

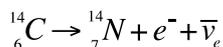
Física no Mundo

O Kosovo, as bombas da Nato e a Física

A comunicação social tem dado grande destaque ao problema da utilização, na Bósnia e no Kosovo, de munições com urânio empobrecido. Assim, é natural que, em algumas escolas, os alunos tenham questionado os seus professores sobre este assunto. Pretendemos, com esta nota, dar um contributo para esclarecer o assunto.

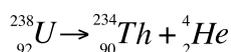
Todos os elementos atómicos, cerca de uma centena, apresentam mais do que um isótopo. A Tabela 1 mostra alguns exemplos. Assim, para o hidrogénio, existem três isótopos, ocorrendo na Natureza os dois primeiros na percentagem indicada. Em cada cem mil moléculas de água, cerca de 30 têm um átomo do isótopo 2_1H (deutério) em vez do mais vulgar 1_1H . Do ponto de vista químico, átomos ou moléculas feitas com diferentes isótopos de um mesmo elemento têm comportamento idêntico, isto é, a água com deutério lava tal e qual a outra!

A mesma tabela mostra ainda alguns isótopos doutros elementos. Alguns, indicados com um asterisco, são radioactivos. Quer dizer, um núcleo de um átomo de um destes elementos transforma-se espontaneamente num núcleo de um outro elemento atómico. Por exemplo:



o que significa que o carbono 14 se transformou em azoto 14 com a emissão de um electrão e de um

antineutrino. Este tem uma dificuldade enorme em interagir com a matéria, podendo por isso atravessar a Terra de um lado a outro. Pelo contrário, os electrões emitidos neste tipo de radioactividade, designada por radioactividade β , interagem com a matéria. Um segundo tipo de núcleos radioactivos desintegram-se emitindo partículas α , que são núcleos do isótopo 4 do hélio. Um exemplo é:



A estas duas formas de radiação, temos de juntar a radiação γ . Agora trata-se de radiação do mesmo tipo que a luz visível, só que com uma energia cerca de um milhão de vezes superior. Esta radiação, contrariamente aos casos anteriores, é emitida quando estados excitados de um determinado núcleo passam a outros estados menos excitados, do mesmo isótopo, libertando o excedente de energia. Trata-se de um processo em tudo análogo à emissão de luz pelos átomos devido à transição dos electrões entre níveis de energia diferentes. Por este facto, em muitos declínios, quer do tipo α quer do tipo β , a radiação γ está presente porque o núcleo-filho, que resultou da desintegração do núcleo inicial, fica num estado excitado e liberta-se dessa energia emitindo radiação γ .

Quando se fala de radioactividade, um parâmetro importante é a meia-vida ("half life"), $Tt_{1/2}$. Trata-se do tempo necessário para que um certo número de átomos do isótopo radioactivo se reduza a metade. Para três dos isótopos radioactivos da tabela está indicado o valor do $Tt_{1/2}$. A actividade, A , de uma

determinada amostra radioactiva é inversamente proporcional à meia-vida. Com efeito:

$$A = N \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

em que N é o número de átomos da amostra. Apesar do ${}^{14}_6C$ estar presente na Natureza na percentagem indicada, incrivelmente pequena, um grama de carbono natural tem uma actividade de 16 desintegrações por minuto. Em contrapartida, um grama de potássio natural, no qual o isótopo radioactivo aparece numa percentagem que é 10^{10} vezes maior, tem uma actividade apenas cem vezes maior, cerca de 1600 desintegrações por minuto. Este exemplo mostra bem que os isótopos com maior vida média têm, para a mesma quantidade de matéria, actividades menores. Deste ponto de vista, o facto do ${}^{238}_{92}U$ ter uma vida média de 4500 milhões de anos é favorável. Uma amostra de 1 g de ${}^{238}_{92}U$ puro tem uma actividade de cerca de 12 mil desintegrações por segundo. O chamado urânio empobrecido é urânio natural ao qual foi praticamente retirado o isótopo ${}^{235}_{92}U$, utilizado na indústria nuclear, isto é, no limite será 100% ${}^{238}_{92}U$. Estamos a admitir que o urânio empobrecido foi obtido a partir de urânio natural e não, por exemplo, a partir do processamento de combustível nuclear já utilizado.

Já dissemos que o urânio 238 se desintegra emitindo radiação α e originando um outro elemento, o tório 234. Este, por sua vez, também é radioactivo. Desintegram-se por emissão γ originando o protoactínio 234. Inicia-se assim a família de declínios radioactivos ilustrada na tabela 1 que termina no chumbo 206, que é estável. Nesta figura, as desintegrações por emissão α estão indicadas por uma seta a vermelho enquanto as desintegrações β estão indicadas por setas a azul. Cada isótopo está indicado por um rectângulo no interior do qual se mostra a vida média. Os correspondentes número atómico, Z , e número de massa, A , podem ler-se na

	Pb	Bi	Po	Rn	Ra	Th	Pa	U
	82	83	84	86	88	90	91	92
238								$4,5 \times 10^9$ a
234						24 d	$1,2$ m	$2,5 \times 10^4$ a
230						$1,6 \times 10^4$ a		
226					1620 a			
222					3,8 d			
218					3 m			
214	27 m	20 m	164 ms					
210	22 a	5 d	138 d					
206								

Tabela 1

Potássio	40* 41	0,01 6,73	1,25 x 10 ⁹
Platina	190* 194 195	0,01 32,9 33,8	
Chumbo	204* 206 207 208	1,4 24,1 22,1 52,4	
Urânio	234* 235* 238*	0,0055 0,72 99,2745	4,5 x 10 ⁹

Tabela 2

escala horizontal e vertical, respectivamente. Veja-se a enorme variação entre as vidas médias dos vários declínios, que vão do milhar de milhão de ano até alguns milionésimos de segundo. Este facto tem importância quando se calcula a actividade dos vários membros da família radioactiva. Está fora do âmbito deste artigo fazer esse cálculo. Contudo, importa referir algumas conclusões. Mesmo que inicialmente se tenha urânio 238 puro, se esperarmos um tempo suficientemente longo todos os elementos até ao chumbo irão estar presentes na amostra. Mas, esse tempo suficientemente longo é da ordem do milhão de anos! Para tempos mais curtos, até ao milhar de anos, a amostra só conterá os quatro primeiros isótopos da família. Na verdade, como o segundo e o terceiro elementos da família têm vidas médias curtas comparadas com a vida média do urânio 238, ao fim de pouco tempo estabelece-se um regime de equilíbrio em que a actividade dos quatro primeiros membros da família é essencialmente igual.

Vejamos agora alguns aspectos do efeito das radiações. A interacção das radiações com a matéria, nomeadamente a matéria viva, deve-se ao seu efeito ionizante. Quer dizer, as radiações ao passarem na matéria perdem energia provocando estragos nos átomos (arrancam-lhe electrões). Sendo a célula, como toda a matéria, constituída por átomos, todas as radiações provocam estragos nas células. Dito isto, temos agora que distinguir entre os vários tipos de radiação. Assim, as partículas α são pouco penetrantes, dificilmente atravessam uma vulgar folha de papel. As partículas β

são mais penetrantes mas uma folha de alumínio com alguns milímetros é suficiente para nos proteger dos seus efeitos. Em contrapartida, a radiação γ é bastante penetrante. A protecção contra este tipo de radiações exige blindagens especiais nomeadamente com chumbo. Uma amostra de urânio 238, com alguns meses ou anos, emite, como já dissemos, partículas α . Mas também emite partículas β , provenientes dos declínios do tório e do protactínio, e alguns raios γ , de baixa energia. Como o efeito das radiações tem a ver com a sua absorção, para o avaliar temos que comparar a energia que cada radiação deposita por kg de material absorvente. Isto chama-se dose de radiação cuja unidade usual, denominada rad (iniciais de "radiation absorbed dose") corresponde à quantidade de radiação que deposita a energia de 10^{-2} joules por quilograma. Comparemos agora duas radiações, α e γ , com a mesma energia. Admitamos que ambas são absorvidas num mesmo material. Como a primeira tem um percurso pequeno em comparação com a segunda (que, como dissemos, é mais penetrante), a energia no primeiro caso é depositada num pedaço mais pequeno. Então, se o meio absorvedor for um ser vivo, a radiação com menor percurso provoca maior destruição num número menor de células. Claro que os seres vivos têm mecanismos biológicos para repararem as células. Contudo, tal reparação poderá ser impossível se a destruição for muito grande. Temos então a situação, aparentemente contraditória, de as radiações α , das quais mais facilmente nos podemos proteger (não atravessam uma folha de papel), serem as que potencialmente podem provocar maiores danos biológicos. Para tal, basta que, inadvertidamente, a substância radioactiva emissora das partículas α seja introduzida no organismo por ingestão ou inalação. Para tomar em linha de conta a diferença do efeito biológico das diferentes radiações é habitual definir um parâmetro designado por RBE

("Relative Biological Effectiveness"). O seu valor, para as partículas β e γ , é da ordem de 1 ao passo que é da ordem de 10 para as partículas α . O produto rad vezes RBE designa-se por rem.

Estamos agora em condições de abordar a seguinte questão. Consideremos a tal amostra de 1 g de urânio 238 e imaginemos que vamos viver a um metro dela durante um ano. Ao fim desse ano teríamos recebido uma dose da ordem de 26 mrem. Pois bem, o National Council on Radiation Protection dos Estados Unidos estima que, em média, cada cidadão americano receba, por via da utilização de raios X como meio de diagnóstico médico, uma dose anual de 53 mrem. A comparação destes números pode ser tranquilizante quanto aos efeitos biológicos do urânio 238. Contudo, apesar da radiação ambiente ser pequena e das doses médias serem desprezáveis, não estão excluídos efeitos nefastos nalguns indivíduos que, por qualquer motivo, tenham inalado ou ingerido partículas de urânio empobrecido. Nesta situação, além do efeito das radiações, tem ainda de ser considerada a toxicidade química deste material.

Ana Eiró

ana.eiro@sa.fc.ul.pt

Augusto Barroso

barroso@cii.fc.ul.pt

Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

CONTAMINAÇÃO NUCLEAR?

A propósito da recente questão do urânio no Kosovo, a "Gazeta" ouviu o Dr. Adriano Pedroso de Lima, físico nuclear experimental no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

P. - Há ou não "contaminação nuclear" no Kosovo?

R. - Certamente que tem de haver, entrando em conta com a massa de

urânio que lá foi depositada. Os riscos devidos a essa contaminação, que agora poderão ser razoavelmente pequenos, deviam ter sido divulgados à população e aos soldados. O pó de urânio, criado nos impactos e levantado durante a remoção dos escombros, podia facilmente conduzir a contaminação interna. Considero que a NATO é responsável por não ter fornecido informação específica para estas circunstâncias.

P. - As doenças reportadas por soldados são consequência da radioactividade?

R. - O facto de não estar estatisticamente provada essa possibilidade não exclui que assim seja. Não tenho conhecimento de qualquer análise efectuada com o rigor exigível para se poderem apresentar conclusões creíveis.

P. - Acha que devia haver uma proibição ou moratória de armas contendo materiais radioactivos, ainda que em pequenas quantidades?

R. - Considero que o uso de resíduos provenientes de reactores, a verificar-se, deve ser proibido de imediato. Quanto aos resíduos do processamento do urânio natural parece-me importante fazer uma moratória até completo esclarecimento da situação. A utilização de projecteis altamente perfurantes, construídos com materiais de elevada densidade, permite evitar o uso de explosivos que, sem dúvida, iriam produzir mais mortes no momento do impacto. Porém, o uso do urânio para aumentar a eficiência destes projecteis tem de ser encarado com os devidos cuidados. Por exemplo, os valores elevados de doses internas devidas ao pó de urânio, apresentados nos relatórios da United Nations Environment Programme e da United Nations Centre for Human Settlements sobre o Kosovo (ver em <http://www.fis.uc.pt>, Anúncios), mereceriam, em meu entender, comentários mais clarificadores dos riscos envolvidos.

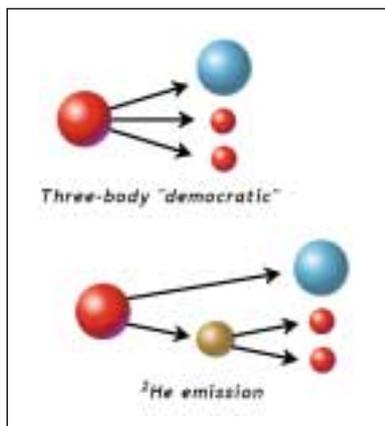
Para além de todos os riscos por contaminação radioactiva e de metais pesados está, perante a opinião pública, posta em causa a credibilidade de organizações internacionais. Em defesa dos direitos

humanos e também da democracia, torna-se imperioso proceder a uma análise criteriosa das consequências do uso de materiais radioactivos em projecteis.

Decaimento de dois protões

Algumas das notícias que a "Gazeta de Física" tem publicado nesta secção são extraídas de "The American Institute of Physics Bulletin of Physics News" (por Phillip F. Schewe, Ben Stein e James Riordon). É o que acontece com as notícias seguintes.

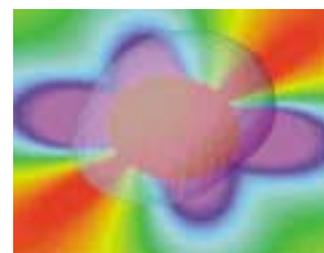
Em experiências recentes sobre processos de decaimento nuclear no neon observou-se a emissão de dois protões. Cientistas do "Oak Ridge National Laboratory" (ORNL) crêem ter detectado a emissão de pares de protões de um estado excitado de neon-18, um isótopo que formaram disparando átomos de fluorina para um alvo rico em hidrogénio. Alguns teóricos previram esses decaimentos, mas nenhuma experiência anterior os tinha detectado. Se confirmado, o processo poderia fornecer novas ideias sobre a força que mantém os núcleos ligados e faz emitir os protões na forma de um núcleo de hélio-2. É possível que a Natureza nos esteja a enganar e que os protões estejam a abandonar os núcleos de néon separada mas simultaneamente por um efeito conhecido por emissão democrática (ver figura, extraída de <http://www.aip.org/physnews/graphics>).



Emissão de dois protões

Os investigadores têm, no entanto, esperança que possam validar o decaimento por pares de protões com um novo detector que deve ser inaugurado no ORNL dentro de um ano. (J. Guemez del Campo *et al.*, Physical Review Letters, 1 January 2001.)

Choque de buracos negros



Choque de buracos negros

Os buracos negros são os objectos mais densos do universo, com campos gravitacionais suficientemente poderosos para aprisionar a luz e tudo resto que passe perto. De modo que parece difícil pegar num deles e "cortar-lhe o pescoço". Mas foi o que um grupo de físicos fez numericamente falando. O objectivo desta mutilação matemática foi o de compreender a dinâmica da colisão de dois buracos negros e as ondas gravitacionais que são então geradas. A matemática para descrever as interações de buracos negros é tão complexa que ninguém está completamente seguro como serão as ondas gravitacionais resultantes. Apesar das simulações computacionais ajudarem, muitos algoritmos falham quando tratam regiões perto de singularidades do buraco negro onde os campos gravitacionais se aproximam de infinito. Um grupo de investigadores das Universidades do Texas, Pittsburgh, British Columbia e Penn State evitaram as dificuldades dessas singularidades tirando os dados problemáticos das suas simulações. Só as porções dentro dos horizontes dos buracos negros são ignoradas. Uma vez que um horizonte de acontecimentos fica à distância de um buraco negro onde a gravidade é

tão intensa que nem a luz consegue escapar, é impossível à informação passar para fora do horizonte. O impasse da informação significa cortar a parte interna de um buraco negro que não afecta as soluções computacionais das regiões fora dos buracos. Numa simulação recente os investigadores consideraram uma colisão rasante de dois buracos negros. Os buracos fundiram-se num, radiaram energia na forma de ondas de gravidade e oscilaram como um bloco de gelatina (ver figura). Cálculos como estes ajudarão eventualmente os cientistas a interpretar os sinais de uma nova geração de detectores de ondas de gravidade, incluindo o recente "Laser Interferometer Gravitational Observatory", que vai varrer os céus procurando interações envolvendo buracos negros, estrelas grandes, e outros objectos de grande massa. (S. Brandt *et al*, Physical Review Letters, 25 December 2000.)

Voo parabólico de estudantes

Um dos projectos mais excitantes do programa de educação e divulgação científica da ESA é a campanha anual de voo parabólico de estudantes. Um avião efectua um voo parabólico em que proporciona a imponderabilidade aos tripulantes durante cerca de meio minuto. A campanha de 2000 em Bordéus (França) deu oportunidade a 120 estudantes de 11 países europeus, entre os quais portugueses, de ter a sua primeira experiência de imponderabilidade. Todos eles obtiveram uma motivação única para aprender mais ciência e tecnologia e alguns iniciarão mesmo uma carreira de investigação espacial. Em 2001 realiza-se uma campanha semelhante, podendo a respectiva inscrição realizar-se em <http://www.estec.esa.nl/outreach>. A campanha será ligada à missão FOTON M-1, que se segue à tão bem sucedida missão FOTON 12. A nave FOTON é montada num lançador

Soyuz LV, que a envia para uma órbita de baixa altitude durante duas a três semanas. O "Office for Educational Outreach" da ESA tem atribuída uma carga de 7 kg nesta nave, que deve ser lançada em 2002. Na inscrição na Web é necessário indicar se a proposta de experiência é para o voo parabólico apenas ou também para a missão. Os experimentadores da missão FOTON devem também voar com o seu equipamento na campanha do voo parabólico. Haverá oportunidades ainda maiores com o advento da Estação Espacial Internacional. Em Maio de 2000, a ESA decidiu atribuir a estudantes 1 por cento das cargas experimentais que fazem parte da sua quota na Estação Espacial. Muitas e fantásticas oportunidades existem, portanto, para estudantes que desejem fazer projectos práticos no espaço.

Martin Houston
(ESA Office for Educational Outreach)



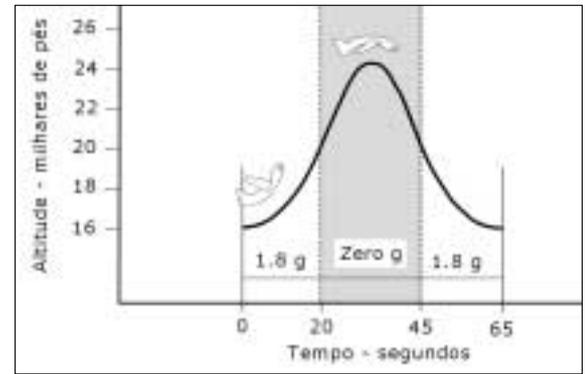
Imponderabilidade

11 questões-chave sobre o Universo

Um painel de físicos e astrónomos dos Estados Unidos identificou uma lista de 11 questões fundamentais sobre a natureza do Universo, cujas respostas vão necessitar das capacidades combinadas de físicos de partículas e astrofísicos. As questões estão em "From quarks to the cosmos", o primeiro relatório do comité de física do universo criado pela Academia Nacional de Ciências.

As 11 questões são as seguintes:

- O que é a matéria escura?
- Quais são as massas dos neutrinos e como influenciaram eles a evolução do universo?



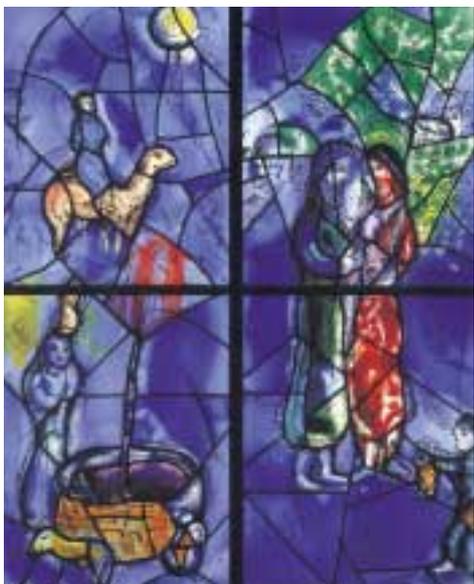
Voo parabólico

- Existem dimensões adicionais do espaço-tempo?
- Qual é a natureza da energia escura?
- Os prótons são instáveis?
- Como é que o Universo começou?
- Será que Einstein disse a última palavra sobre gravidade?
- Como funcionam os aceleradores cósmicos e o que é que eles estão a acelerar?
- Existem novos estados da material a densidades e temperaturas muito altas?
- Uma nova teoria da matéria e da luz é necessária a altas energias?
- Como se formaram os elementos do ferro e do urânio?

O comité está optimista em que os avanços imensos na tecnologia – incluindo o crescimento exponencial do poder de cálculo – e a compreensão do universo que ocorreu nos últimos 20 anos trará novas contribuições ao debate. Um segundo relatório, previsto no fim de 2001, vai estabelecer prioridades em relação às questões e fazer recomendações sobre financiamentos.

"Fotografia" de feixes iónicos

Muitas das belas cores que se encontram em vitrais provêm de metais ou nanoagregados de óxidos dispersos no material. No século XIX Michael Faraday deduziu correctamente que o vidro era uma mistura de várias substâncias e em 1907 Gustav Mie explicou as cores mostrando como é que a luz num meio é dispersa por partículas com um tamanho da ordem do comprimento de onda ("dispersão



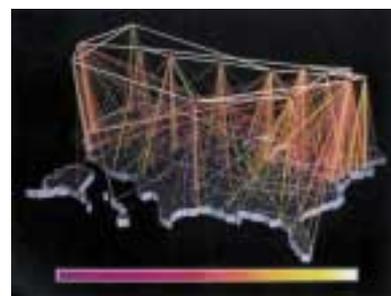
de Mie”). Contudo, o mecanismo pelo qual os nanoagregados se formaram foram usualmente perdidos nas complexidades da química do vidro. Investigadores nas Universidades de Orsay e de Paris (Harry Bernas), colaborando com peritos em vidro, mostraram agora que disparando íons com energia da ordem dos MeV à temperatura ambiente sobre um vidro contendo um óxido metálico, podemos iniciar a agregação ou “nucleação” de nanoagregados metálicos puros e mesmo controlar a densidade de nanoagregados dentro do material. Mais ainda, os nanoagregados só crescem em tamanho aquecendo a amostra, o que permite controlar o seu tamanho. O processo é análogo ao processo fotográfico, no qual fotões batem em sais que contêm metais na emulsão, permitindo-lhes libertar átomos metálicos (normalmente prata) que nucleiam em agregados, formando uma imagem invisível ou “latente”. Ao revelar, estes agregados crescem formando pixels visíveis. Aqui, os íons substituem os fotões e o calor desempenha o papel de “revelador.” Duas vantagens cruciais do método de feixe iónico são que a densidade dos sítios de nucleação na “imagem latente” pode ser prevista com precisão; e as técnicas-padrão de litografia que empregam “máscaras” como “stencils” podem ser usadas para

desenhar padrões espaciais de agregados. As duas poderão conduzir a aplicações na optoelectrónica. (Valentin *et al.*, *Physical Review Letters*, 1/ Jan./ 2001.)

A Internet é robusta

A Internet permanece conectada a uma escala global mesmo que 99 por cento dos seus pontos de conexão fossem aleatoriamente desligados. No entanto, é relativamente frágil se alguns dos seus pontos com mais conexões forem selectivamente desligados. Estas são as conclusões de investigadores que aplicam os princípios da Física e modelos matemáticos precisos para estudar a rede mundial de computadores. A Internet consiste de redes locais de computadores (“local area networks”) ligadas por vários dispositivos, conhecidos por “routers” e “hubs”. Por uma questão de simplicidade, os investigadores consideram cada ponto de conexão como um “nó”. Trabalho anterior sugere que a fracção de nós na Internet com k conexões é proporcional a k^{-a} , para um certo número a . Esta é uma “distribuição em lei de potência sem escala” que ocorre usualmente na Natureza, aparecendo na frequência de terremotos e na distribuição dos tamanhos de nuvens e montanhas. Ao contrário de uma lei exponencial, uma distribuição de lei de potências sem escalas decai muito lentamente, significando neste caso que há uma grande porção de computadores que têm ainda uma quantidade significativa de conexões. Simulações computacionais recentes de redes sem escalas mostraram que a Internet é robusta por esta razão (Albert *et al.*, *Nature*, 27th July; Albert-Laszlo Barabasi; ver também “The Industrial Physicist”, December 2000). O último trabalho coloca esta conclusão numa base matemática sólida. Dois grupos independentes (Reuven Cohen, Bar Ilan University, Israel, e Duncan Callaway, Cornell) apli-

caram a teoria da percolação, desenvolvida por geofísicos interessados em estimar quanto óleo podiam extrair de reservatórios num meio poroso. A teoria da percolação estuda sistemas contendo pontos (“sites”) e conexões entre eles, analisando o comportamento do sistema quando se retiram alguns dos sítios ou conexões. Combinada com o que se sabe da distribuição sem escala, a poderosa aproximação baseada na percolação pode ajudar os arquitectos da Internet a maximizar a resistência contra ataques, controlando a distribuição de nós com um certo número de conexões. (Cohen *et al.*, *Physical Review Letter*, 20 Nov; Callaway *et al.*, *Physical Review Letter*, a publicar.)



Prémio Nobel da Química 2000

O Prémio Nobel da Química de 2000 foi atribuído a Alan J. Heeger, da Universidade de Califórnia (Santa Barbara, Estados Unidos), Alan G. MacDiarmid, da Universidade da Pensilvânia (Estados Unidos), e Hideki Shirakawa, da Universidade de Tsukuba (Japão) por descobrirem que os plásticos, modificados de determinadas maneiras, podem conduzir bem a electricidade (ver <http://www.nobel.se/announcement/2000/chemistry.html>); o número do “Scientific American” de Julho de 1995, tem também um bom artigo sobre polímeros condutores). É de realçar que um dos novos Prémios Nobel da Química é físico (sucedeu o mesmo há dois anos com Walter Kohn).