Physics: The Complete Course



Física: el curso completo

The Complete Course — Bilingual Edition

El curso completo — Edición bilingüe

Maikel Caballero

MKLDesignsShop · mkldesignsshop.com

programas, estudiantes que se preparan para exámenes de ingreso o profesionales, y autodidactas que quieren un curso completo y honesto en vez de un resumen. Cada unidad es una clase real, no un esquema. Cada lección explica la idea primero en lenguaje sencillo, presenta la ecuación que la gobierna y después resuelve ejemplos numéricos paso a paso, mostrando cada sustitución para que usted pueda seguir —y comprobar— cada línea.

El inglés va primero y el español sigue como espejo fiel: las mismas explicaciones, los mismos ejemplos y los mismos números en ambas lenguas. Usted puede estudiar en la lengua en la que será examinado, comprobar su comprensión en la otra y construir el vocabulario técnico de la física en ambas. Un glosario bilingüe cierra cada unidad, y un glosario completo al final del libro reúne todos los términos de la A a la Z.

Cómo usar este libro: lea la lección, estudie los ejemplos resueltos con lápiz en mano y después intente la práctica antes de mirar la clave de respuestas. Cada unidad termina con diez preguntas de selección múltiple, cinco de respuesta corta, una clave verificada, un resumen de fórmulas y una breve caja de «la física en la vida real» que conecta las ideas con los autos, los hospitales, los hogares, los deportes y el cielo sobre Florida y Puerto Rico. Trabaje unidad por unidad y en orden: las unidades posteriores usan las herramientas de las anteriores, en especial los vectores (Unidad 1), las leyes de Newton (Unidad 3) y la energía (Unidad 4).

Una nota sobre los números: cada ejemplo resuelto y cada respuesta de este libro se calculó dos veces —una directamente y otra comprobando unidades, dimensiones o sustituyendo de vuelta en la ecuación original—. Las constantes físicas siguen los valores publicados por el NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EE. UU.): $g = 9.8\ \text{m/s}^2$ cerca de la superficie terrestre, $c = 3.00\times10^{8}\ \text{m/s}$, $G = 6.67\times10^{-11}\ \text{N·m}^2/\text{kg}^2$, $k = 8.99\times10^{9}\ \text{N·m}^2/\text{C}^2$, $h = 6.63\times10^{-34}\ \text{J·s}$ y $e = 1.60\times10^{-19}\ \text{C}$. Donde se necesita un diagrama, el texto lo describe con la marca

para que la idea nunca dependa de una figura con datos inventados.

Unit 1 — Measurement, Units and Vectors · Medición, unidades y vectores

Introduction · Introducción

Every physics problem begins with a measurement, and every measurement is a number plus a unit. This unit builds the three tools you will use in all twelve units that follow: the SI system of units and how to convert between units, significant figures (how many digits of a measurement are trustworthy), and vectors — quantities that have direction as well as size, such as displacement and force. Master these tools now and the rest of the course becomes much easier.

Todo problema de física comienza con una medición, y toda medición es un número más una unidad. Esta unidad construye las tres herramientas que usted usará en las doce unidades siguientes: el sistema SI de unidades y cómo convertir entre unidades, las cifras significativas (cuántos dígitos de una medición son confiables) y los vectores —cantidades que tienen dirección además de tamaño, como el desplazamiento y la fuerza—. Domine estas herramientas ahora y el resto del curso se vuelve mucho más fácil.

Lesson 1.1 — SI Units, Conversions and Significant Figures · Unidades SI, conversiones y cifras significativas

The International System of Units (SI) rests on seven base units: the metre (m) for length, the kilogram (kg) for mass, the second (s) for time, the ampere (A) for electric current, the kelvin (K) for temperature, the mole (mol) for amount of substance and the candela (cd) for luminous intensity. Every other unit is derived from these: speed is m/s, force is the newton (1 N = 1 kg·m/s²), energy is the joule (1 J = 1 kg·m²/s²). Prefixes scale the base units: kilo- (k) means 10^3, centi- (c) means 10^{-2} and milli- (m) means 10^{-3}, so 1 km = 1,000 m and 1 ms = 0.001 s.

To convert units, multiply by a conversion factor — a fraction equal to 1, such as (1,000 m)/(1 km) — arranged so the unwanted unit cancels. This is called dimensional analysis, and it doubles as an error check: if the units do not cancel to the unit you want, the setup is wrong. Significant figures record the precision of a measurement: 8.0 km claims two significant figures; 8.045 km claims four. In multiplication and division, the result keeps as many significant figures as the least precise factor. In this book we normally report three significant figures.

Example 1. A car on Interstate 95 near Jacksonville travels at 72 km/h. Express this speed in m/s. Solution: 72 km/h × (1,000 m / 1 km) × (1 h / 3,600 s) = 72 × 1,000 / 3,600 m/s = 72,000 / 3,600 = **20 m/s**. Check: 1 m/s = 3.6 km/h, and 20 × 3.6 = 72 km/h ✓. The units cancelled to m/s ✓.

Example 2. A family drives 5.0 miles from their home to the beach. How many kilometres is that? Use 1 mile = 1.609 km. Solution: 5.0 mi × 1.609 km/mi = 8.045 km ≈ **8.0 km** (two significant figures, matching 5.0). Check: 8.045 / 1.609 = 5.0 mi ✓.

El Sistema Internacional de Unidades (SI) descansa en siete unidades base: el metro (m) para la longitud, el kilogramo (kg) para la masa, el segundo (s) para el tiempo, el amperio (A) para la corriente eléctrica, el kelvin (K) para la temperatura, el mol (mol) para la cantidad de

sustancia y la candela (cd) para la intensidad luminosa. Toda otra unidad se deriva de estas: la rapidez es m/s, la fuerza es el newton (1 N = 1 kg·m/s²), la energía es el julio (1 J = 1 kg·m²/s²). Los prefijos escalan las unidades base: kilo- (k) significa 10^3, centi- (c) significa 10^{-2} y mili- (m) significa 10^{-3}, así que 1 km = 1,000 m y 1 ms = 0.001 s.

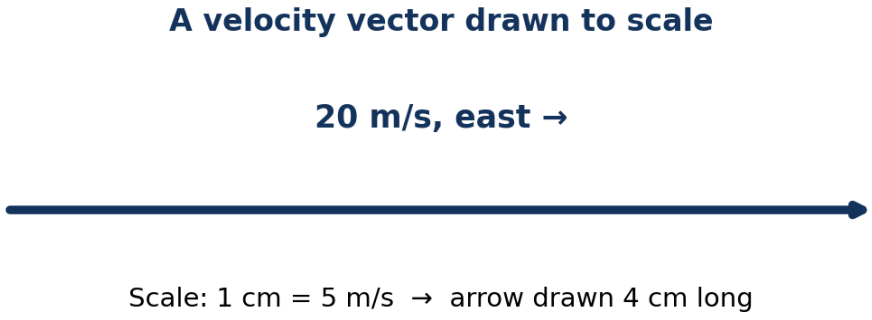
Para convertir unidades, se multiplica por un factor de conversión —una fracción igual a 1, como (1,000 m)/(1 km)— ordenado para que la unidad no deseada se cancele. Esto se llama análisis dimensional, y sirve además como comprobación de errores: si las unidades no se cancelan hasta la unidad buscada, el planteamiento está mal. Las cifras significativas registran la precisión de una medición: 8.0 km declara dos cifras significativas; 8.045 km declara cuatro. En multiplicación y división, el resultado conserva tantas cifras significativas como el factor menos preciso. En este libro normalmente reportamos tres cifras significativas.

Ejemplo 1. Un auto en la Interestatal 95 cerca de Jacksonville viaja a 72 km/h. Exprese esta rapidez en m/s. Solución: 72 km/h × (1,000 m / 1 km) × (1 h / 3,600 s) = 72 × 1,000 / 3,600 m/s = 72,000 / 3,600 = **20 m/s**. Comprobación: 1 m/s = 3.6 km/h, y 20 × 3.6 = 72 km/h ✓. Las unidades se cancelaron a m/s ✓.

Ejemplo 2. Una familia maneja 5.0 millas desde su casa hasta la playa. ¿Cuántos kilómetros son? Use 1 milla = 1.609 km. Solución: 5.0 mi × 1.609 km/mi = 8.045 km ≈ **8.0 km** (dos cifras significativas, como 5.0). Comprobación: 8.045 / 1.609 = 5.0 mi ✓.

Lesson 1.2 — Scalars and Vectors · Escalares y vectores

A scalar is a quantity described by a magnitude (size) alone: mass 70 kg, temperature 36.5 °C, speed 20 m/s. A vector has magnitude and direction: displacement 5 km north, velocity 20 m/s east, force 50 N upward. We draw a vector as an arrow whose length represents the magnitude and whose head points in the direction.



Vectors in opposite directions carry opposite signs once you choose a positive direction: if east is positive, a velocity of −20 m/s means 20 m/s west. [EN] Two vectors can be equal even if they start at different points, as long as magnitude and direction match. The negative of a vector has the same magnitude and the opposite direction. A vector's magnitude is always zero or positive; the sign in one-dimensional work belongs to the direction convention, not to the size.

Example 1. A delivery driver in San Juan drives 3.0 km east and then 4.0 km north. What is the magnitude of the total displacement? Solution: the two legs form a right triangle, so by Pythagoras: d = √(3.0² + 4.0²) = √(9 + 16) = √25 = **5.0 km**. Check: 5.0 lies between the longer leg (4.0) and the sum of the legs (7.0) ✓ — a resultant is always in that range.

Example 2. A boat's velocity is 12 m/s north. Using north as positive, write the velocity of an identical boat travelling at the same speed south. Solution: same magnitude, opposite direction → **−12 m/s**. Check: the magnitude |−12| = 12 m/s, unchanged ✓.

Un escalar es una cantidad descrita solo por una magnitud (tamaño): masa 70 kg, temperatura 36.5 °C, rapidez 20 m/s. Un vector tiene magnitud y dirección: desplazamiento 5 km al norte, velocidad 20 m/s al este, fuerza 50 N hacia arriba. Dibujamos un vector como una flecha cuya longitud representa la magnitud y cuya punta señala la dirección.

A velocity vector drawn to scale

20 m/s, east →



Scale: 1 cm = 5 m/s → arrow drawn 4 cm long

Los vectores en direcciones opuestas llevan signos opuestos una vez que usted elige una dirección positiva: si el este es positivo, una velocidad de −20 m/s significa 20 m/s al oeste. [ES] Dos vectores pueden ser iguales aunque empiecen en puntos distintos, siempre que coincidan magnitud y dirección. El negativo de un vector tiene la misma magnitud y la dirección opuesta. La magnitud de un vector siempre es cero o positiva; el signo en el trabajo unidimensional pertenece a la convención de dirección, no al tamaño.

Ejemplo 1. Un repartidor en San Juan maneja 3.0 km al este y después 4.0 km al norte. ¿Cuál es la magnitud del desplazamiento total? Solución: los dos tramos forman un triángulo rectángulo, así que por Pitágoras: d = √(3.0² + 4.0²) = √(9 + 16) = √25 = **5.0 km**. Comprobación: 5.0 está entre el tramo mayor (4.0) y la suma de los tramos (7.0) ✓ —una resultante siempre está en ese rango—.

Ejemplo 2. La velocidad de un bote es 12 m/s al norte. Usando el norte como positivo, escriba la velocidad de un bote idéntico que viaja a la misma rapidez hacia el sur. Solución: misma magnitud, dirección opuesta → **−12 m/s**. Comprobación: la magnitud |−12| = 12 m/s, sin cambio ✓.

Lesson 1.3 — Vector Components and Addition · Componentes y suma de vectores

Any vector can be split into perpendicular components. For a vector of magnitude A at an angle θ above the horizontal: $A_x = A \cos\theta$ and $A_y = A \sin\theta$. To add vectors: (1) resolve each into x and y components, (2) add all x components and all y components separately, (3)