

## O que há de novo?

Nesta secção são apresentadas notícias e curtos resumos sobre recentes descobertas em Física e áreas afins, ideias novas que surgem, progressos experimentais com impacto na sociedade, etc.

Procurar-se-á também efectuar uma cobertura selectiva do noticiário que vai aparecendo numa série de revistas de actualidade.

Para esta cobertura contamos desde já com a colaboração de *Eduardo Lage, Matos Ferreira, Carlos Fiolhais, Ana Noronha, J. Lopes dos Santos, Margarida Telo Gama, Marília Thomaz, António Moreira Gonçalves, Anabela Martins*. Agradecem-se outras colaborações para esta secção.

### Statistical Physics and Biology



PROF. GIORGIO PARISI,  
da Universidade de Roma.  
Galardoado com o Prémio  
Boltzmann em 1992 atribuído  
pela IUPAP, a mais elevada  
distinção a nível mundial no  
domínio da Física Estatística.

O autor deste texto, Giorgio Parisi, é um dos mais brilhantes físicos teóricos da actualidade. Aliando uma invulgar intuição física com um raro domínio de técnicas e truques matemáticos, Parisi segue na tradição de Dirac ou Landau, tendo em 1992 recebido a medalha Boltzmann, o mais alto galardão internacional atribuído na área de Física Estatística. Com inúmeros trabalhos de grande originalidade em múltiplas áreas da Física Teórica, é dele que têm saído, nos últimos 15 anos, soluções tão inovadoras quanto inesperadas para problemas que, embora oriundos do estudo dos sistemas desordenados, interessam a largos domínios da física, biologia, teoria da informação ou economia. Se me alongo um pouco na apresentação deste autor é porque me parece necessário, por um lado, realçar que Parisi é o físico mais bem colocado para escrever este artigo e, por outro lado, para justificar que a sua leitura, não sendo fácil, é imprescindível para uma compreensão atenta de resultados que se julgariam sair da ficção científica. Há

problemas de Física que começam a ficar tão perto de nós, seres humanos, que não nos podemos alhear das imagens que, de nós mesmos, esta Ciência vai construindo — a origem da vida, a natureza da memória, os mecanismos da aprendizagem, a interpretação da consciência e do pensamento, estão a ser discutidos e modelizados na Física, embora de forma ainda muito incipiente, mas com avanços seguros e que permitem equacionar com precisão questões que, até há pouco, ocupavam, apenas, estudiosos da filosofia.

O que está por detrás destes resultados é o progresso ocorrido na evolução dos computadores e nas técnicas de Física Estatística. Esta última ocupa-se da interpretação do comportamento de sistemas macroscópicos (com muito grau de liberdade) a partir da modelização dos elementos que os constituem e das suas interações. Uma conclusão fundamental, obtida do estudo de sistemas apresentando transições de fase, é a independência do comportamento macroscópico relativamente a muitos detalhes microscópicos, o que permitiu unificar, em grandes domínios de universalidade, sistemas físicos tão diversos quanto são, por exemplo, líquidos, magnetos, ferroelétricos, supercondutores, superfluidos, cristais líquidos, polímeros... Contudo, a maioria destes sistemas é «simples», no sentido em que exibem uma ou outra fase termodinâmica, tal como acontece na fusão do gelo ou na condensação da água. Esta simplicidade resulta menos de uma falta de imaginação da natureza que da nossa incapacidade para resolver problemas analiticamente mais complicados, obstáculo só recentemente ultrapassado com a introdução do computador na simulação de sistemas complexos. A associação da Física Estatística com os poderosos processadores veio revelar uma riqueza e variedade de comportamentos absolutamente inesperada.



Um primeiro exemplo, pelo menos historicamente, de sistema «complexo» é o vidro de spin, liga metálica (Cu, Au) onde se diluíram alguns íons magnéticos (Mn, Fe). Parecendo «simples», estes sistemas exibem estranhos fenómenos de irreversibilidade e não ergodicidade, atribuídos aos muitos mínimos locais que a energia livre apresenta no espaço de fase. E, contudo, a nível atómico trata-se, apenas, de spins, cada um dos quais tentando ordenar-se no campo criado pelos outros e contribuindo, por sua vez, para esse campo, num processo dinâmico de «feed-back» que as técnicas de Monte Carlo tão eficazmente permitem simular num computador. São estes os ingredientes essenciais para construir um sistema «complexo» — cooperação de muitos elementos idênticos para definição de fases macroscópicas relativamente estáveis, interacções contraditórias ou competitivas entre esses elementos determinando uma dinâmica individual, evolução no espaço de configurações através de processos estocásticos. Tais sistemas revelam estruturas ultramétricas na classificação dos mínimos da energia, onde mínimos próximos se obtêm, um do outro, por alteração de uma fracção finita de elementos. Se a cada mínimo ficar associado um padrão (codificado em linguagem binária, no caso dos sistemas de spins), compreenderemos que esse padrão pode ser «recordado» por um estado inicial («input») relativamente próximo. É fácil perceber, aqui, um modelo para a memória (o modelo de Hopfield), o qual originou uma enorme área de investigação com imensas possibilidades tecnológicas, algumas já implementadas na indústria (reconhecimento de padrões, memórias neuronais, autómatos que aprendem, etc.).

A estrutura ultramétrica assenta num conceito de distância diferente do habitual na geometria, mas bem conhecida dos biólogos; espécies com «antepassados-pais» comuns estão mais próximos entre si que de outras espécies com quem partilham «antepassados-avós» comuns. A variedade das espécies resulta da evolução, por selecção natural, de organismos que cooperam na reprodução e competem pela sobrevivência em diferentes tipos de ambientes. Mas estes são, precisamente, os ingredientes fundamentais dos sistemas «complexos» da Física Estatística. O comportamento colectivo de tais sistemas não pode ser compreendido se estudarmos um indivíduo isoladamente ou se nos concentrarmos apenas nas interacções — é essencial considerar os muitos mínimos (padrões de memória, espécie biológicas) do espaço de fase e a evolução dinâmica do sistema, parcialmente determinada pelas interacções, mas com elementos de aleatoriedade (transições entre estados) essenciais para permitir a exploração de todos os estados microscópicos do sistema. O acaso e a necessidade, que J.

Monod considerou as forças básicas na biologia, são, afinal, os princípios fundamentais, também, dos sistemas «complexos» de que se ocupa a moderna Física Estatística. Talvez comece a estar ao nosso alcance modelizar uma bactéria como um sistema formado por milhares de proteínas em interacção entre si e com um ADN central onde se localizam os genes que codificam os caracteres. Talvez comecemos a vislumbrar como mil milhões de neurónios, cada um ligado sinapticamente a milhares de outros, se organizam num cérebro que pensa.

*Physics World*, September 93, p. 42-47

E. L.

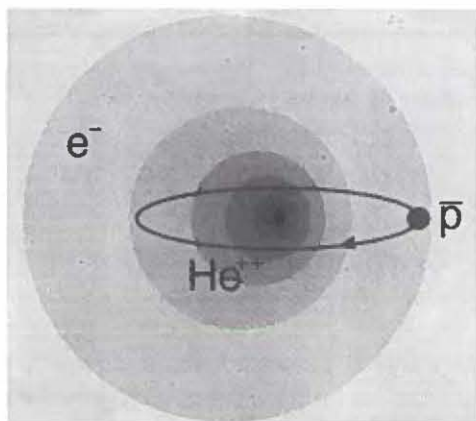
## A matter of anti-matter

A antimatéria foi «inventada» por Dirac, em 1930, como solução para o problema das energias negativas que a sua equação (criada, em 1928, para férmions de spin  $1/2$ , como electrões ou prótons) previa. Dirac postulou que quase todos esses estados se encontravam ocupados, interpretando um estado não ocupado (ou vazio) de energia negativa como um estado ocupado pela antipartícula correspondente de energia positiva. Ninguém acreditou nos «buracos» de Dirac — conta-se que Pauli logo ironizou que, se tal substância existisse, então haveria um anti-Dirac que imediatamente destruiria Dirac, evitando ouvir-se tais dislates! Mas, apesar deste «2.º princípio da exclusão», o facto é que, em 1932, C. Anderson observava positrões (ou antieletrões) justificando plenamente que Dirac recebesse o Nobel da Física de 1933 (o mesmo acontecendo a Anderson em 1936). Duas décadas mais tarde, descobria-se o antipróton e, a seguir, o antineutrão.

Hoje, ninguém mais duvida da existência desta simetria fundamental que, a cada partícula, faz associar uma outra, com a mesma massa e spin, mas cargas e momentos magnéticos opostos. Nos grandes aceleradores é já possível criar antipartículas (a partir da conversão da energia cinética de partículas altamente aceleradas) em quantidades apreciáveis, embora com eficiências bastante reduzidas. A grande dificuldade (subjacente à ironia de Pauli) é como guardar antimatéria — por exemplo, um antipróton e um próton encontrando-se, desaparecem instantaneamente, com abundante produção de raios  $\gamma$  (e outras partículas) criadas a partir da energia total (no mínimo, cerca de 2000 MeV, para cada par). O problema da conservação da antimatéria tem, porém, vindo a ser resolvido com crescente sucesso — as «ratoeiras» (traps)



de Pennig e de Paul (ver *Scientific American*, Julho 93, p. 46-53) usam campos eléctricos e magnéticos que mantêm as antipartículas afastadas do contacto com a matéria, tendo-se já obtido um «engarrafamento» de centenas de milhares de antiprótons, durante dois meses, sem perdas (\*). Assim guardadas, as antipartículas podem ser utilizadas com mais facilidade na realização de diversas experiências de física fundamental — por exemplo, matéria e antimatéria comportar-se-ão do mesmo modo num campo gravítico? Os níveis de energia do anti-hidrogénio (antipróton com positrão) serão iguais aos do hidrogénio? Por que parece ser toda a substância do Universo feita de matéria, sem sobras apreciáveis de antimatéria?



Um estranho átomo de Hélio — um dos electrões foi substituído por um antiprotão que, por ter massa muito maior, se move mais lentamente, arrastando o outro electrão, de forma semelhante ao sistema Sol-Terra-Lua.

Mas são, também, já possíveis diversas aplicações médicas — por exemplo, na detecção muito precisa e precoce de tumores (ou outras alterações da densidade celular) e mesmo na sua destruição, dada a imensa energia libertada na aniquilação prótão-antiprótão. Por último, o autor (R. L. Forward) deste interessante artigo considera uma antevisão de um futuro já exequível — com miligramas de antimatéria, libertando imensa energia numa aniquilação controlada, podemos aquecer muito mais eficazmente gases (hidrogénio) que, expelidos em jactos fortes, impulsionarão naves espaciais na conquista das estrelas vizinhas... A imaginação humana só é ultrapassada pela da Natureza!

*1994 Yearbook of Science and the Future*, p. 28-45

E. L.

(\*) Ver «How long do antiprotons last?», de J. Eades, *Europhysics News* 24 172 (1993).

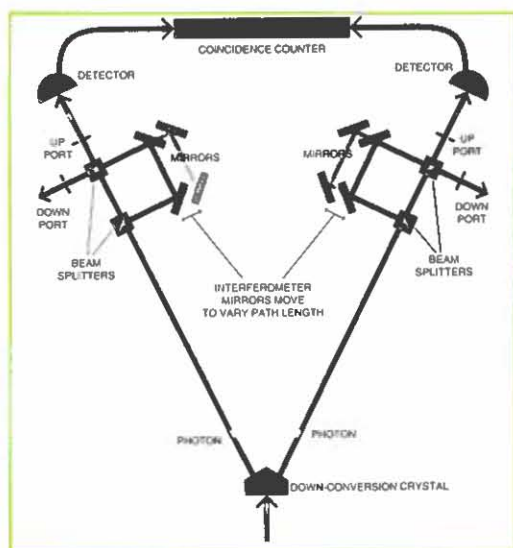
## Faster than light?

Este título poderá levar o leitor a julgar que se trata de um artigo sobre a teoria da relatividade. Não é — o artigo aborda diversas experiências da moderna óptica quântica, área de que os seus autores (R. Y. Chiao, P. G. Kwiat e A. M. Steinberg) são investigadores de reconhecido mérito. As técnicas mais recentes de óptica e electrónica permitem, hoje, realizar aquelas experiências ideais que se discutem, por vezes de forma tão esquemática, nos cursos introdutórios de mecânica quântica. Se o leitor passou por um desses cursos, talvez tenha ficado com a ideia que a física quântica, enquanto teoria, é estranha e esotérica, mas as suas interpretações não serão para levar muito a sério, pois que as experiências que as confirmam parecem inteligivelmente próximas do que nos é familiar. Por exemplo, o «microscópio de Heisenberg», tão usado para discutir as relações de incerteza, só pode ser um aparelho usado por físico teórico... Já a experiência de Sten-Gerlach, reveladora da existência de estados atômicos estacionários, não parece constituir qualquer desafio ao senso comum. Ora, é na fusão do que a teoria tem de mais surpreendente com o que a experiência tem de mais simples que vemos surgirem, de vários laboratórios de óptica, os estranhos resultados aqui apresentados. Essencialmente, as experiências são feitas com dois fótons, idênticos, gerados no mesmo instante e propagando-se segundo dois braços iguais de um interferómetro, sendo detectados, em coincidência, por métodos de electrónica ultra-rápida. Os resultados, bem interpretados pela teoria quântica, desafiam o senso comum e parecem fazer intervir acções instantâneas à distância (interacções não locais, como são conhecidas) que violariam a relatividade (daí o título!) e o princípio da causalidade (as causas precedem os efeitos!). Usarei, aqui, uma analogia para descrever a 3.<sup>a</sup> experiência de não localidade apresentada neste artigo.

Imagine o leitor que tem dois filhos gémeos que saem, no mesmo instante, da casa paterna e se dirigem, cada qual por seu caminho, para casa dos avós, onde são recebidos. Os dois caminhos são iguais, mas independentes, e cada um apresenta, em paralelo, dois atalhos, um curto e outro comprido (e de comprimento variável). Além disso, cada caminho tem, também, a juzante dos atalhos, duas saídas, só uma delas levando a casa dos avós. Verifica-se que, em 50% dos casos, cada um dos filhos escolhe a saída para os avós, mas, surpreendentemente, também se verifica que os filhos tendem a escolher, simultaneamente, as mesmas saídas — isto é, os avós não são visitados ao mesmo tempo pelos dois netos em 25% dos casos. Como é isto possível, estando os filhos tão afastados no momento das decisões, que estas parecem independentes? Terão combinado, ao



sair da casa paterna, qual a saída que mais tarde tomam? Mas os avós constatarem que a frequência da chegada simultânea dos dois netos depende do comprimento do atalho maior — variando o comprimento deste, alteram, continuamente, aquela frequência para cima e para baixo dos 25% referidos. Ora, como é possível aos gémeos, quando saem da casa paterna, saber antecipadamente o comprimento de um dos atalhos? E como é possível, a um dos filhos informar, instantaneamente, o seu irmão gémeo, da sua escolha de atalho, influenciando-o na opção das saídas? Segundo a teoria quântica, cada gémeo segue simultaneamente os dois caminhos e, em cada caminho, os dois atalhos — o resultado final é consequência desta interferência das vias alternativas possíveis (que, na teoria clássica, seriam mutuamente exclusivas). Veja o leitor que, como os gémeos percorrem atalhos de comprimentos diferentes, chegando aos avós ao mesmo tempo, então cada gémeo terá de ter partido, da casa paterna, em dois instantes diferentes!



A experiência de Franson, mostrando a correlação não local entre dois fótons enviados ao longo de dois interferómetros idênticos mas separados. Cada fóton pode escolher (no primeiro «beam splitter») um caminho maior ou menor e (no segundo «beam splitter») uma ou outra saída. A chegada simultânea de pares de fótons é registada no contador de concordâncias.

É evidente que nada do que nos é familiar se comporta deste modo — o senso comum (defendido por Einstein) não pode aceitar tais «disparates» — mas é assim a Natureza, ao nível mais profundo e elementar (como nos mostrou Bohr). Na interpretação quântica, a existência dos fótons como entidades discretas só é observada na detecção — até lá, o seu comportamento deve ser descrito por ondas de (amplitude de) probabilidade. Não é possível considerar os fótons simultaneamente como partículas e ondas — são aspectos complementares, mas

mutuamente exclusivos, da sua natureza. Que as experiências, descritas neste artigo, exibam claramente a vitória da teoria quântica é, no mínimo, perturbador.

Mas, perguntará o leitor, é afinal violado o princípio da relatividade? Estes efeitos não locais, instantâneos (associados com o colapso da função de onda) poderão ser aproveitados para transmitir informação a velocidades superiores à da luz? Curiosamente, a resposta é negativa — cada fóton escolhe aleatoriamente a sua saída, sendo impossível prever qual. As correlações destas «decisões» só se tornam patentes quando se comparam os resultados de muitas experiências — mas, para isso, é necessário trazer essa informação ao mesmo local, utilizando meios que, necessariamente, se propagam com velocidades inferiores à da luz. Salva-se a relatividade e a causalidade, mas fica-se com a sensação que algo se perdeu para sempre.

*Scientific American*, Agosto 93, p. 38-46

E. L.

## Gravitational microlensing

Não é difícil perceber que um campo gravítico desvie um raio de luz — o próprio Newton, criador da teoria da gravitação universal e autor da natureza corpuscular da luz, fez um primeiro cálculo do desvio que um raio de luz sofreria ao passar junto a um corpo de grande massa. Mais tarde (em 1783), o reverendo John Mitchell concluiu que um corpo suficientemente denso não deixaria escapar a luz da sua superfície, conclusão a que também chegou Laplace (em 1795) e que o terá levado a suspeitar que o céu estaria cheio de objectos invisíveis. Mas, com o advento da teoria ondulatória da luz, estas ideias caíram no esquecimento — é difícil ver como uma onda electromagnética possa ser influenciada por um campo gravítico.

Em 1915, Einstein formulou a versão definitiva da teoria da relatividade geral, levando-nos a abandonar a ideia de um campo gravítico como uma região do espaço onde existem forças gravíticas, e propondo a imagem de um espaço-tempo deformável pela presença das massas. Assim, a luz, que se propaga entre dois pontos de modo a minimizar o tempo de percurso (princípio de Fermat), sofrerá, ao atravessar um campo gravítico, desvios não porque seja atraída pelas massas mas porque a geometria onde se move não é plana, mas curva. O desvio experimentado por luz rasante ao bordo do Sol ( $1.75''$ ), previsto por Einstein, é o dobro do valor fornecido pela teoria newtoniana (esta dá o mesmo que a fórmula de



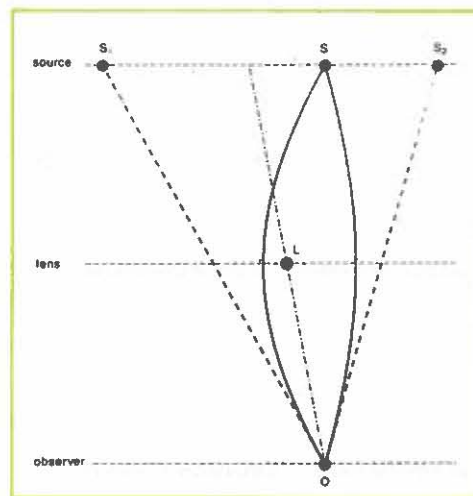
dispersão de Rutherford, se substituirmos campos eléctricos por gravíticos). A famosa confirmação experimental, fará 75 anos em 1994, foi efectuada por Eddington, com observações cruciais efectuadas na ilha do Príncipe, então possessão portuguesa (o leitor interessado encontrará o relato destas aventuras científicas no livro «Eddington e Einstein», recentemente publicado pela Gradiva).

Entre as inúmeras consequências trazidas pela teoria da relatividade geral, sobretudo para a Astrofísica e Cosmologia, está, pois, esta ideia simples: um campo gravítico actua sobre a luz como um meio refringente, desviando-se o raio tanto mais quanto mais intenso for esse campo. Mas os desvios são pequenos, da ordem de  $1''$  ou menos (lembra-se que  $1''$  de arco é o tamanho aparente de uma torre de 20 m na Lua ou do diâmetro da órbita da Terra observado a cerca de 3.2 anos-luz, distância por isso mesmo conhecida por parsec). Contudo, as técnicas experimentais progrediram imenso, sobretudo com a invenção da interferometria em grande escala. Nesta técnica é feita a soma coerente dos sinais recebidos por radiotelescópios separados por centenas ou milhares de quilómetros, criando-se um olho gigante (mas sensível, apenas, às ondas de rádio) com um poder separador da ordem do milésimo de segundo de arco, ou mesmo menos. E que vêm tais olhos?

Imagine o leitor que entre nós e uma fonte longínqua de luz (um quasar, por exemplo) se interpõe uma grande massa, frequentemente bastante escura (uma galáxia ou enxame de galáxias). O campo gravítico criado por esta massa vai actuar como lente gigante que encurvará os raios luminosos da fonte, originando imagens duplas ou quádruplas (se a lente for astigmática, isto é, se a distribuição de massas não tiver simetria esférica), ou arcos luminosos gigantescos ou mesmo anéis (os anéis de Einstein!), conforme o alinhamento relativo da fonte, lente e observador.

Estes fenómenos são hoje observados sem grandes dificuldades técnicas, não sendo fácil, apenas, encontrar candidatos nas condições geométricas óptimas. Porém, o mesmo não se passa com a observação destas «miragens» cósmicas quando as lentes são mais fracas, como as que estão associadas com buracos negros, estrelas de neutrões ou ordinárias, anãs castanhas (estrelas incipientes) ou mesmo planetas — as massas não são suficientemente fortes para originar duas ou mais imagens bem separadas, pelo menos para os «olhos» presentemente abertos. Contudo, é possível detectar o efeito destas microlentes através de um processo dinâmico. Como? Se fonte e lente se deslocarem, uma em relação à outra, o brilho da imagem da fonte altera-se, porque as duas imagens que a lente fornece, sobrepõem-se em maior ou menor grau. E o intervalo de tempo durante o qual o brilho flutua, informa-nos sobre a extensão da lente — de alguns dias para as anãs castanhas, até um ano para um buraco negro.

Assim, se pudermos garantir que a alteração do brilho não é intrínseca (isto é, não deve ser atribuída à fonte), temos ao nosso dispor uma extraordinária técnica que nos



A geometria de uma lente gravitacional: entre a fonte (S) de luz (quasar distante) e o observador (O), na Terra, interpõe-se uma massa (L) enorme, em geral uma galáxia, que desvia os raios luminosos, criando duas (ou mais) imagens (S1, S2) do mesmo objecto.

informa sobre a estrutura da fonte ou da lente, permitindo-nos, por exemplo, detectar matéria escura, cuja existência é teoricamente prevista mas cuja observação experimental dificilmente se poderá fazer por outros processos. Assim, se a massa intermédia for uma galáxia, obteremos, de um quasar distante, considerado fonte pontual, duas ou mais imagens (a galáxia, no seu todo, actua como macrolente), cada uma das quais resulta dos efeitos acumulados dos desvios dos raios luminosos pelos biliões de microlentes que são as estrelas da galáxia. Conforme o alinhamento, poderemos observar grandes flutuações de brilho da fonte — e, como a galáxia se move em relação ao quasar, a imagem cintilará, o que nos permite separar distâncias da ordem do dia-luz, em galáxias a 450 milhões de anos-luz. Isto é: o olho vê 1 parte em  $10^{10}$ . E se a fonte não for pontual? Detectaremos as suas diferentes partes quando, cada uma, se alinhar nas direcções de máximo brilho — isto é, conseguiremos, pela 1.ª vez observar a estrutura de um quasar!

Há, sem dúvida, muita coisa para aprender e nos maravilhar com estas extraordinárias perspectivas que a técnica coloca ao nosso alcance. Mas o princípio básico é simples e o rev. Mitchell não sentiria grandes dificuldades na leitura deste artigo da autoria de B. Paczynski e J. Wambsganns, professores de Astrofísica em Cornell (USA) e no Max-Planck Institute (Alemanha), respectivamente.

*Physics World*, Maio de 1993

E. L.