noutra. Pode também concluir-se que comprimentos e intervalos de tempo não são iguais quando observados de sistemas de referência distintos, de modo que efectivamente o tempo se dilata e o espaço se contrai.

Laser

Em 1916, Albert Einstein propôs que a emissão estimulada de luz é um processo que deve ocorrer juntamente com a absorção e a emissão espontânea, lançando assim as bases para o que viria a ser uma das mais importantes invenções da história da luz, o LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). A emissão estimulada é o processo pelo qual um fóton incidente de uma frequência específica interage com um electrão atómico excitado, provocando a sua transição para um nível de energia mais baixo. A energia é libertada sob a forma de um novo fóton com características idênticas: a mesma frequência, fase, polarização e direcção do fóton incidente. Em condições normais, o processo contrário à emissão estimulada – a absorção – é mais frequente, visto que há mais electrões em estados de energia mais baixos que em estados de energia mais elevados. É possível criar uma inversão de população electrónica, de modo a obter amplificação óptica. Esta inversão de população criada num meio com ganho óptico, juntamente com uma cavidade ressonante são a base do laser e do maser (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*).

Em 1954, os primeiros maser foram desenvolvidos

Concluída a relatividade restrita, que estabelece a invariância das leis da física para referenciais inerciais, o passo seguinte passava pela generalização para referenciais acelerados. Einstein alcançou esta extensão, a Teoria da Relatividade Geral, em 1915. Para tal observou que, na vizinhança de um dado ponto, os efeitos de um campo gravitacional são equivalentes aos observados num referencial acelerado, e que neste referencial um raio de luz é curvado, pelo que dever-se-ia esperar que o mesmo acontecesse num campo gravitacional. Na teoria da relatividade geral, a gravitação é uma consequência da curvatura do espaço-tempo, sendo esta curvatura determinada pela dinâmica da matéria/energia. Reciprocamente, a dinâmica da curvatura do espaço-tempo afecta a matéria/energia.

Assim, ao propagar-se num espaço-tempo curvo, a luz é deflectida na vizinhança de corpos massivos e o movimento dos corpos celestes é determinado por essa curvatura. A teoria também prevê a existência de “lentes” gravitacionais, isto é, distorções, imagens duplas, concentrações de luz sob a forma de arcos, etc. causadas pela curvatura do espaço-tempo.

O desenvolvimento da teoria quântica por Planck e as contribuições dadas por Einstein no início do século XX levaram a um entendimento mais profundo das propriedades e natureza da luz. Desencadeou-se então um processo acelerado de invenções e desenvolvimento de tecnologia baseada na luz, das quais se destacam o laser e a fibra óptica (ver caixas).

Durante as últimas décadas, foram alcançados significativos avanços tecnológicos baseados na óptica. Uma vez

independentemente por Charles Townes e Jim Gordon nos Estados Unidos e por Nicolay Basov e Alexandr Prokhorov na URSS. Em 1958, Townes e Arthur Schawlow publicaram e patentearam o conceito de *maser óptico* para radiação visível e infravermelha. Com esta publicação iniciou-se a corrida em busca do primeiro laser. Foi Theodore Maimon que em 1960 demonstrou o primeiro laser funcional – o laser de Rubi. Este era tão simples que em apenas poucas semanas diversos grupos de investigação conseguiram construir o seu próprio dispositivo. Desde então, seguiram-se rapidamente outros tipos de laser como de He-Ne em 1961, o de semicondutores (GaAs) em 1962, o de CO₂ em 1963, o de iões em 1964, o de corante orgânico em 1966, o de electrões livres em 1971/76 e o de raios-x em 1985.

Desde a sua descoberta, o laser tornou-se uma ferramenta indispensável nas nossas vidas. A primeira aplicação amplamente reconhecida do laser apareceu em 1974 com a introdução de leitores de códigos de barras. Nos anos que passaram, os lasers aplicaram-se nas mais diversas áreas desde as mais tradicionais como a medicina com técnicas de imagiologia (por exemplo OCT) e cirurgia (LASIK) a laser, comunicações ópticas, corte industrial, apontadores laser, leitura e gravação de CD e DVD, holografia e LIDAR (*Light Detection And Ranging*) a técnicas de ponta como fotografia ultra-rápida, arrefecimento a laser e propulsão a laser.

Fibra óptica

Desde há milhares de anos que a luz tem sido utilizada em telecomunicações. Sinais de fumo, velas em navios ou fogueiras no topo de torres, são apenas alguns exemplos de sistemas simples de comunicar informação a longa distância. Foi apenas no final do século XVIII que um sistema mais complexo de luzes posicionadas em torres – o primeiro telégrafo óptico – foi inventado pelo francês Claude Chappe. Os operadores destas torres transmitiam a informação de uma torre para a seguinte ao longo de uma cadeia.

Em 1841, o suíço Jean-Daniel Colladon mostrou pela primeira vez a guiagem de luz e a reflexão interna total num jacto de água mas foi John Tyndall que, em 1854, demonstrou efectivamente que a luz podia ser curvada para seguir o percurso de um fluxo de água (Figura 4). Tyndall e Colladon são considerados hoje os precursores da fibra óptica.

Alexander Graham Bell patenteou em 1880 um sistema de telefone óptico, a que chamou fotofone. Este permitia que sinais sonoros fossem codificados e transmitidos num feixe de luz em que a variação de intensidade representava diferentes tons. Embora Bell considerasse o fotofone a sua melhor invenção, a sua invenção anterior, o telefone eléctrico, era mais simples, prático e barato, e provou ser mais realista. Nesse mesmo ano, William Wheeler inventou um sistema de tubos revestidos interiormente com uma camada reflectora que era utilizado para conduzir a luz e iluminar casas usando uma lâmpada de arco eléctrico colocada na cave.

Já no século XX, mais especificamente nos anos 20, John Logie Baird patenteou a ideia de usar matrizes de varas transparentes para transmitir imagens para televisão, enquanto Clarence W. Hansell desenvolveu o mesmo para fac-símiles. Foi no entanto Heinrich Lamm que, em 1930, na tentativa de iluminar partes inacessíveis do corpo humano, transmitiu pela primeira vez uma imagem através de um molhe de fibras ópticas.

Em 1954, Abraham Van Heel e Harold Hopkins apresentaram separadamente molhes de fibras ópticas para a transmissão de imagem. A ideia inovadora surgiu uns anos mais tarde por Van Heel, que propôs cobrir as fibras com uma bainha transparente de índice de refração inferior. Esta

bainha protegia assim a superfície de reflexão total de distorção exterior e reduzia a interferência entre fibras. Este foi um grande progresso visto que o grande obstá-

culo ao uso de fibra óptica eram as suas enormes perdas.

Com a crescente necessidade de aumento da largura de banda e o facto de as frequências de micro-ondas e de rádio estarem já no limite das suas capacidades, foi necessário procurar a solução em frequências mais altas. Com a invenção do laser em 1960, as comunicações ópticas pareciam ser o caminho a seguir. Em 1961, Elias Snitzer publicou uma descrição teórica de fibras monomodo, cujo núcleo seria tão pequeno que guiaria luz num único modo.

Nesta altura, quase toda a comunidade considerava que as fibras tinham demasiadas perdas para utilizar as em comunicações. Uma atenuação de 1 decibel por metro era suficiente baixa para aplicações médicas, porém comunicações a longa distância não pareciam factíveis.

Foi em 1964 que Charles Kao e George Hockham publicaram um artigo em que demonstraram teoricamente que as perdas em fibras de vidro existentes podiam ser drasticamente reduzidas removendo impurezas. Mostraram que o problema não era da sílica, mas sim da sua pureza. Kao estava convencido que as perdas na fibra podiam ser reduzidas a menos de 20 dB/km. Esta previsão, anunciada em 1966, a tornar-se verdade, tornaria as fibras ópticas num dispositivo extremamente apetecível no âmbito das comunicações. Assim, vários laboratórios pelo mundo fora começaram a tentar reduzir a atenuação das fibras. Em apenas quatro anos atingiu-se o valor previsto por Kao. Foi na Corning Glass Works que Robert Maurer, Donald Keck e Peter Schultz começaram a investigar sílica fundida, um material capaz de ser produzido com alta pureza e baixo índice de refração, do qual produziram uma fibra monomodo com atenuação inferior a 20 dB/km a 633 nm.

Esses primeiros sistemas eram capazes de transmitir luz por vários quilómetros, contudo era inevitável que a tecnologia evoluísse para larguras de banda superiores, com menor atenuação e maior capacidade de transmissão de informação. Hoje em dia, as fibras ópticas são utilizadas nas mais diversas áreas incluindo a medicina e as telecomunicações, áreas que estiveram na sua origem (Figura 5).

que esta é uma área extremamente vasta, isto faz com que desenvolvimentos com múltiplas finalidades tenham sido alcançados. Neste sentido, alguns dos tópicos mais relevantes são as comunicações, os ecrãs, a saúde e medicina, a energia e a astronomia.

Comunicações

Tradicionalmente, as tecnologias ópticas têm sido usadas

na área das telecomunicações a longa distância (quilómetros), usando a fibra óptica como meio de transmissão de dados (ver caixa). Um exemplo óbvio é a internet. Mais recentemente, com o aparecimento e desenvolvimento das micro e nanotecnologias baseadas em dispositivos miniaturizados (normalmente apelidados *chips*), novas configurações propiciam comunicações a escalas muito reduzidas



Fig. 2 - Telescópio Yepun: formação de uma estrela artificial que é usada como referência para corrigir os efeitos da atmosfera e dos espelhos do telescópio na captação de imagens.

(desde alguns micrómetros até alguns centímetros). Desta forma, é possível utilizar a luz como meio de transmissão de informação entre chips e até mesmo no seu interior.

Ecrãs

Hoje, muita da tecnologia que nos rodeia usa como interface um ecrã, permitindo assim que haja interação entre o utilizador e a “máquina”. Esta interação pode ser apenas visual ou por meio do tacto. Exemplos destes dispositivos são as televisões, os ecrãs dos computadores, os *smartphones*, os *tablets*, ou até mesmo os mostradores de micro-ondas, de um relógio digital, entre outros. Existem vários tipos de ecrãs, tais como os do tipo CRT (tubo de raios catódicos), LCD (ecrã de cristais líquidos), plasma, outros baseados em LED (díodo emissor de luz), entre outros. Os CRT foram os primeiros a surgir, tornando-se comerciais em 1922. O seu funcionamento baseia-se num canhão de electrões que é disparado numa tela fluorescente e que permite assim a formação de imagens. No caso dos LCD e dos plasmas, ambos se baseiam em duas lâminas entre as quais há um cristal líquido ou um gás, respectivamente. Entretanto, quando estimulados electricamente, estes meios reagem, e em conjunto com outros mecanismos ocorre a formação de imagens. Relativamente aos ecrãs OLED, estes apareceram no mercado mais recentemente e são energeticamente mais eficientes do que os LCD. Neste caso, para que haja a criação de imagem, existe uma camada semicondutora composta por moléculas orgânicas que funciona como meio activo. Para além da enorme variedade de ecrãs, existe ainda tecnologia que permite que visualizemos a imagem em três dimensões, o que é normalmente conseguido com a ajuda de uns óculos apropriados baseados em efeitos de polarização.

Saúde e Medicina

A luz tem também tido um papel revolucionário no âmbito da medicina e da bioquímica. Esta tem sido usada como instrumento de diagnóstico (estudo) e de tratamento de doenças. Alguns dos pontos mais relevantes nesta área são: microscopia de alta

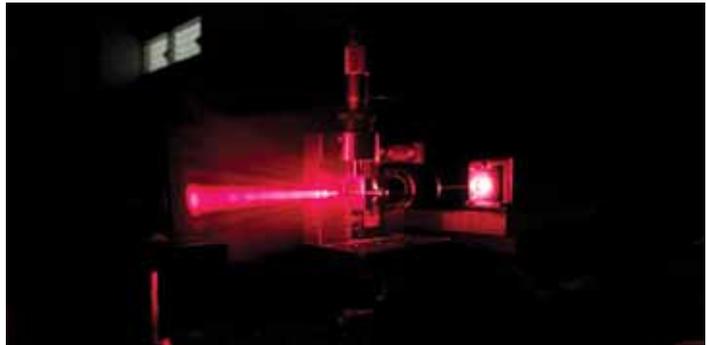


Fig. 3 - Expansão de um feixe laser, e projecção do seu padrão de Airy em três dimensões.

resolução, permitindo fazer imagens de células à escala nanométrica; espectroscopia, onde novas formas de absorção e fluorescência permitem perceber como certas reacções químicas e moleculares ocorrem ao nível celular; tomografia de difusão, no qual por exemplo o corpo humano pode ser iluminado, e a luz difundida é depois recolhida e as suas propriedades correlacionadas com as características do corpo humano, permitindo assim perceber se existe alguma anomalia, nomeadamente um tumor; na optogenética a luz é utilizada para controlar células vivas, normalmente neurónios, que foram alterados para que respondam a estímulos luminosos.

Energia

Uma vez que as energias não renováveis estão cada vez mais escassas e ao mesmo tempo a poluição atmosférica está a aumentar radicalmente, o uso da luz solar como energia renovável, é para todos benéfica e essencial. Os raios de luz que provêm do sol podem ser convertidos em energia através do uso de painéis térmicos e fotovoltaicos. Os primeiros são usados para converter a luz solar em energia que permite, por exemplo, aquecer água, já os segundos transformam a energia solar em electricidade através das células fotovoltaicas. O desafio atualmente passa por tornar estes conversores luz-electricidade mais eficientes, visto que os sistemas comerciais ainda estão muito aquém do pretendido com valores da ordem dos 20 % a 30 %.

Astronomia

Desde sempre a luz tem sido a portadora da informação das partes mais longínquas do cosmos. A descoberta e o desenvolvimento do telescópio permitiu uma rápida aceleração dos conhecimentos astronómicos e a confirmação e aplicação de fenómenos ópticos e físicos fundamentais, tais

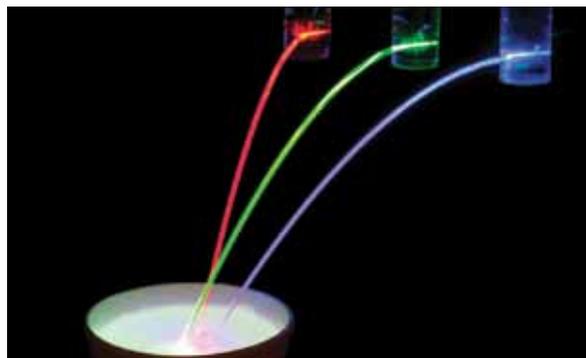


Fig. 4 - Recombinação de três feixes laser guiados por um líquido, originando luz branca.

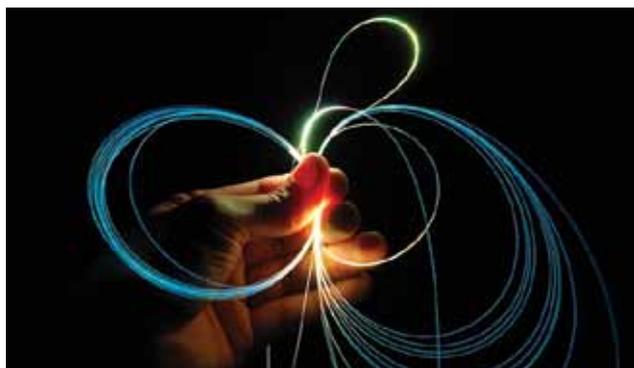


Fig. 5 - Fibra óptica.

como o efeito Doppler, o desvio de frequência gravitacional e a descomposição espectral. Esta última permitiu aos astrónomos determinar com grande precisão a composição de objectos astronómicos, assim como as condições físicas neles reinantes. Estes desenvolvimentos deram origem à astrofísica, e no seio desta a teoria da evolução estelar, à astronomia extragaláctica e eventualmente à cosmologia observacional (Figura 2). Mais recentemente, instrumentos de grande sensibilidade permitem detectar minúsculas variações de luminosidade das estrelas, levando por exemplo à detecção de planetas extrassolares.

O ano de 2015, eleito como Ano Internacional da Luz, marca um período de eventos e actividades que pretendem enfatizar a sua importância, não só como fenómeno, mas também como elemento tecnológico. Actualmente, seria irrealista imaginar o nosso mundo sem o domínio que o ser humano detém sobre a luz e a forma como a aplica. Este artigo pretende dar uma visão geral sobre a história da luz e as suas aplicações, no entanto ficou ainda muito por dizer.

Neste sentido, tecnologias emergentes como computadores quânticos, sistemas telescópicos avançados (James Webb Space Telescope), interferómetros de extrema precisão (10^{-18}) para detecção de ondas gravitacionais (LIGO), e novas microscopias destinadas ao preenchimento de lacunas existentes no conhecimento do corpo humano foram omitidas neste artigo, mas seguramente constituem grande parte do futuro fantástico tendo a luz como elemento de estudo fulcral.

Referências

Luís Miguel Bernardo, *Histórias da Luz e das Cores* (Editora da Universidade do Porto 2005, 2007, 2010)

Orfeu Bertolami, *O Livro das Escolhas Cósmicas* (Editora Gradiva 2006)

A. E. Willner, R. L. Byer, C. J. Chang-Hasnain, S. R. Forrest, H. Kressel, H. Kogelnik, G. J. Tearney, C. H. Townes, M. N. Zervas, *Optics and Photonics: Key Enabling Technologies*. Proc. IEEE 100 (Special Centennial Issue), 1604–1643 (2012).

Orfeu Bertolami e Jorge Páramos, *Einstein e a Descrição Unificada da Natureza*, *Gazeta de Física* 28, 3 (2005).

<http://ail2015.org/>

<http://www.light2015.org/>

Por opção pessoal, os autores do texto não escrevem segundo o novo Acordo Ortográfico.



Ana Rita S. R. Ribeiro é licenciada e mestre em Física pela Faculdade de Ciência da Universidade do Porto (FCUP) desde 2012. Actualmente é aluna de doutoramento em Física na Universidade do Porto e no Centro de Fotónica Aplicada do INESC TEC. O tema do seu doutoramento relaciona-se com o desenvolvimento

de dispositivos em fibra óptica para a imobilização e manipulação celular, através da fabricação de lentes com características especiais. Parte do seu doutoramento foi feito em colaboração com o *MASDAR Institute* em Abu Dhabi.



Luís Coelho é licenciado em Engenharia Física (2005) e Mestre em Instrumentação e Microelectónica (2006) pela Universidade de Coimbra. Desenvolveu trabalho de instrumentação atómica e nuclear na experiência internacional *Xenon Direct Dark Matter Search* localizada em L'Aquila, Itália. Actualmente esta a

terminar o doutoramento em Física na FCUP no Centro de Fotónica Aplicada do INESC TEC, com o tema de filmes finos aplicados a sensores em fibras ópticas. A sua investigação actual envolve estudos de sensores em fibra óptica com camadas metálicas e dieléctricas com vista à monitorização de meios líquidos e gasosos, em particular óleos alimentares e hidrogénio, através de redes de período longo e plasmões de superfície.



Orfeu Bertolami nasceu em São Paulo, Brasil, em 1959. Licenciado em Física pela Universidade de São Paulo em 1980, obteve o mestrado no Instituto de Física Teórica em São Paulo em 1983, o Grau Avançado em Matemática na Universidade de Cambridge no Reino Unido em 1984 e o doutoramento em física teórica na Universidade de Oxford em 1987. Foi, de 1991 a 2010, professor no Departamento de Física do Instituto Superior Técnico e é actualmente Professor Catedrático no Departamento de Física e Astronomia da FCUP. Os seus principais interesses centram-se nas áreas da astrofísica, cosmologia, física e propulsão espacial, gravitação clássica e quântica, e em teorias de cordas.



Ricardo André nasceu em New London, Estados Unidos, em 1989. Foi licenciado em Física pela FCUP em 2010 e obteve o mestrado em Engenharia Física também na FCUP em 2012. Actualmente é estudante de doutoramento em Física na FCUP e no laboratório associado INESC TEC, no

Centro de Fotónica Aplicada. No desenvolvimento do seu trabalho de doutoramento esteve já em centros de excelência na Eslovénia, na Alemanha e nos Emirados Árabes Unidos. O seu doutoramento centra-se no design e fabricação de micro e nano-estruturas em fibra óptica para a criação de sensores.

Prémios Nobel da Física em Óptica, Fotónica e áreas relacionadas

1901	Wilhelm C. Röntgen	em reconhecimento dos serviços extraordinários prestados pela descoberta dos raios, posteriormente nomeados em sua homenagem
1902	Pieter Zeeman e Hendrik A. Lorentz	em reconhecimento dos extraordinários serviços prestados através das suas pesquisas sobre a influência do magnetismo diante do fenómeno da radiação
1907	Albert A. Michelson	pelos seus instrumentos de precisão óptica e a investigação espectroscópica e metrológica feitas com a sua ajuda
1908	Gabriel Lippmann	pelo seu método de reproduzir fotografias coloridas baseado no fenómeno de Interferência
1909	Guglielmo Marconi e Karl F. Braun	pelas suas contribuições no desenvolvimento da telegrafia sem fios
1911	Wilhelm Wien	pelas suas descobertas sobre as leis que regem a radiação de calor
1914	Max von Laue	pela sua descoberta da difração de raios x por cristais
1915	William L. Bragg e Sir William H. Bragg	pelos seus serviços na análise da estrutura cristalina através do uso de raios x
1918	Max Planck	pelos serviços prestados no avanço da física através da descoberta de "quanta" de energia
1919	Johannes Stark	pela sua descoberta do efeito Doppler em raios anódicos e a divisão das linhas espectrais na presença de campos elétricos
1921	Albert Einstein	pelos serviços na física teórica e especialmente pela sua descoberta da lei do efeito fotoelétrico
1922	Niels Bohr	pelos serviços na investigação da estrutura dos átomos e da radiação emanada por eles
1923	Robert A. Millikan	pelo seu estudo das cargas elétricas elementares e do efeito fotoelétrico
1930	Sir Chandrasekhara Raman	pelo seu estudo da dispersão da luz e por descrever o fenómeno de espalhamento inelástico da luz através da matéria
1932	Werner Heisenberg	pela criação da mecânica quântica, cuja aplicação levou à descoberta das formas alotrópicas do hidrogénio
1933	Erwin Schrödinger e Paul A. M. Dirac	pela descoberta de novas formas produtivas da teoria atómica
1944	Isidor I. Rabi	pelo seu método de ressonância para registo das propriedades magnéticas de núcleos atómicos
1953	Frederik Zernike	pela demonstração do método de contraste de fase, em especial pela invenção do microscópio de contraste de fase
1954	Max Born	pela pesquisa fundamental na mecânica quântica, especialmente pela sua interpretação estatística da função de onda
1955	Willis E. Lamb Polykarp Kusch	pelas suas descobertas sobre a estrutura fina do espectro de hidrogénio pela sua determinação precisa do momento magnético do electrão
1964	Charles H. Townes, Aleksandr M. Prokhorov e Nicolay G. Basov	por trabalho fundamental no campo da eletrónica quântica, que levou a construção de osciladores e amplificadores baseados no princípio maser-laser
1965	Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger e Richard P. Feynman	pelo trabalho fundamental na eletrodinâmica quântica, com profundas consequências para a física de partículas elementares
1966	Alfred Kastler	pela descoberta e desenvolvimento de métodos ópticos no estudo da ressonância hertziana nos átomos
1971	Dennis Gabor	pela invenção e desenvolvimento da holografia
1978	Robert W. Wilson e Arno Penzias	pela descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas
1981	Kai M. Seigbahn Arthur L. Schawlow e Nicolaas Bloembergen	pela contribuição no desenvolvimento da espectroscopia de electrões de alta resolução pelas contribuições no desenvolvimento da espectroscopia a laser
1988	Ernst Ruska Heinrich Rohrer e Gerd Binnig	por trabalhos fundamentais em óptica de electrões e pelo desenvolvimento do primeiro microscópio eletrónico pelo desenvolvimento do microscópio de efeito de túnel
1989	Norman F. Ramsey Wolfgang Paul e Hans G. Dehmelt	pela invenção do método de campos oscilantes separados, e o seu uso no maser de hidrogénio e em outros relógios atómicos pelo desenvolvimento da técnica <i>ion trap</i>
1997	William D. Phillips, Claude Cohen-Tannoudji e Steven Chu	pelo desenvolvimento de métodos de arrefecimento e captura de átomos com luz laser
2000	Herbert Kroemer e Zhores I. Alferov	pelo desenvolvimento de hetero-estruturas semiconductoras utilizadas em electrónica de altas velocidades e em optoeletrónica
2001	Carl Weiman, Wolfgang Ketterle e Eric Cornell	pela criação experimental do condensado de Bose-Einstein em gases diluídos de átomos alcalinos, e por estudos fundamentais das propriedades dos condensados
2005	Theodor W. Hänsch e John L. Hall Roy J. Glauber	pela contribuição no desenvolvimento da espectroscopia de precisão a laser, incluindo a técnica de pente de frequências pela contribuição na teoria quântica da coerência da luz
2006	George Smoot e John C. Mather	pela descoberta da forma de corpos negros e da anisotropia da radiação cósmica de fundo
2009	George E. Smith e Willard S. Boyle Charles K. Kao	pela invenção do dispositivo de carga acoplada (CCD) pelas realizações relativas à transmissão da luz através de fibras para a comunicação óptica
2012	Serge Haroche e David J. Wineland	por métodos experimentais inovadores que permitem a medição e a manipulação de sistemas quânticos individual
2014	Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura	pela invenção de díodos azuis emissores de luz que permitiram a criação de fontes de luz brilhantes e economizadoras de energia