TEMA 1: INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA FÍSICA

Javier Bussons Gordo, Departamento de Física (UM)

21 de septiembre de 2020

INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA FÍSICA

- ¿Qué estudia la Física? Disciplinas
- Método científico
- Magnitudes físicas
- Unidades
- Incertidumbres y su propagación.
- Agradecimientos:
  Sonia Jerez Rodríguez (Física de la Tierra, Dpto. Física, UM), y José Juan Fernández Melgarejo (Física Teórica, Dpto. Física, UM)
  Juan Zúñiga Román (Dpto. de Física Atómica, Molecular y Nuclear, UV, https://www.uv.es/zuniga/tefg.htm)

¿QUÉ ESTUDIA LA FÍSICA? DISCIPLINAS.

- Gran variedad de fenómenos y objetos, desde lo MICRO hasta lo MACRO.
- En términos de fenómenos más simples (*simple is beautiful*), ordenados en el seno de teorías comprobadas.
- Disciplinas de la Física Clásica y la Física Moderna.

Física Clásica

¿Qué es la Física? Los *cómos* y *porqués* de la naturaleza

Física y Filosofía: amor a la sabiduría

Revolución científica (s. XVI y XVII)

Física y Matemáticas: el huevo y la gallina

Figure 1: A hombros de gigantes: F. Clásica

Física Clásica

- MECÁNICA (según tipo de movto. o *estado de la materia*)
  - estática (sin aceleración)
  - cinemática (movimiento sin tener en cuenta sus causas)
  - dinámica (movimiento en relación con fuerzas)
  - *sólido*
  - *fluido*: hidro/stática/dinámica; aero/stática/dinámica; neumática (equilibrio y movimiento de flujos gaseosos, aire comprimido)
- ACÚSTICA: ultrasonidos, bioacústica, electroacústica
- ÓPTICA: reflexión, refracción, interferencia, difracción, dispersión, polarización
- TERMODINÁMICA: calor y otras formas de energía
- ELECTROMAGNETISMO: electro//magneto/stática/dinámica

Física Moderna

Figure 2: A hombros de gigantes: F. Moderna

Física Moderna

Condiciones o escalas extremas (atómica, nuclear, partículas elementales). Cambian los conceptos de espacio, tiempo, materia, energía.

- TEORÍA CUÁNTICA: naturaleza discreta de los fenómenos (sub)atómicos, dualidad onda-corpúsculo.
- RELATIVIDAD (sistemas de referencia en movimiento c.r.a. observador)

  ESPECIAL (RESTRINGIDA): movimiento relativo uniforme y rectilíneo

  GENERAL: movimiento acelerado, relación con la gravedad

  CONVERGENCIA CON LA FÍSICA CLÁSICA A ESCALAS CLÁSICAS

MÉTODO CIENTÍFICO

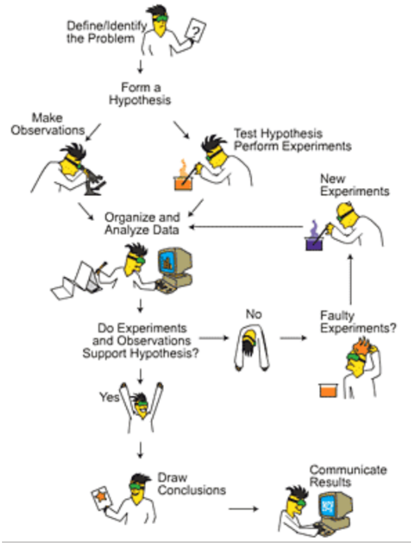


Figure 3: Método científico

- Verificar la validez de una teoría de forma **lógica, no sesgada y repetible** (predicciones verificables).
- Científicos: teóricos, fenomenologistas, experimentalistas.
- Interfaz de la Ciencia Fundamental con la Filosofía y con la Ciencia Aplicada (ingeniería, tecnología).
- Código deontológico del científico, plagio, honestidad académica.

MAGNITUDES FÍSICAS fundamentales/derivadas

Las magnitudes físicas fundamentales son aquellas que no pueden ser definidas en términos de otras magnitudes que se pueden medir, y que permiten expresar cualquier magnitud física en términos de ellas. Gracias a su combinación, las magnitudes fundamentales dan origen a las magnitudes derivadas.

Las siete magnitudes fundamentales utilizadas en Física son **la masa, la longitud, el tiempo, la temperatura, la intensidad luminosa, la cantidad de sustancia y la intensidad de corriente**.

- Extensivas: dependen del tamaño del sistema (masa, volúmen...)
- Intensivas: no dependen del tamaño del sistema (temperatura, densidad...)

- Magnitudes escalares, vectoriales o tensoriales

UNIDADES

Una unidad de medida es una cantidad estandarizada de una determinada magnitud física, definida y adoptada por convención o por ley. Cualquier valor de una cantidad física puede expresarse como un múltiplo de la unidad de medida.

El **Sistema Internacional de Unidades** (**SI**) está constituido por **siete unidades básicas**:

Masa: **kilogramo (kg)**
Longitud: **metro (m)**
Tiempo: **segundo (s)**
Temperatura: **kelvin (K)**
Intensidad luminosa: **candela (cd)**
Cantidad de sustancia: **mol (mol)**
Intensidad de corriente: **amperio (A)**

Algunas **unidades derivadas** reciben un nombre propio, por ejemplo:

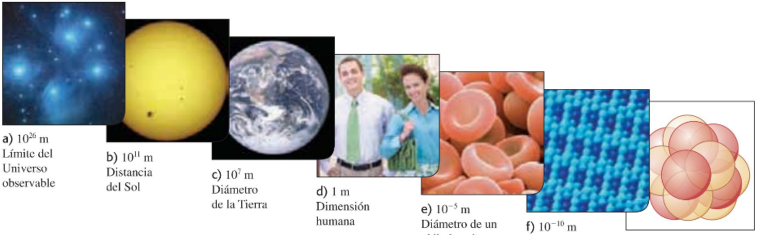
Fuerza: **newton (N)**
Presión: **pascal (Pa)**
Energía: **julio (J)**
Carga eléctrica: **culombio (C)**
Ángulo: **radian (rad)**

Ver redefinición S.I. en 2019 usando h, e, k_B, N_A
Ver análisis dimensional y de orden de magnitud.

UNIDADES

Prefijo		Símbolo	Factor	Equivalente
Múltiplos	Exa	E	10^{18}	1000000000000000000
	Peta	P	10^{15}	1000000000000000
	Tera	T	10^{12}	1000000000000
	Giga	G	10^{9}	1000000000
	Mega	M	10^{6}	1000000
	Kilo	k	10^{3}	1000
	Hecto	h	10^{2}	100
	Deca	da	10^{1}	10

Prefijo		Símbolo	Factor	Equivalente
Submúltiplos	Deci	d	10^{-1}	0.1
	Centi	c	10^{-2}	0.01
	Mili	m	10^{-3}	0.001
	Micro	µ	10^{-6}	0.000001
	Nano	n	10^{-9}	0.000000001
	Pico	p	10^{-12}	0.000000000001
	Femto	f	10^{-15}	0.000000000000001
	Atto	a	10^{-18}	0.000000000000000001



a) 10^{26} m Límite del Universo observable

b) 10^{11} m Distancia del Sol

c) 10^{7} m Diámetro de la Tierra

d) 1 m Dimensión humana

e) 10^{-5} m Diámetro de un glóbulo rojo

f) 10^{-10} m Radio de un átomo

g) 10^{-14} m Radio de un núcleo atómico

INCERTIDUMBRES (*errores*)

- sistemáticas
- precisión instrumental (medidas directas)
- aleatorias (proceso de medida)
- propagación
- cifras significativas
- notación científica

INCERTIDUMBRES (reglas de escritura)

Magnitud $=$ mejor estimador $\pm$ incertidumbre

- Incertidumbre: una cifra significativa (o dos, si la primera es un 1).
- Mismo número de decimales en magnitud e incertidumbre (la última cifra significativa del valor de la magnitud debe ser del mismo orden de magnitud, en la misma posición decimal, que el de la incertidumbre.
- Redondeo: 0, 1, 2, 3, 4 hacia abajo; **5**, 6, 7, 8, 9 hacia arriba.

Incorrecto	Correcto
585842 ± 2118	$586000 \pm 2000 = (586 \pm 2) \cdot 10^{3}$
0.35 ± 2	0 ± 2
$(6.99 \pm 0.57) \cdot 10^{-6}$	$(7.0 \pm 0.6) \cdot 10^{-6}$
0.001722 ± 0.000312	$0.0017 \pm 0.0003 = (1.7 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$
$(8.5673 \pm 0.157) \cdot 10^{-4}$	$(8.57 \pm 0.16) \cdot 10^{-4}$
23.5 ± 0.0042	$23.500 \pm 0.004 = (23500 \pm 4)\ 10^{-3}$

MEDIDAS DIRECTAS (error aleatorio)

- Usamos el promedio como mejor estimador.
- Instrumentos de poca sensibilidad (valor más pequeño que puede ser medido) Se realiza una sola medida (otra para confirmar) y se toma como incertidumbre la sensibilidad del aparato Δ_{ins}.
- Instrumentos de alta sensibilidad Se realizan 3 ó más medidas y se ve el porcentaje de dispersión:

$$D = \frac{|t_{max} - t_{min}|}{\bar{t}} \times 100$$

Si $D \leq 2\%$, valen 3 medidas; si $2\% < D \leq 8\%$, se toman otras 3; si $D > 8\%$, conviene tomar 10 ó 15 medidas (distribución gaussiana).

MEDIDAS DIRECTAS (continuación)

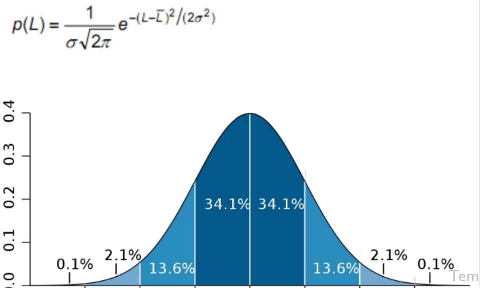
- Incertidumbre (error) en el promedio:

Si se han tomado 6 (9) medidas o menos, podemos calcular el rango reducido:

$$\Delta = \frac{3\,\left|t_{max} - t_{min}\right|}{n}$$

y tomar como error el mayor de entre Δ y Δ_{ins}.

Si se han tomado más de 6 medidas: $\epsilon(\overline{t}) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$



$$\boxed{L = \overline{L} \pm \sigma}$$

$$\overline{L} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left(L_i - \overline{L}\right)^2}{n-1}}$$

MEDIDAS DIRECTAS (ejemplo)

Realizamos 10 medidas del tiempo de caída libre de un objeto con un instrumento cuya precisión es de 0,1s y obtenemos los resultados que se muestran en la tabla.

¿Cuál es el tiempo estimado de caída libre del objeto?

$$\boxed{\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}{n} = \frac{249}{10} = 24{,}9\,s}$$

¿Cuál es el error de esa estimación?

$$\boxed{max|t_i - t_j|} = 2{,}4\,s > 0{,}1\,s$$

ERROR ABSOLUTO

Nº de medida	Tiempo, t_i (s)
# 1	24,5
# 2	26,1
# 3	23,9
# 4	24,7
# 5	25,3
# 6	26,2
# 7	24,9
# 8	23,8
# 9	24,2
# 10	25,4

¿Cómo gestionamos el factor "torpeza"?

MEDIDAS DIRECTAS (ejemplo)

Nº de medida	Tiempo, t_i (s)	$t_i - \bar{t}$ (s)	$(t_i - \bar{t})^2$ (s^2)
# 1	24,5	-0,4	0,16
# 2	26,1	1,2	1,44
# 3	23,9	-1	1
# 4	24,7	-0,2	0,04
# 5	25,3	0,4	0,16
# 6	26,2	1,3	1,69
# 7	24,9	0	0
# 8	23,8	-1,1	1,21
# 9	24,2	-0,7	0,49
# 10	25,4	0,5	0,25
	$\sum_{i=1}^{i=n} t_i = 249$		$\sum_{i=1}^{i=n} (t_i - \bar{t})^2 = 6{,}44$
	$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}{n} = \frac{249}{10} = 24{,}9\,s$		$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = 0{,}85 \approx 0{,}9$

MEDIDAS INDIRECTAS

Magnitudes calculadas a partir de los valores encontrados en las medidas de otras magnitudes.

- Conocemos $x \pm \delta x,\ y \pm \delta y,\ \ldots$
- Calculamos $q = f(x, y, \ldots)$

Propagación de errores: conjunto de reglas que permiten asignar un error a q, conocidas las incertidumbres de x, y, ...
Importancia relativa de las diferentes medidas directas.

- Medidas dependientes.- Hipótesis pesimista. Siempre en la situación más desfavorable. Conjunto de reglas prácticas.
- Medidas independientes.- Errores cuadráticos medios. Fórmula general de propagación.

MEDIDAS INDIRECTAS: hipótesis más desfavorable

Tomemos la suma $q = x + y$:

Valor máximo: $q_M = x + \delta x + y + \delta y = (x + y) + (\delta x + \delta y)$

Valor mínimo: $q_m = x - \delta x + y - \delta y = (x + y) - (\delta x + \delta y)$

El error *absoluto* en la suma $q = (x + y)$ es, pues, $\delta q = \delta x + \delta y$.

Comprueba que sucede lo mismo con la RESTA.

MEDIDAS INDIRECTAS: hipótesis más desfavorable

Tomemos el producto $q = xy$ y escribamos $x \pm \delta x = x\left(1 \pm \frac{\delta x}{|x|}\right)$:

Valor máximo
$q_M = x\left(1 + \frac{\delta x}{|x|}\right) y \left(1 + \frac{\delta y}{|y|}\right) \approx xy\left(1 + \frac{\delta x}{|x|} + \frac{\delta y}{|y|}\right)$, donde hemos despreciado un término.

Valor mínimo
$q_m = x\left(1 - \frac{\delta x}{|x|}\right) y \left(1 - \frac{\delta y}{|y|}\right) \approx xy\left(1 - \left[\frac{\delta x}{|x|} + \frac{\delta y}{|y|}\right]\right)$.

El error absoluto del producto es $\delta q = \pm xy\left[\frac{\delta x}{|x|} + \frac{\delta y}{|y|}\right]$ y, por tanto, el error *relativo* del producto es la suma de los errores relativos: $\frac{\delta q}{|q|} \approx \frac{\delta x}{|x|} + \frac{\delta y}{|y|}$

Comprueba que sucede lo mismo con la DIVISIÓN.

MEDIDAS INDIRECTAS: hipótesis más desfavorable

De manera análoga se obtiene:

Si $q = nx$ con n constante, entonces $\delta q = |k|\ \delta x$.

Si $q = x^n$, entonces $\frac{\delta q}{|q|} = |n|\ \frac{\delta x}{|x|}$

Analiticamente podemos resumir así: $q = f(x, y) \Rightarrow \delta q = f(x + \delta x,\ y + \delta y) - f(x, y) \approx \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right| \delta x + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right| \delta y$

MEDIDAS INDIRECTAS: hipótesis razonable (independientes)

Las reglas anteriores suponen una sobreestimación del error, puesto que siempre nos situamos en el caso más desfavorable (en el ejemplo de la suma, el máximo valor posible, q_M, se alcanza cuando nos equivocamos máxima y simultáneamente en x y en y, lo que es altamente improbable si las medidas son aleatorias e independientes).

En este caso, la hipótesis pesimista es exagerada. Los errores se cancelan parcialmente por lo que se propagan cuadráticamente.

Sean las medidas de $x, y, \cdots, w$ con errores $\delta x, \delta y, \cdots, \delta w$ usadas para calcular :

$$q = f(x, y, \cdots, w)$$

Si los errores son independientes y aleatorios, entonces el error de z es la suma en cuadratura

$$\delta q = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\delta y\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial w}\delta w\right)^2}$$

MEDIDAS INDIRECTAS: errores en cuadratura

Función	Errores	Error
$q = kx$	$x \pm \delta(x)$	$\delta(q) = k\delta(x)$
$q = \pm x \pm y \pm \cdots$	$x \pm \delta(x) \quad y \pm \delta(y)$	$\delta(q) = \sqrt{[\delta(x)]^2 + [\delta(y)]^2 + \cdots}$
$q = kx^{\alpha} y^{\beta} \cdots$	$x \pm \delta(x) \quad y \pm \delta(y)$	$\dfrac{\delta q}{\lvert q \rvert} = \sqrt{\left[\alpha \dfrac{\delta x}{\lvert x \rvert}\right]^2 + \left[\beta \dfrac{\delta y}{\lvert y \rvert}\right]^2 + \cdots}$

PROPAGACIÓN Y CIFRAS SIGNIFICATIVAS

Operación matemática	**Cifras significativas en el resultado**
Multiplicación o división	No más que en el número que tiene menos cifras significativas *Ejemplo:* $(0.745 \times 2.2)/3.885 = 0.42$ *Ejemplo:* $(1.32578 \times 10^7) \times (4.11 \times 10^{-3}) = 5.45 \times 10^4$
Suma o resta	Lo determina el número con mayor incertidumbre (es decir, el menor número de dígitos a la derecha del punto decimal) *Ejemplo:* $27.153 + 138.2 - 11.74 = 153.6$

RESUMEN PROPAG (lineal-pesim vs cuadrática)

Relación	Error
$u = Cx$	$\Delta u = \|C\|\Delta x$
$u = x \pm y$	$\Delta u = \Delta x + \Delta y$
$u = Ax + By + Cz + \ldots$	$\Delta u = \|A\|\Delta x + \|B\|\Delta y + \|C\|\Delta z + \ldots$
$u = xy$ o $u = x/y$	$\Delta u/\|u\| = \Delta x/\|x\| + \Delta y/\|y\|$
$u = x^n$	$\Delta u/\|u\| = \|n\|\Delta x/\|x\|$
$u = Cx^l y^m z^n \ldots$	$\Delta u/\|u\| = \|l\|\Delta x/\|x\| + \|m\|\Delta y/\|y\| + \|m\|\Delta z/\|z\| + \ldots$
$u = u(x)$	$\Delta u = \|\mathrm{d}u/\mathrm{d}x\|\Delta x$
$u = u(x_1, \ldots, x_n)$	$\Delta u = \sum_i \|\partial u/\partial x_i\| \Delta x_i$

Relación	Error
$u = Cx$	$\sigma_u^2 = C^2\sigma_x^2$
$u = x \pm y$	$\sigma_u^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$
$u = Ax + By + Cz + \ldots$	$\sigma_u^2 = A^2\sigma_x^2 + B^2\sigma_y^2 + C^2\sigma_z^2 + \ldots$
$u = xy$ o $u = x/y$	$\sigma_u^2/u^2 = \sigma_x^2/x^2 + \sigma_y^2/y^2$
$u = x^n$	$\sigma_u^2/u^2 = n^2\sigma_x^2/x^2$
$u = Cx^l y^m z^n \ldots$	$\sigma_u^2/u^2 = l^2\sigma_x^2/x^2 + m^2\sigma_y^2/y^2 + m^2\sigma_z^2/z^2 + \ldots$
$u = u(x)$	$\sigma_u^2 = (\mathrm{d}u/\mathrm{d}x)^2\sigma_x^2$
$u = u(x_1, \ldots, x_n)$	$\sigma_u^2 = \sum_i (\partial u/\partial x_i)^2 \sigma_{x_i}^2$

EJERCICIO CIFRAS SIGNIFICATIVAS

Números incorrectos
$0{,}002833 \pm 0{,}000215$
485873 ± 3229
$(3{,}99 \pm 0{,}28) \times 10^{-6}$
$(4{,}1234 \pm 0{,}129) \times 10^{3}$
$7{,}3 \pm 0{,}006$