

FÍSICA EXPERIMENTAL II

Exp5 – TEMPERATURA E TERMOMETRIA

Tal como no estudo da mecânica conceitos como massa, força e energia cinética são essenciais para quantificar os fenómenos, também a descrição dos fenómenos térmicos necessita da definição de conceitos como temperatura, calor, energia interna, etc. Vamos neste trabalho preocupar-nos com o conceito de temperatura e ainda com as noções que estão intimamente associadas à determinação da temperatura de um sistema físico.

Quando se fala de temperatura de um objecto este conceito é muitas vezes (erradamente) associado ao facto de sentirmos esse objecto como quente ou frio. A nossa sensação de frio ou quente não pode ser tomada como uma indicação da temperatura uma vez que depende do tipo de material em questão: um metal, porque é um bom condutor, será sentido como mais frio do que um isolante para um mesmo valor da temperatura. Necessitamos assim de um processo reprodutível para aceder à temperatura de um corpo.



Para entender o conceito de temperatura e a forma de a determinar é necessário ter em conta que, para além da possibilidade de transferir energia através da realização de trabalho, existe ainda a possibilidade de transferir energia sob a forma de calor. Dois objetos dizem-se em contacto térmico quando existe uma troca de energia entre eles sem haver trabalho realizado; dois objetos que são postos em contacto térmico ficarão em equilíbrio térmico quando cessar a transferência de energia entre eles, o que corresponde à igualdade das temperaturas respectivas.

A medição da temperatura de um corpo por utilização de termómetros baseia-se neste princípio. Um termómetro posto em contacto térmico com um dado sistema mede, no equilíbrio térmico, a temperatura do sistema e a sua própria temperatura. Por outro lado, dois objetos que não estão em contacto térmico, estarão em equilíbrio térmico um com o outro quando colocados em contacto se cada um deles estiver em equilíbrio térmico com um terceiro objecto (lei zero da termodinâmica).

A medida da temperatura a partir de termómetros utiliza a variação de uma dada propriedade física com a temperatura. Como exemplos de propriedades físicas que servem de base ao funcionamento de termómetros podemos referir:

- variação de volume de um líquido
- variação de comprimento de um sólido
- variação da pressão de um gás mantido a volume constante
- variação do volume de um gás mantido a pressão constante
- variação da resistência eléctrica de um condutor
- alteração da cor de um corpo

O termómetro mais vulgar é o termómetro de mercúrio, no qual a determinação da temperatura se baseia na expansão térmica de uma coluna de mercúrio. A respectiva calibração, que estabelece a relação entre a variação de temperatura e a variação da altura da coluna de mercúrio, é efectuada colocando o

termómetro em contacto térmico com sistemas naturais cuja temperatura se conhece como constante, os chamados pontos fixos de temperatura. Inicialmente os pontos fixos utilizados eram a temperatura de uma mistura de gelo e água à pressão atmosférica (ponto de congelação) e a temperatura de uma mistura de água e vapor de água em equilíbrio à pressão atmosférica (ponto de ebulição). A escolha dos valores $T=0^{\circ}\text{C}$ e $T=100^{\circ}\text{C}$, respectivamente para os pontos de congelação e ebulição da água, levou à definição da escala Celsius¹. O termómetro de mercúrio, assim como outros termómetros de líquidos (termómetro de álcool) não são, no entanto, termómetros universais; não podem ser usados em todas as gamas de temperatura e diferentes termómetros dão leituras que podem não coincidir para temperaturas muito afastadas das dos pontos fixos referidos. Pelo contrário, o termómetro de gás é já um termómetro universal, uma vez que os gases diluídos apresentam um comportamento idêntico.

Conforme referimos, a termometria utiliza também a variação de resistência eléctrica com a temperatura para materiais como metais ou semicondutores. A platina pura, por exemplo, é usada como termómetro devido à grande variação de resistência verificada com a alteração de temperatura ($\approx 0,3\%$ para $\Delta T=1\text{K}$). Os chamados termistores, de elevada sensibilidade, baseiam-se na alteração com a temperatura da resistência eléctrica de semicondutores; estes termómetros, que têm uma vasta gama de operacionalidade, podem detectar variações da ordem de 10^{-3}°C .



Para além dos efeitos que definimos é também possível determinar a temperatura de um corpo utilizando a variação com a temperatura do campo eléctrico estabelecido na região da junção entre dois condutores. Os dispositivos que utilizam este princípio, designados por *termopares*, são largamente utilizados como sensores de temperatura a nível da investigação e aplicações técnicas.

Neste trabalho, pretende-se: *i*) estudar experimentalmente a variação da resistência de metais e termistores com a temperatura; *ii*) analisar o funcionamento de termopares, com o objectivo de elucidar as diferenças essenciais resultantes para a medição da temperatura.

Resistência eléctrica de metais e semicondutores: variação com a temperatura

Para um fio condutor de comprimento L e área transversal A , a resistividade eléctrica é definida como $\rho=R(A/L)$, sendo R a resistência eléctrica da porção de fio considerada. Consoante o tipo de material, a resistividade eléctrica, que é uma característica intrínseca do material, pode variar de várias ordens de grandeza. Este largo leque de valores para a resistividade deve-se aos diferentes valores para a concentração de electrões de condução, electrões deslocalizados provenientes das camadas mais externas dos átomos constituintes, que são responsáveis pela condução eléctrica e por isso também designados por portadores de carga.

Os electrões de condução num metal podem ser tratados a partir de um modelo simples, que considera os electrões como livres com um comportamento dinâmico semelhante ao de um gás (gás de electrões), para o qual são válidos todos os resultados da teoria cinética dos gases. No quadro deste modelo, a variação da resistividade eléctrica de um metal com a temperatura pode ser entendida através da variação da distância média percorrida pelos electrões entre colisões sucessivas (livre percurso médio).

¹ Atualmente a escala Celsius é definida a partir do zero absoluto e do ponto triplo da água.

Para temperaturas não muito baixas e para variações de temperatura não muito grandes, a variação da resistividade eléctrica com a temperatura num metal pode ser descrita por:

$$\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha_0 (T - T_0)]$$

sendo α_0 uma constante característica do metal e ρ_0 a resistividade à temperatura T_0 . Perante um aumento de temperatura a resistividade eléctrica aumenta, como resultado da diminuição do livre percurso médio para os electrões.

Nos semicondutores puros (Si, Ge, e outros) a variação da resistividade eléctrica com a temperatura é dominada pela variação do número de portadores de carga. O aumento da temperatura leva à quebra de ligações covalentes (ligações predominantes nestes materiais) e consequentemente ao aparecimento de um certo número de electrões livres (electrões de condução) e também de igual número de buracos. Pode assim dizer-se que um semicondutor puro, no zero absoluto, é um isolante, mas à medida que a temperatura aumenta vai-se tornando cada vez melhor condutor, devido ao aumento do número total de portadores de carga (electrões e buracos). Por sua vez a introdução de impurezas num semicondutor leva a uma alteração da concentração de portadores e do tipo destes, modificando a resistividade do material. De uma forma geral nos semicondutores a resistividade decresce com a temperatura segundo uma lei exponencial do tipo:

$$\rho(T) = K e^{b/T}$$

em que K e b são parâmetros que dependem da natureza do semicondutor

Na tabela a seguir estão indicados os valores de ρ , à temperatura ambiente ($T=300$ K), e α_0 , para alguns metais e ligas. Apresentam-se também os valores de ρ , à temperatura ambiente, para dois semicondutores: germânio e silício. Nestes materiais a densidade de portadores livres é muito inferior e reflete-se em valores da resistividade eléctrica 10^4 vezes maiores do que as dos metais.

	$\rho_{Tamb}/(\Omega \cdot m)$	$\alpha_0/^\circ C^{-1}$
Prata	1.5×10^{-8}	38×10^{-4}
Cobre	1.6×10^{-8}	40×10^{-4}
Latão	6.3×10^{-8}	20×10^{-4}
Tungsténio	5.0×10^{-8}	45×10^{-4}
Constantan (Cu 60%, Ni 4%)	42×10^{-8}	0.1×10^{-4}
Germânio	200×10^{-3}	
Silício	50	

Nesta parte do trabalho pretende-se medir e analisar a variação da resistência eléctrica com a temperatura de dois materiais distintos, um metal e um semicondutor, utilizando como sistema de aquecimento um banho de água.

Calibração de um termopar e análise do seu funcionamento

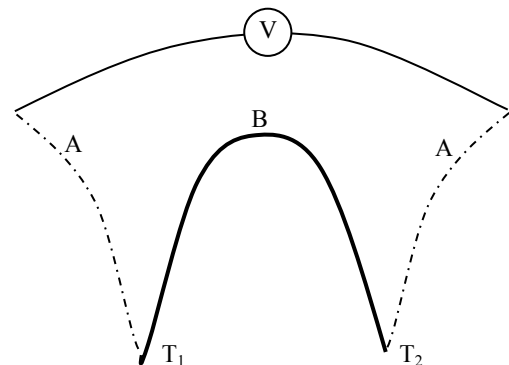
O efeito em que se baseia o funcionamento dos termopares, designado por efeito de Seebeck, é um dos efeitos termoeléctricos observados em materiais condutores e semicondutores, que resultam da interação entre o transporte de energia e o transporte eléctrico.

Quando dois materiais condutores diferentes são postos em contacto, devido à diferença de concentração de electrões de condução, surge uma difusão de electrões do material com concentração mais elevada para o material com concentração mais baixa. O equilíbrio ocorre quando as concentrações de cada um dos lados da junção são idênticas, e corresponde ao aparecimento de um campo eléctrico na zona da junção.

O funcionamento de um termopar como sensor de temperatura baseia-se no facto de na zona de contacto (junção) entre dois materiais condutores ou semicondutores se estabelecer, no equilíbrio, um campo eléctrico que é função da temperatura.

Para dois materiais condutores diferentes, A e B, ligados entre si como se representa na figura de forma a constituir duas junções, pode verificar-se que:

- a) se as junções estiverem à mesma temperatura ($T_1=T_2$) não aparecerá nenhuma força electromotriz entre os extremos AA devido ao facto dos campos eléctricos estabelecidos em cada uma das junções serem iguais e simétricos
- b) quando as temperaturas das junções forem diferentes, aparece uma força electromotriz que é aproximadamente proporcional à diferença de temperatura das duas junções.



A medição de temperatura utilizando um termopar é efectuada por determinação da força electromotriz gerada quando uma das junções está à temperatura que se pretende medir e a outra a uma temperatura de referência.

Nesta parte do trabalho pretende-se efetuar a calibração de um termopar, na gama de temperaturas entre 0 e 90 °C.