

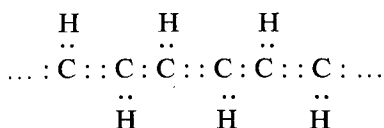
Curiosidades e Imagens da Física

Gostaríamos de incentivar o aparecimento de uma secção na *Gazeta de Física* apresentando, de um modo informal, muito sintético e despretencioso, factos ou ideias ligadas às aplicações e desenvolvimentos da Física, pretendendo fornecer pistas para possíveis conversas dos professores com os alunos de Física no ensino secundário, incentivando o aparecimento de futuros artigos sobre estes temas na *Gazeta de Física*, chamando a atenção para a grande dose de ingenuidade e «frescura inovativa» que está muitas vezes subjacente às espectaculares aplicações ou desenvolvimento da ciência nos nossos dias.

Com estes propósitos, aqui deixamos três breves apontamentos, suscitando a adesão e a colaboração dos leitores da *Gazeta de Física* para a criação da referida secção na nossa revista.

1. Polímeros que conduzem a electricidade

Correntemente associa-se aos plásticos a ideia de isoladores eléctricos perfeitos, mas tal ligação não tem sentido nos dias de hoje. Recorda-se que um polímero é constituído por macromoléculas gigantes, essencialmente formadas pela ligação covalente de pequenas unidades moleculares (os chamados monómeros) que se repetem ao longo de cadeias com mais de 10^3 monómeros, todos iguais, uns a seguir aos outros. Um exemplo típico é o poliacetileno, onde a unidade que se repete é o grupo CH:



No estado puro e com a cadeia molecular perfeita, todos os átomos estão com camadas electrónicas completas: o hidrogénio rodeado

por 2 electrões (camadas s completa) e o carbono rodeado por 8 electrões (camadas $s+p$ completas). Não há electrões livres disponíveis para conduzir a electricidade, sendo um tal polímero um isolador eléctrico.

Contudo, mediante a adição de impurezas, criam-se condições que permitem deslocalizar electrões, que passam a propagar-se com maior ou menor facilidade ao longo das longas macromoléculas, conduzindo a electricidade. Mediante a escolha criteriosa das impurezas e da sua concentração, pode variar-se a condutividade eléctrica de certos polímeros numa vastíssima gama de valores; a explicação teórica rigorosa está ainda numa fase de desenvolvimento.

Por exemplo, no caso do poliacetileno dopado com átomos de iodo consegue-se variar a condutividade eléctrica desde 10^{-11} até $10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Recordando que a condutividade eléctrica do cobre é de $5,9 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ à temperatura ambiente, vemos que estes polímeros dopados têm condutividades eléctricas comparáveis às dos melhores metais!

Estas propriedades tornam os polímeros uma importante classe de materiais para a futura electrónica molecular. Condutores de cobre poderão ser substituídos por polímeros condutores; existem já baterias eléctricas recarregáveis construídas com materiais poliméricos; especula-se sobre a possibilidade de fabricar um dia nervos artificiais à base de polímeros condutores; filmes finos de polímeros condutores poderão permitir o fabrico de janelas com regulação automática da luz, etc.

Bibliografia: *Plastics that Conduct Electricity*, R. Kaner e A. MacDiarmid, *Scientific American* (1988, pág. 60), *Solitons in Conducting Polymers*, A. Heeger, S. Kivelson, J. Schrieffer, W. Su, *Rev. Mod. Physics*, **60**, 781 (1988), *As propriedades notáveis do poliacetileno*, L. Carlos, J. Carmelo, M. Assunção, *Gaz. Física*, **13**, 79 (1990).

2. Os fotões e o zero absoluto de temperatura

A história da produção (e manutenção) de temperaturas cada vez mais baixas é um dos capítulos mais fascinantes da Física. Pode dizer-se que a corrida em direcção ao (inatin-gível...) zero absoluto de temperatura começou por volta de 1877, com as primeiras tentativas de liquefacção dos chamados gases permanen-tes. Desde então, um após outro, foram lique-feitos o Oxigénio (T ebulição ≈ 90 K), o ar (≈ 80 K), o Azoto (77 K), o Hidrogénio (20 K) e o Hélio (He^4 , 4.2 K). A liquefacção deste último, conseguida pela primeira vez por Kamerlingh Onnes em Leiden, no ano de 1908, veio também a ficar ligada à primeira desco-berda da Supercondutividade: o elemento Hg exibia, a temperaturas inferiores a 4,15 K uma condutividade eléctrica infinita (Kamerlingh Onnes, 1913).

Uma outra fase em direcção ao zero abso-luto envolveu a utilização do isótopo He^3 , que tem um ponto de ebulição normal de $\sim 3,2$ K, mas permite baixar a sua temperatura até cerca de 0,3 K mediante a redução drástica da pressão (vaporização forçada).

Seguiu-se a fase das desmagnetizações adiabáticas, envolvendo primeiro os momentos magnéticos dos electrões nos átomos (utilização de sais paramagnéticos) e mais tarde os momen-tos magnéticos nucleares, promovendo o seu ordenamento prévio com campos magnéticos. Neste último caso, utilizando o cobre, conse-guiu-se chegar por breves instantes (segundos) a temperaturas da ordem das dezenas de μ K *ao nível dos spins nucleares*, embora a «tempe-ratura» dos átomos em si, e dos electrões de condução, não descesse abaixo de escassas dezenas de m K (o «contacto térmico» dos electrões com os spins nucleares é um processo extremamente lento a baixas temperaturas ... não sendo possível igualizar as correspondentes temperaturas no brevíssimo período que dura a desmagnetização dos spins nucleares).

Utilizando as propriedades termodinâmicas de misturas dos isótopos He^3 e He^4 , conse-guem-se por outro lado produzir temperaturas da ordem de alguns m K nos chamados refri-

geradores de diluição, hoje existentes comer-cialmente. Estes refrigeradores são capazes não só de produzir essas temperaturas como de as manter por períodos de tempo muito longos (dias, se necessário).

E chegamos à fase dos fotões ... que está hoje em franco desenvolvimento e expansão. Aqui, utilizam-se fotões para reduzir progressi-vamente a energia cinética dos átomos, até limites muito próximos do repouso absoluto, o que equivale à redução da sua temperatura,

$$\left\langle \frac{1}{2} m v^2 \right\rangle = \frac{3}{2} k T$$

O recorde actual das baixas temperaturas ao nível dos átomos está já na gama dos μ K. É mesmo possível atingir algo como 0,1 μ K, mas correspondente apenas à redução da velo-cidade dos átomos *numa só direcção*.

Vejamos como ocorre o arrefecimento dos átomos com fotões. Se produzirmos um feixe de átomos com velocidade numa dada direcção e sentido, e sobre ele enviarmos um feixe de fotões (radiação laser, p.ex.), em sentido oposto, com frequência ν capaz de excitar tais átomos ($h \nu = E_1 - E_2$; E_1 e E_2 níveis electrónicos nesses átomos), *por cada fotão absorvido* um átomo perde uma certa fracção da componente da sua velocidade inicial. Os cálculos são ime-diatos, baseando-se no princípio da conservação da quantidade de movimento (\mathbf{p}) no processo de colisão:

$$\mathbf{p} \text{ (átomo inicial)} + \mathbf{p} \text{ (fotão)} = \mathbf{p} \text{ (átomo excitado)}$$

ou seja:

$$m \mathbf{v} - \frac{h \nu}{c} \frac{\mathbf{v}}{v} = m \mathbf{v}'$$

$$\therefore \mathbf{v}' = \mathbf{v} - \frac{h \nu}{m c} \frac{\mathbf{v}}{v}$$

Há portanto uma diminuição de velocidade do átomo, dada em módulo por:

$$\Delta v = v - v' = \frac{h \nu}{m c} = \frac{h}{m \lambda}$$

onde λ é o comprimento da radiação laser utilizada (ressonante neste caso com 2 estados

quânticos do átomo de Césio, $\lambda = 0,82 \mu\text{m}$). Introduzindo a massa $m (\text{Cs}) \approx 22 \times 10^{-23} \text{g}$ obtém-se uma redução da velocidade de cerca de $3,6 \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ por cada fóton absorvido! (O átomo então excitado emite posteriormente um fóton, mas a sua direcção é aleatória dando uma contribuição *média nula* para a alteração da velocidade desse átomo neste processo de desexcitação).

Com esta técnica é possível reduzir a valores irrisórios a velocidade de um átomo de C, inicialmente próxima de $300 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (jacto atómico à temperatura ambiente), através da absorção de cerca de 10^5 fótons, o que se consegue com um feixe laser em menos de 10 ms!

O arrefecimento dos átomos tem hoje grande importância em espectroscopia atómica de alta resolução e conhece crescentes aplicações no campo da Metrologia (relógios atómicos com crescente precisão, p. ex.). Este tema esteve aliás na origem do prémio Nobel de Física 1989, atribuído a N. Ramsey (USA), H. Dehmet (USA) e W. Paul (RFA) [vide *Gaz. Física*, **12**, 170 (1989)].

Bibliografia: *The Quest for Absolute Zero*, K. Mendelssohn, World University Library; trad. portuguesa *Em demanda do Zero Absoluto*, J. Bessa Sousa, Biblioteca Univ. Inova; *Atomes refroidis par laser: vers le microkelvin*, A. Aspect e C. Salomon, Le Courrier du CNRS, supl. au n.º 76 (1990); *Laser Cooling and Trapping of Atoms*, J. Optical Soc. America B (Optical Physics) **6** n.º 11 (Nov. 1989).

3. Janelas com transparência continuamente regulável

Já pensou nas vantagens de uma janela com transparência continuamente regulável? Deixando passar toda a luz em dias escuros e reduzindo drasticamente a sua passagem em dias de muito sol? E as divisórias transparentes de um escritório que se podem pôr instantaneamente opacas para delimitar um espaço reservado, por exemplo, para uma sala de reuniões? Estas perguntas não são de ficção científica, estando já em emergência uma nova geração de janelas e divisórias com visibilidade

instantaneamente controlável (em milissegundos...) pela simples aplicação de uma tensão eléctrica!

Uma das técnicas é o emprego de um cristal líquido finamente disperso numa placa polimérica transparente (tipo epoxy) sob a forma de minúsculas gotículas homogeneamente incorporadas nessa placa durante o processo de fabrico. De facto, basta adicionar à resina e endurecedor, ainda na fase fluida do início da reacção de polimerização, uma porção conveniente de cristal líquido que fica em emulsão nessa massa polimérica, sob a forma de pequeníssimas gotículas esféricas (dimensões facilmente controláveis, entre 0.1 e $10 \mu\text{m}$, ajustando convenientemente a taxa da reacção de polimerização). Como o comprimento de onda da luz visível varia entre cerca de $0,45 \mu\text{m}$ (violeta) e $0,75 \mu\text{m}$ (vermelho), aquelas gotículas de cristal líquido podem interagir fortemente com a luz visível.

Basta então depositar em cada face da placa polimérica filmes condutores muito finos (transparentes à luz) para se terem os dois eléctrodos para controlar electricamente a transmissão óptica da referida placa, que funciona como um meio dieléctrico colocado entre 2 eléctrodos planos.

Não havendo tensão eléctrica aplicada, as moléculas alongadas que constituem o cristal líquido estão orientadas ao acaso no interior de cada gotícula, difractando a luz incidente *em todas as direcções*; isto origina um baixíssimo coeficiente de transmissão da luz, e a janela apresenta-se virtualmente opaca. Aplicando uma tensão eléctrica conveniente, cria-se um campo eléctrico que orienta as moléculas de cristal líquido *na direcção de propagação da luz*: neste estado orientacional a difracção da luz é muito baixa e a janela apresenta-se transparente, com um baixíssimo coeficiente de absorção.

Bibliografia: *Liquid Crystals, Nature's Delicate Phase of Matter*, Peter J. Collings, ed. Adam Hilger (1990); *Os cristais líquidos; suas propriedades e aplicações*, *Gaz. Física*, **11**, 81 (1988).

J. Bessa Sousa