

# Termología y electrónica

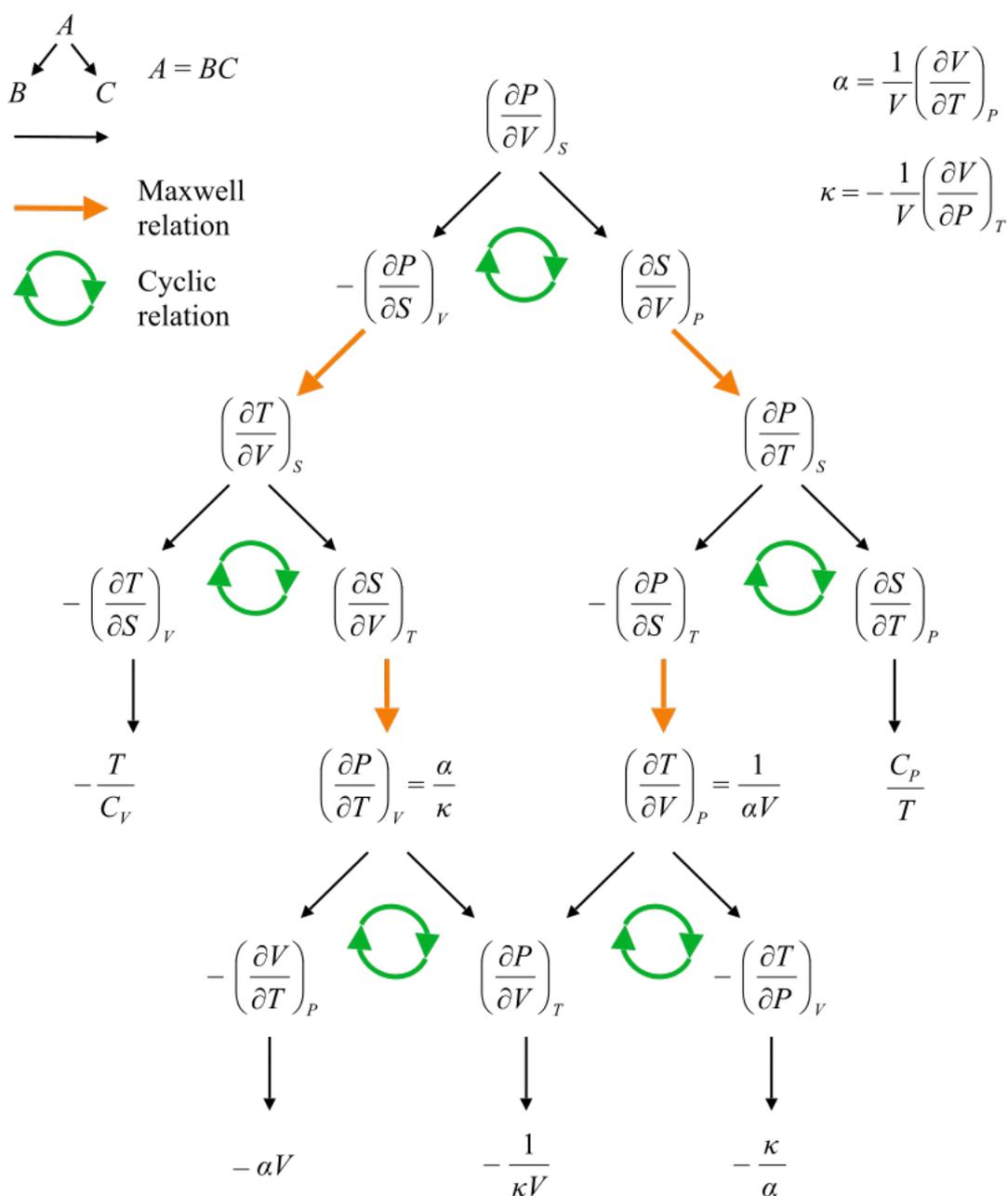
JFGH

Space-time Foundation & Quantum TimeLord Virtual Academy

Multiverse of Madness

## Resumen

Resumen con  $\LaTeX$  en español de los temas de Física de Termología y Electrónica (con análogos mecánicos), nivel 2º Bachillerato y preuniversitario.



# Índice

<b>1. Termología</b>	<b>3</b>
1.1. Dilataciones . . . . .	3
1.2. Cambios de estado o transiciones de fase . . . . .	3
1.3. Magnitudes termodinámicas . . . . .	4
1.4. Aplicaciones a gases ideales . . . . .	5
1.5. Otras relaciones termodinámicas . . . . .	6
1.6. Condiciones de equilibrio de un sistema . . . . .	8
1.7. Teoría cinética de gases . . . . .	8
1.8. Escalas de temperatura . . . . .	9
<b>2. Electrónica</b>	<b>14</b>
2.1. Leyes de Kirchhoff . . . . .	14
2.2. Conceptos de emisión y recepción de radiofrecuencias . . . . .	14

# 1. Termología

## 1.1. Dilataciones

Uno de los efectos del calor o energía térmica son las dilataciones. Hay 3 coeficientes térmicos:

### Coefficiente de dilatación lineal

Se define el coeficiente de dilatación lineal  $\lambda$  como sigue:

$$L = L_0(1 + \lambda(T - T_0)) \quad (1)$$

donde dimensionalmente  $[\lambda]=T^{-1}$ .

### Coefficiente de dilatación superficial

Se define el coeficiente de dilatación superficial  $\sigma$  como sigue:

$$S = S_0(1 + \sigma(T - T_0)) \quad (2)$$

donde dimensionalmente  $[\sigma]=T^{-1}$ .

### Coefficiente de dilatación volúmico

Se define el coeficiente de dilatación volúmico  $\gamma$  como sigue:

$$V = V_0(1 + \gamma(T - T_0)) \quad (3)$$

donde dimensionalmente  $[\gamma]=T^{-1}$ .

Además, se tienen las relaciones  $\sigma = 2\lambda$ ,  $\gamma = 3\lambda = 3\sigma/2$ . En los gases ideales,  $\gamma = 1/273 K^{-1}$ . Recordemos que  $T(K) = T(C) + 273$ , y que  $T(C)/100 = (T(F) - 32)/180$ . Por otra parte, para procesos isócoros (volumen constante) de gases ideales  $P/T = k_1$ , para procesos isóbaros (presión constante),  $V/T = k_2$ , para procesos isotérmicos (temperatura constante),  $P/T = k_3$ , y para procesos a moles constantes (número de partículas constantes)  $PV/T = k_4$ . Además, la hipótesis de Avogadro para gases  $V/N = k_5$ , o bien  $V/n = k'_5$ , donde  $N = nN_A$ , con  $n = m/MM$ . Y, también,  $k_4 = nR = N_A k_B$ .

## 1.2. Cambios de estado o transiciones de fase

### Calor por cambio de temperatura

Para cambiar la temperatura de un cuerpo u objeto, se transfiere la energía térmica o calor

$$Q = mc_e \Delta T = mc_e(T - T_0) \quad Q = C \Delta T = C(T - T_0) \quad (4)$$

y donde  $c_e$  es el calor específico en  $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ , y  $C$  es la capacidad calorífica en  $J/K$ .

### Calor por cambio estado

Para cambiar la temperatura de un cuerpo u objeto, se transfiere la energía térmica o calor denominado calor latente  $L$ . Para los cambios progresivos es un calor absorbido, mientras que es un calor cedido en los regresivos, en general:

$$Q = mL_p \quad Q = -mL_r \quad (5)$$

y donde  $L_p$  es el calor latente de un cambio progresivo en  $J \cdot kg^{-1}$ , y  $L_r$  es el calor latente de un cambio regresivo en las mismas unidades.

### Ley de Fourier del calor

La propagación del calor en sólidos es relativamente simple si no consideramos efectos no lineales y otras complicaciones. La cantidad de calor por unidad de tiempo que se transmite entre dos puntos separados una distancia  $\Delta x$  es igual a

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda S \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (6)$$

donde  $\lambda$  es ahora la conductividad calorífica del material,  $S$  es la sección del sólido y  $T$ , la temperatura. Se observa que el flujo de calor se origina por el gradiente local de temperatura en una determinada dirección. Se puede ver que  $\lambda S = c_e \rho$ , donde  $c_e$  es la capacidad calorífica específica y  $\rho$  es la densidad.

## 1.3. Magnitudes termodinámicas

### Funciones de estado extensivas

Son magnitudes que dependen de la cantidad de materia. Son: la energía interna  $U$ , la entalpía  $H$ , la entropía  $S$ , la energía libre de Helmholtz  $F$  (energía libre), la energía libre de Gibbs  $G$ , el volumen  $V$ , y las capacidades caloríficas  $C_v, C_p$  a volumen y presión constantes (entre otras).

### Funciones de estado intensivas

Son funciones y magnitudes que son independientes de la cantidad de materia. Son: la presión  $P$ , la temperatura absoluta  $T$ , la energía interna molar  $u$ , la entalpía molar  $h$ , la entropía molar  $s$ , la energía libre molar  $f$ , la energía de Gibbs molar  $g$ , el volumen molar  $v$ , y los calores molares a presión y volumen constantes  $c_p, c_v$ , entre otras.

Además, hay funciones que no son de estado, puesto que su valor depende del camino seguido en su transformación. Son el calor  $Q$  absorbido o cedido por un sistema, y el trabajo de expansión o contracción en una transformación  $W$ .

### Primer principio de la Termodinámica

La variación de energía interna de todo sistema es igual a la suma

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad dQ = \delta Q + \delta W \quad (7)$$

## Segundo principio de la Termodinámica

Enunciado A: No es posible construir una máquina térmica que, funcionando cíclicamente, produzca como único resultado la transformación de calor en trabajo mecánico.

Enunciado B: La entropía de un sistema aislado nunca disminuye en una transformación del sistema.

Se llama transformación reversible a aquella que experimenta un sistema cuando evoluciona de manera suficientemente lenta (cuasiestáticamente), para poderse considerar que todos los estados por los que va pasando son estados de equilibrio del sistema.

### 1.4. Aplicaciones a gases ideales

La expresión de la entropía de un gas ideal puede calcularse si se conoce su entropía  $S$  en unas condiciones particulares ( $p, V, T$ ), la entropía  $S'$  y su variación  $\Delta S = S' - S$  en cualquier otro estado ( $p', V', T'$ ), con  $S' = S + \Delta S$  satisface

$$\Delta S = nc_v \ln \frac{T'}{T} + nR \ln \frac{V'}{V} = nc_p \ln \frac{T'}{T} - nR \ln \frac{p'}{p} = nc_p \ln \frac{V'}{V} + nc_v \ln \frac{p'}{p} \quad (8)$$

$$\Delta s = \Delta S/n = c_v \ln \frac{T'}{T} + R \ln \frac{V'}{V} = c_p \ln \frac{T'}{T} - R \ln \frac{p'}{p} = c_p \ln \frac{V'}{V} + c_v \ln \frac{p'}{p} \quad (9)$$

Los gases poseen varias transformaciones reversibles conocidas:

- Transformaciones isócoras, a volumen constante:

$$\frac{p}{T} = \frac{p'}{T'} \quad (10)$$

$$W_v = 0 \quad (11)$$

$$Q_v = nc_v \Delta T = nc_v(T' - T) = \Delta U = U' - U \quad (12)$$

$$\Delta U = Q_v = nc_v \Delta T \quad (13)$$

$$\Delta H_v = \Delta H = nc_p \Delta T \quad H = U + pV \quad (14)$$

- Transformaciones isóbaras, a presión constante:

$$\frac{V}{T} = \frac{V'}{T'} \quad (15)$$

$$W_v = -p \Delta V = -p(V' - V) \quad (16)$$

$$Q_p = nc_p \Delta T = nc_v(T' - T) = \Delta H = H' - H \quad H = U + pV \quad (17)$$

$$\Delta U = nc_v \Delta T \quad (18)$$

$$\Delta H_p = \Delta H = nc_p \Delta T \quad H = U + pV \quad (19)$$

- Transformaciones isotermas o isotérmicas, a temperatura constante:

$$pV = p'V' \quad (20)$$

$$W_T = -nRT \ln \frac{p}{p'} = -nRT \ln \frac{V'}{V} \quad (21)$$

$$Q_T = W_T \quad (22)$$

$$\Delta U = 0 \quad (23)$$

$$\Delta H_T = \Delta H = 0 \quad H = U + pV \quad (24)$$

- Transformaciones adiabáticas, con  $\Delta Q = 0$ :

$$pV^\gamma = p'V'^\gamma \quad (25)$$

$$W_Q = \frac{p'V' - pV}{\gamma - 1} = \frac{R(T' - T)}{\gamma - 1} \quad (26)$$

$$Q_Q = \Delta Q_Q = 0 \quad (27)$$

$$\Delta U = -\Delta W = nc_v\Delta T \quad (28)$$

$$\Delta H_Q = pV - p'V' = nc_p(T' - T) = nc_p\Delta T \quad H = U + pV \quad (29)$$

y donde se define  $\gamma = c_p/c_v$  como el coeficiente adiabático. La relación de Mayer entre calores específicos molares reza

$$c_p - c_v = R \quad (30)$$

### Ciclo de Carnot

Un ciclo termodinámico simple, funcionando entre un foco frío a temperatura  $T_c$  y un foco caliente a temperatura  $T_h$ , ideal, presenta un rendimiento

$$\eta_C = 1 - \frac{T_c}{T_h} = \frac{\Delta W_u}{\Delta W_t} \quad (31)$$

como máquina térmica. Como máquina frigorífica o “heat pump” (bomba de calor), el rendimiento “se invierte” de forma que el coeficiente de funcionamiento puede ser de congelador o de enfriamiento, tal que

$$\eta_{C_{freezer}} = \frac{T_c}{T_h - T_c} = \frac{1}{\frac{T_h}{T_c} - 1} \quad \text{o también} \quad \eta_{C_{heating}} = \frac{T_h}{T_h - T_c} = \frac{1}{1 - \frac{T_c}{T_h}} \quad (32)$$

Los procesos de transferencia de calor o energía térmica suelen ser irreversibles. Una parte de la Termodinámica moderna irreversible ha desarrollado la denominada Termodinámica endoreversible. En este framework, el rendimiento obtenido de una máquina con dos focos, uno frío y uno caliente, puede demostrarse igual a

$$\eta_N = 1 - \sqrt{\frac{T_c}{T_h}} \quad (33)$$

donde la fórmula se denomina habitualmente eficiencia de Chambadal-Novikov-Curzon-Ahlborn, o simplemente de Chambadal-Novikov.

## 1.5. Otras relaciones termodinámicas

Relación entre calores específicos molares y otras magnitudes termodinámicas:

### Ecuación de Clausius-Clapeyron

La ecuación que relaciona la presión de vapor  $p$  y el calor latente de vaporización de un líquido es:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L_v}{T(V_g - V_l)} \quad (34)$$

Un potencial termodinámico tiene una expansión

$$d\Phi = \frac{\partial\Phi}{\partial X_i} dX_i = \sum_i \frac{\partial\Phi}{\partial X_i} dX_i \quad (35)$$

Si consideramos válido el criterio de Schwarz

$$\frac{\partial}{\partial X_i} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial X_j} \right) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial X_i} \right) \quad (36)$$

se pueden obtener unas relaciones denominadas relaciones de Maxwell. A continuación una lista no exhaustiva:

$$c_v = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad (37)$$

$$c_p = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (38)$$

$$T = \left( \frac{\partial u}{\partial s} \right)_v = \left( \frac{\partial h}{\partial s} \right)_p \quad (39)$$

$$p = - \left( \frac{\partial u}{\partial v} \right)_s = - \left( \frac{\partial f}{\partial v} \right)_T \quad (40)$$

$$v = \left( \frac{\partial g}{\partial p} \right)_T = \left( \frac{\partial h}{\partial p} \right)_s \quad (41)$$

$$s = - \left( \frac{\partial f}{\partial T} \right)_v = - \left( \frac{\partial g}{\partial T} \right)_p \quad (42)$$

$$\left( \frac{\partial s}{\partial p} \right)_v = - \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_s \quad (43)$$

$$\left( \frac{\partial s}{\partial v} \right)_T = \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \quad (44)$$

$$\left( \frac{\partial s}{\partial p} \right)_T = - \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \quad (45)$$

$$\left( \frac{\partial s}{\partial v} \right)_p = \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_s \quad (46)$$

Los potenciales termodinámicos usuales son:

- Energía interna  $U = \int TdS - pdV + \mu dN$ .

$$dU(S, V, N) = TdS - pdV + \sum \mu dN \quad (47)$$

- Energía libre  $F = U - TS$ .

$$dF(T, V, N) = -SdT - pdV + \sum \mu dN \quad (48)$$

- Entalpía  $H = U + PV$ .

$$dH(S, P, N) = TdS + VdP + \sum \mu dN \quad (49)$$

- Energía libre de Gibbs  $G = H - TS = U + PV - TS$ .

$$dG(T, P, N) = -SdT + VdP + \sum \mu dN \quad (50)$$

Como todas las variables naturales de la energía interna son extensivas, se sigue por el teorema de Euler de las funciones homogéneas que:

$$U = TS - pV + \sum_i \mu_i N_i \quad (51)$$

Sustituyendo en las expresiones de los potenciales termodinámicos tenemos que:

$$F = -pV + \sum_i \mu_i N_i \quad (52)$$

$$H = TS + \sum_i \mu_i N_i \quad (53)$$

$$G = \sum_i \mu_i N_i \quad (54)$$

Estas 4 últimas ecuaciones se llaman **ecuaciones fundamentales** o **integrales de Euler**. Finalmente, se tiene la relación de Gibbs-Duhem:

$$0 = SdT - Vdp + \sum_i N_i d\mu_i \quad (55)$$

válida para los parámetros intensivos del sistema. Para un sistema de  $r$ -componentes habrá  $r + 1$  parámetros independientes, o grados de libertad. Para un sistema que un componente, habrá dos grados de libertad, que pueden tomarse como presión y volumen, por ejemplo.

## 1.6. Condiciones de equilibrio de un sistema

Un sistema que no esté en equilibrio tenderá a evolucionar hacia él. Las condiciones de evolución espontánea y de equilibrio de un sistema, expresadas en función de magnitudes termodinámicas extensivos, es como sigue:

- Un sistema aislado evoluciona en general con  $\Delta S > 0$ , y en equilibrio resulta que  $\Delta S = 0$ .
- Un sistema con  $S$  y  $V$  constantes (isoentrópico, isócoro) evoluciona de forma que  $\Delta U < 0$ , y en equilibrio  $\Delta U = 0$ .
- Un sistema con  $S$  y  $P$  constantes (isoentrópico, isóbaro) evoluciona de forma que  $\Delta H < 0$ , y en equilibrio  $\Delta H = 0$ .
- Un sistema con  $T$  y  $V$  constantes (isotérmico, isócoro) evoluciona de forma que  $\Delta F < 0$ , y en equilibrio  $\Delta F = 0$ .
- Un sistema con  $T$  y  $P$  constantes (isotérmico, isóbaro) evoluciona de forma que  $\Delta G < 0$ , y en equilibrio  $\Delta G = 0$ .

Las condiciones de equilibrio también requieren condiciones sobre las variables intensivas:

- En un sistema aislado  $T_1 = T_2$ .
- En un sistema con sus partes 1 y 2 separadas por una pared móvil, se tiene que  $p_1 = p_2$ .
- En un sistema químico, formado por dos fases 1 y 2, el potencial químico debe igualarse  $\mu_1 = \mu_2$ .

## 1.7. Teoría cinética de gases

La teoría cinética de gases ideales considera un gas formado por moléculas puntuales perfectamente duras que tan solo interactúan instantáneamente a través de los choques que tienen lugar entre ellas o con las paredes del recipiente.

La energía cinética media se puede expresar a través de la presión de un gas ideal como sigue:

$$p = \frac{2}{3} k_B N \overline{E_c} \quad R = k_B N_A \quad (56)$$

Para cada molécula, se tiene que

$$\overline{E_c} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T \quad (57)$$

Además, la velocidad cuadrática media se define por la expresión:

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{\sum_i N_i v_i^2}{\sum_i N_i}} \quad (58)$$

El principio de equipartición de la energía señala que la energía media por cada grado de libertad en el movimiento de las moléculas es igual a  $k_B T/2$  por molécula. La expresión de la velocidad cuadrática media de las moléculas a partir de la temperatura del gas proporciona:

$$\sqrt{\overline{v_i^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (59)$$

Otras relaciones para gases deducibles de la teoría cinética de gases:

- Energía total media, cinética más vibracional, por mol: para el gas monoatómico  $\overline{E_c} = 3RT/2$ . Para el gas diatómico:  $\overline{E_c} = 5RT/2$ .
- Energía interna molar: para el gas monoatómico  $u = 3RT/2$ , para el gas diatómico  $u = 5RT/2$ .
- Entalpía molar: para el gas monoatómico  $h = 5RT/2$ , para el gas diatómico:  $h = 7RT/2$ .
- Calor específico molar a volumen constante: para el gas monoatómico  $c_v = 3R/2$ , para el gas diatómico  $c_v = 5R/2$ .
- Calor específico molar a presión constante: para el gas monoatómico  $c_p = 5R/2$ , para el gas diatómico  $c_p = 7R/2$ .
- Coeficiente de calores específicos o adiabático para gases ideales: para el gas monoatómico  $\gamma = c_p/c_v = 5/3$ , y para el gas diatómico  $\gamma = 7/5$ .
- Ecuación de estado de un gas ideal  $PV = nRT$ , o también  $pV = Nk_B T$ .
- Ecuación de estado de Clausius, para un gas no ideal que tiene en cuenta el volumen no nulo de las moléculas de un gas  $p(V - b) = nRT$ .
- Ecuación de estado de Van der Waals, para un gas real, que tiene en cuenta el volumen no nulo de las moléculas y una cierta interacción a corta distancia entre las moléculas:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \quad (60)$$

- Ecuación de Chaplygin de un gas exótico  $P = \frac{A}{\rho}$ . Es generalizable a la ecuación más general

$$P = \frac{A}{\rho^\alpha} \quad (61)$$

## 1.8. Escalas de temperatura

- Escala absoluta o Kelvin:  $OK$  es la temperatura donde cesa todo movimiento atómico-molecular. Habitualmente se usa:  $T(K) = T(^{\circ}C) + 273$ .
- Escala Celsius o centígrada:  $0^{\circ}C$  corresponde al punto de fusión del agua, y  $100^{\circ}C$  a la temperatura de vaporización del agua.
- Escala Fahrenheit o anglosajona:  $32^{\circ}F$  es la temperatura de fusión del agua, y  $180^{\circ}F$  la temperatura de vaporización del agua.
- Escala Rankine o  $^{\circ}Ra$  ( $^{\circ}R$  si no se confunde con Roemer o Réaumur) corresponde a la equivalente absoluta para la fahrenheit, tal que  $T(^{\circ}Ra) = T(F) + 459,67$ .
- Escala Réaumur. Escala octogenaria. Punto de fusión del agua a  $0^{\circ}Re$ , y punto de vaporización a  $80^{\circ}Re$ .
- Escala Rømer. Asigna  $7,5^{\circ}R\emptyset$  al punto de fusión del agua, y  $60^{\circ}R\emptyset$  a la temperatura de vaporización de la misma.

- Escala de Delisle. Sus unidades son los grados Delisle, se representan con el símbolo °D y cada uno vale  $-2/3$  de un grado Celsius o Kelvin. El cero de la escala está a la temperatura de ebullición del agua y mide  $150^{\circ}D$  para la fusión del agua, va aumentando según descenden las otras escalas hasta llegar al cero absoluto a  $559,725^{\circ}D$ .
- Escala de Newton. Newton definió el “grado cero de calor” como la temperatura a la cual se derrite la nieve, y “33 grados de calor” como la temperatura de ebullición del agua. De esta manera, su escala sería precursora de la escala de Celsius, que también se define usando como puntos de referencia las temperaturas de congelación y ebullición del agua. Es probable que Anders Celsius conociera la escala termométrica de Newton cuando inventó la suya. Por consiguiente, la unidad de esta escala, el grado Newton, equivale a  $\frac{100}{33}$  (aproximadamente 3,03) kelvines o grados Celsius y tiene el mismo cero de la escala de Celsius.

**Temperature conversions**

	<b>from Celsius</b>	<b>to Celsius</b>
<b>Fahrenheit</b>	$[^{\circ}F] = [^{\circ}C] \times \frac{9}{5} + 32$	$[^{\circ}C] = ([^{\circ}F] - 32) \times \frac{5}{9}$
<b>Kelvin</b>	$[K] = [^{\circ}C] + 273.15$	$[^{\circ}C] = [K] - 273.15$
<b>Rankine</b>	$[^{\circ}R] = ([^{\circ}C] + 273.15) \times \frac{9}{5}$	$[^{\circ}C] = ([^{\circ}R] - 491.67) \times \frac{5}{9}$
<b>Delisle</b>	$[^{\circ}De] = (100 - [^{\circ}C]) \times \frac{3}{2}$	$[^{\circ}C] = 100 - [^{\circ}De] \times \frac{2}{3}$
<b>Newton</b>	$[^{\circ}N] = [^{\circ}C] \times \frac{33}{100}$	$[^{\circ}C] = [^{\circ}N] \times \frac{100}{33}$
<b>Réaumur</b>	$[^{\circ}Ré] = [^{\circ}C] \times \frac{4}{5}$	$[^{\circ}C] = [^{\circ}Ré] \times \frac{5}{4}$
<b>Rømer</b>	$[^{\circ}R\emptyset] = [^{\circ}C] \times \frac{21}{40} + 7.5$	$[^{\circ}C] = ([^{\circ}R\emptyset] - 7.5) \times \frac{40}{21}$

**Temperature conversions**

	<b>from Fahrenheit</b>	<b>to Fahrenheit</b>
<b>Celsius</b>	$[^{\circ}C] = ([^{\circ}F] - 32) \times \frac{5}{9}$	$[^{\circ}F] = [^{\circ}C] \times \frac{9}{5} + 32$
<b>Kelvin</b>	$[K] = ([^{\circ}F] + 459.67) \times \frac{5}{9}$	$[^{\circ}F] = [K] \times \frac{9}{5} - 459.67$
<b>Rankine</b>	$[^{\circ}R] = [^{\circ}F] + 459.67$	$[^{\circ}F] = [^{\circ}R] - 459.67$
<b>Delisle</b>	$[^{\circ}De] = (212 - [^{\circ}F]) \times \frac{5}{6}$	$[^{\circ}F] = 212 - [^{\circ}De] \times \frac{6}{5}$
<b>Newton</b>	$[^{\circ}N] = ([^{\circ}F] - 32) \times \frac{11}{60}$	$[^{\circ}F] = [^{\circ}N] \times \frac{60}{11} + 32$
<b>Réaumur</b>	$[^{\circ}Ré] = ([^{\circ}F] - 32) \times \frac{4}{9}$	$[^{\circ}F] = [^{\circ}Ré] \times \frac{9}{4} + 32$
<b>Rømer</b>	$[^{\circ}R\emptyset] = ([^{\circ}F] - 32) \times \frac{7}{24} + 7.5$	$[^{\circ}F] = ([^{\circ}R\emptyset] - 7.5) \times \frac{24}{7} + 32$

### Temperature conversions

	from Kelvin	to Kelvin
<b>Celsius</b>	$[^{\circ}\text{C}] = [\text{K}] - 273.15$	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{C}] + 273.15$
<b>Fahrenheit</b>	$[^{\circ}\text{F}] = [\text{K}] \times \frac{9}{5} - 459.67$	$[\text{K}] = ([^{\circ}\text{F}] + 459.67) \times \frac{5}{9}$
<b>Rankine</b>	$[^{\circ}\text{R}] = [\text{K}] \times \frac{9}{5}$	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{R}] \times \frac{5}{9}$
<b>Delisle</b>	$[^{\circ}\text{De}] = (373.15 - [\text{K}]) \times \frac{3}{2}$	$[\text{K}] = 373.15 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{2}{3}$
<b>Newton</b>	$[^{\circ}\text{N}] = ([\text{K}] - 273.15) \times \frac{33}{100}$	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{100}{33} + 273.15$
<b>Réaumur</b>	$[^{\circ}\text{Ré}] = ([\text{K}] - 273.15) \times \frac{4}{5}$	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{5}{4} + 273.15$
<b>Rømer</b>	$[^{\circ}\text{Rø}] = ([\text{K}] - 273.15) \times \frac{21}{40} + 7.5$	$[\text{K}] = ([^{\circ}\text{Rø}] - 7.5) \times \frac{40}{21} + 273.15$

### Temperature conversions

	from Rankine	to Rankine
<b>Celsius</b>	$[^{\circ}\text{C}] = ([^{\circ}\text{R}] - 491.67) \times \frac{5}{9}$	$[^{\circ}\text{R}] = ([^{\circ}\text{C}] + 273.15) \times \frac{9}{5}$
<b>Fahrenheit</b>	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{R}] - 459.67$	$[^{\circ}\text{R}] = [^{\circ}\text{F}] + 459.67$
<b>Kelvin</b>	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{R}] \times \frac{5}{9}$	$[^{\circ}\text{R}] = [\text{K}] \times \frac{9}{5}$
<b>Delisle</b>	$[^{\circ}\text{De}] = (671.67 - [^{\circ}\text{R}]) \times \frac{5}{6}$	$[^{\circ}\text{R}] = 671.67 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{6}{5}$
<b>Newton</b>	$[^{\circ}\text{N}] = ([^{\circ}\text{R}] - 491.67) \times \frac{11}{60}$	$[^{\circ}\text{R}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{60}{11} + 491.67$
<b>Réaumur</b>	$[^{\circ}\text{Ré}] = ([^{\circ}\text{R}] - 491.67) \times \frac{4}{9}$	$[^{\circ}\text{R}] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{9}{4} + 491.67$
<b>Rømer</b>	$[^{\circ}\text{Rø}] = ([^{\circ}\text{R}] - 491.67) \times \frac{7}{24} + 7.5$	$[^{\circ}\text{R}] = ([^{\circ}\text{Rø}] - 7.5) \times \frac{24}{7} + 491.67$

### Temperature conversions

	from Delisle	to Delisle
<b>Celsius</b>	$[^{\circ}\text{C}] = 100 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{2}{3}$	$[^{\circ}\text{De}] = (100 - [^{\circ}\text{C}]) \times \frac{3}{2}$
<b>Fahrenheit</b>	$[^{\circ}\text{F}] = 212 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{6}{5}$	$[^{\circ}\text{De}] = (212 - [^{\circ}\text{F}]) \times \frac{5}{6}$
<b>Kelvin</b>	$[\text{K}] = 373.15 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{2}{3}$	$[^{\circ}\text{De}] = (373.15 - [\text{K}]) \times \frac{3}{2}$
<b>Rankine</b>	$[^{\circ}\text{R}] = 671.67 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{6}{5}$	$[^{\circ}\text{De}] = (671.67 - [^{\circ}\text{R}]) \times \frac{5}{6}$
<b>Newton</b>	$[^{\circ}\text{N}] = 33 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{11}{50}$	$[^{\circ}\text{De}] = (33 - [^{\circ}\text{N}]) \times \frac{50}{11}$
<b>Réaumur</b>	$[^{\circ}\text{Ré}] = 80 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{8}{15}$	$[^{\circ}\text{De}] = (80 - [^{\circ}\text{Ré}]) \times \frac{15}{8}$
<b>Rømer</b>	$[^{\circ}\text{Rø}] = 60 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{7}{20}$	$[^{\circ}\text{De}] = (60 - [^{\circ}\text{Rø}]) \times \frac{20}{7}$

### Temperature conversions

	from <b>Newton</b>	to <b>Newton</b>
<b>Celsius</b>	$[^{\circ}\text{C}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{100}{33}$	$[^{\circ}\text{N}] = [^{\circ}\text{C}] \times \frac{33}{100}$
<b>Fahrenheit</b>	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{60}{11} + 32$	$[^{\circ}\text{N}] = ([^{\circ}\text{F}] - 32) \times \frac{11}{60}$
<b>Kelvin</b>	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{100}{33} + 273.15$	$[^{\circ}\text{N}] = ([\text{K}] - 273.15) \times \frac{33}{100}$
<b>Rankine</b>	$[^{\circ}\text{R}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{60}{11} + 491.67$	$[^{\circ}\text{N}] = ([^{\circ}\text{R}] - 491.67) \times \frac{11}{60}$
<b>Delisle</b>	$[^{\circ}\text{De}] = (33 - [^{\circ}\text{N}]) \times \frac{50}{11}$	$[^{\circ}\text{N}] = 33 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{11}{50}$
<b>Réaumur</b>	$[^{\circ}\text{Ré}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{80}{33}$	$[^{\circ}\text{N}] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{33}{80}$
<b>Rømer</b>	$[^{\circ}\text{R}\emptyset] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{35}{22} + 7.5$	$[^{\circ}\text{N}] = ([^{\circ}\text{R}\emptyset] - 7.5) \times \frac{22}{35}$

### Temperature conversions

	from <b>Réaumur</b>	to <b>Réaumur</b>
<b>Celsius</b>	$[^{\circ}\text{C}] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{5}{4}$	$[^{\circ}\text{Ré}] = [^{\circ}\text{C}] \times \frac{4}{5}$
<b>Fahrenheit</b>	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{9}{4} + 32$	$[^{\circ}\text{Ré}] = ([^{\circ}\text{F}] - 32) \times \frac{4}{9}$
<b>Kelvin</b>	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{5}{4} + 273.15$	$[^{\circ}\text{Ré}] = ([\text{K}] - 273.15) \times \frac{4}{5}$
<b>Rankine</b>	$[^{\circ}\text{R}] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{9}{4} + 491.67$	$[^{\circ}\text{Ré}] = ([^{\circ}\text{R}] - 491.67) \times \frac{4}{9}$
<b>Delisle</b>	$[^{\circ}\text{De}] = (80 - [^{\circ}\text{Ré}]) \times \frac{15}{8}$	$[^{\circ}\text{Ré}] = 80 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{8}{15}$
<b>Newton</b>	$[^{\circ}\text{N}] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{33}{80}$	$[^{\circ}\text{Ré}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{80}{33}$
<b>Rømer</b>	$[^{\circ}\text{R}\emptyset] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{21}{32} + 7.5$	$[^{\circ}\text{Ré}] = ([^{\circ}\text{R}\emptyset] - 7.5) \times \frac{32}{21}$

### Temperature conversions

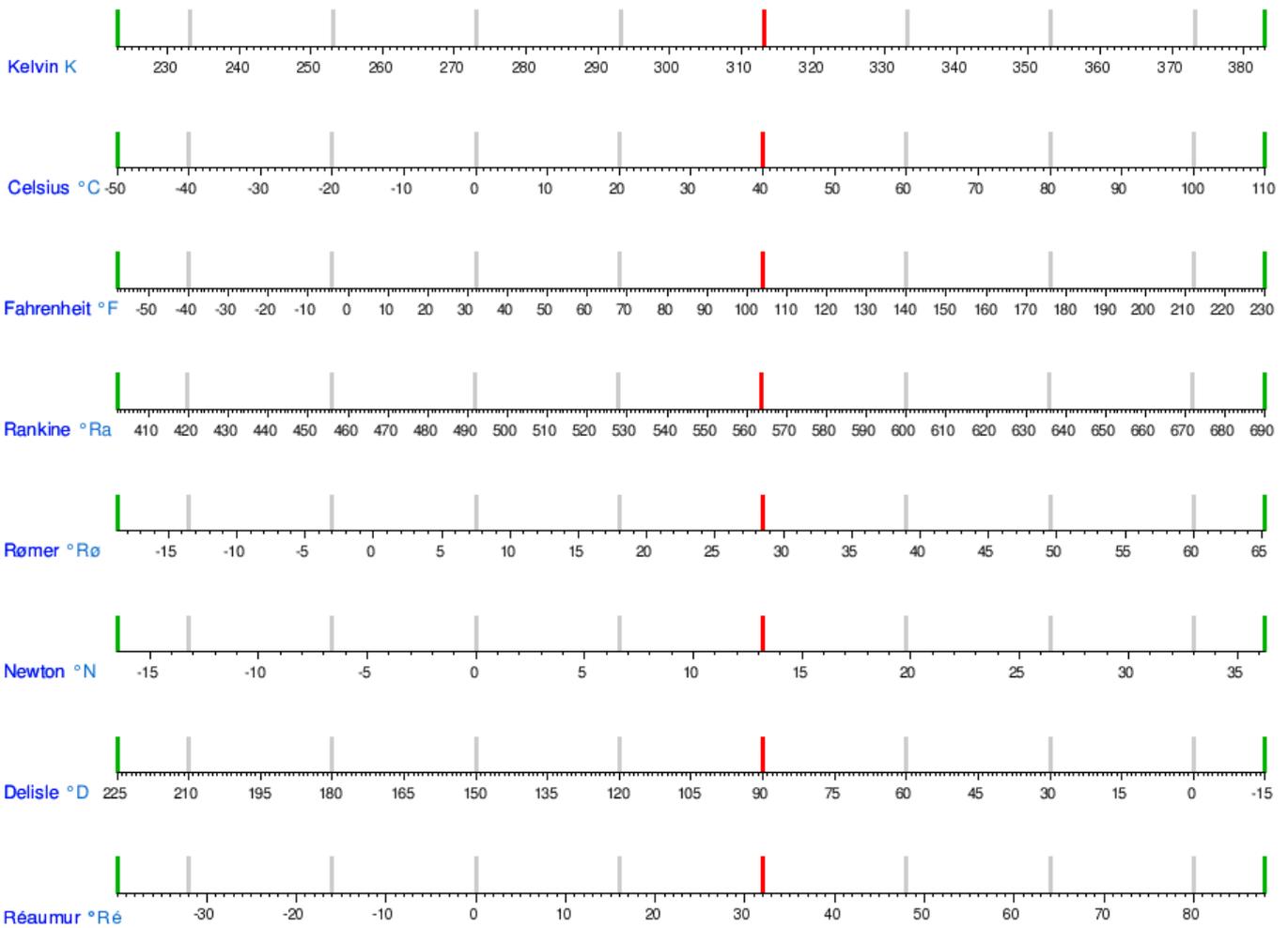
	from <b>Rømer</b>	to <b>Rømer</b>
<b>Celsius</b>	$[^{\circ}\text{C}] = ([^{\circ}\text{R}\emptyset] - 7.5) \times \frac{40}{21}$	$[^{\circ}\text{R}\emptyset] = [^{\circ}\text{C}] \times \frac{21}{40} + 7.5$
<b>Fahrenheit</b>	$[^{\circ}\text{F}] = ([^{\circ}\text{R}\emptyset] - 7.5) \times \frac{24}{7} + 32$	$[^{\circ}\text{R}\emptyset] = ([^{\circ}\text{F}] - 32) \times \frac{7}{24} + 7.5$
<b>Kelvin</b>	$[\text{K}] = ([^{\circ}\text{R}\emptyset] - 7.5) \times \frac{40}{21} + 273.15$	$[^{\circ}\text{R}\emptyset] = ([\text{K}] - 273.15) \times \frac{21}{40} + 7.5$
<b>Rankine</b>	$[^{\circ}\text{R}] = ([^{\circ}\text{R}\emptyset] - 7.5) \times \frac{24}{7} + 491.67$	$[^{\circ}\text{R}\emptyset] = ([^{\circ}\text{R}] - 491.67) \times \frac{7}{24} + 7.5$
<b>Delisle</b>	$[^{\circ}\text{De}] = (60 - [^{\circ}\text{R}\emptyset]) \times \frac{20}{7}$	$[^{\circ}\text{R}\emptyset] = 60 - [^{\circ}\text{De}] \times \frac{7}{20}$
<b>Newton</b>	$[^{\circ}\text{N}] = ([^{\circ}\text{R}\emptyset] - 7.5) \times \frac{22}{35}$	$[^{\circ}\text{R}\emptyset] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{35}{22} + 7.5$
<b>Réaumur</b>	$[^{\circ}\text{Ré}] = ([^{\circ}\text{R}\emptyset] - 7.5) \times \frac{32}{21}$	$[^{\circ}\text{R}\emptyset] = [^{\circ}\text{Ré}] \times \frac{21}{32} + 7.5$

### Comparison of temperature scales

Comment	Kelvin	Celsius	Fahrenheit	Rankine	Delisle	Newton	Réaumur	Rømer
Absolute zero	0.00	-273.15	-459.67	0.00	559.73	-90.14	-218.52	-135.90
Lowest recorded surface temperature on Earth <sup>[1]</sup>	184	-89.2 <sup>[1]</sup>	-128.6 <sup>[1]</sup>	331	284	-29	-71	-39
Fahrenheit's ice/salt mixture	255.37	-17.78	0.00	459.67	176.67	-5.87	-14.22	-1.83
Ice melts (at standard pressure)	273.15	0.00	32.00	491.67	150.00	0.00	0.00	7.50
Triple point of water	273.16	0.01	32.018	491.688	149.985	0.0033	0.008	7.50525
Average surface temperature on Earth	288	15	59	519	128	5	12	15
Average human body temperature*	310	37	98	558	95	12	29	27
Highest recorded surface temperature on Earth <sup>[2]</sup>	331	58 <sup>[2]</sup>	136.4 <sup>[2]</sup>	596	63	19	46	38
Water boils (at standard pressure)	373.1339	99.9839	211.97102 <sup>[3]</sup>	671.64102 <sup>[3]</sup>	0.00	33.00	80.00	60.00
Titanium melts	1941	1668	3034	3494	-2352	550	1334	883
The surface of the Sun	5800	5500	9900	10400	-8100	1800	4400	2900

\* Normal human body temperature is 36.8 °C ±0.7 °C, or 98.2 °F ±1.3 °F. The commonly given value 98.6 °F is simply the exact conversion of the nineteenth-century German standard of 37 °C.

Some numbers in this table have been rounded.



$$313.15 \text{ K} = 40 \text{ °C} = 104 \text{ °F} = 563.67 \text{ °Ra} = 28.5 \text{ °Rø} = 13.2 \text{ °N} = 90 \text{ °D} = 32 \text{ °Ré}$$

## 2. Electrónica

### 2.1. Leyes de Kirchhoff

#### Ley de los nodos o nudos

La suma de las intensidades de corriente eléctrica que confluyen en un nudo o nodo es nula, tomando positivas las entrantes y negativas las salientes:

$$\sum_{\text{nodos},i} I_i = 0 \quad (62)$$

#### Ley de las mallas

La suma de las fuerzas electromotrices de una malla, para conductores óhmicos, vale

$$\sum_{\text{malla},i} V_i = \sum_{\text{malla},i} R_i I_i \quad (63)$$

donde cada  $I_i$  es la intensidad que circula por la resistencia  $R_i$  siempre con un convenio adecuado, que generalmente se toma un sentido de recorrido para toda la malla, y todas las fuerzas electromotrices e intensidades se toman positivas en ese sentido.

Los circuitos básicos lineales son resistencias  $R$ , bobinas o inductancias  $L$ , y los condensadores o capacidades eléctricas (en inglés capacitors)  $C$ .

Ley de Ohm:  $V = IR$ . Efecto Joule  $P = RI^2 = V^2/R = VI$ .

$E_p(C) = Q\Delta V/2 = C\Delta V^2/2 = Q^2/2C$ .

Asociaciones en paralelo:  $C = C_1 + C_2$ ,  $R^{-1} = R_1^{-1} + R_2^{-1}$ .

Asociaciones en serie:  $C^{-1} = C_1^{-1} + C_2^{-1}$ ,  $R = R_1 + R_2$ .

Ley de Ohm generalizada:  $V_1 - V_2 = \sum R_i I_i - \sum \varepsilon_i$ .

Transformadores:  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$ .

Impedancia de resistencia óhmica:  $Z = R$ . Binómica:  $Z = R$ .

Impedancia de bobina ideal:  $Z = L\omega$ . Binómica:  $Z = L\omega j$ .

Impedancia de bobina real:  $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$ . Binómica  $Z = R + j\omega L$ .

Impedancia de condensador ideal:  $Z = (C\omega)^{-1}$ . Binómica:  $Z = -j\frac{1}{C\omega}$ .

Impedancia de condensador real:  $Z = \sqrt{R^2 + (C\omega)^{-2}}$ . Binómica:  $Z = R - j\frac{1}{C\omega}$ .

Impedancia de circuito R,L,C en serie:  $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - (C\omega)^{-1})^2}$ . Binómica:  $Z = r + j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)$ .

Existen otros circuitos más generales y no lineales. También hay diodos o triodos, y circuitos de varias puertas. Circuitos lógicos booleanos y de lógicas polivalentes.

### 2.2. Conceptos de emisión y recepción de radiofrecuencias

- Micrófono: aparato que transforma vibraciones sonoras en señales eléctricas de la misma frecuencia (audiofrecuencias).
- Amplificador: sistema que aumenta la amplitud de las señales eléctricas conservando sus características de frecuencia.
- Amplificador realimentado: sistema amplificador que usa una parte de la potencia de su señal de salida para alimentar de nuevo la entrada.

- Oscilador: sistema que genera señales eléctricas de frecuencia determinada; básicamente, es un amplificador que usa sólo como señal de entrada parte de la señal de salida.
- Modulador de amplitud: sistema que modifica la amplitud de una onda (onda portadora) de alta frecuencia, produciéndole alteraciones que siguen el patrón de una frecuencia menor (onda moduladora).
- Modulador de frecuencia: sistema que modifica la frecuencia de una onda (onda portadora), produciéndole alteraciones que siguen el patrón de una frecuencia menor (onda moduladora).
- Demodulador o detector: sistema que, a partir de una onda modulada, separa la onda moduladora de la onda portadora (y se queda con la primera, que transporta la información).
- Sintonizador: sistema capaz de seleccionar una onda portadora de determinada frecuencia (característica de una emisora) entre las diversas ondas que son captadas por la antena del receptor.
- Heterodinaje (heterodinos). Sistema de disminución de la frecuencia de una señal modulada sin perder la información que transporta.

Doctor Who?

# ϱΔΞΘΣΠΧΚΙΟ

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\heartsuit\heartsuit\rangle + |\spadesuit\spadesuit\rangle) \quad \oint_{\partial\Sigma} \Theta = \int_{\Sigma} d\Theta$$

