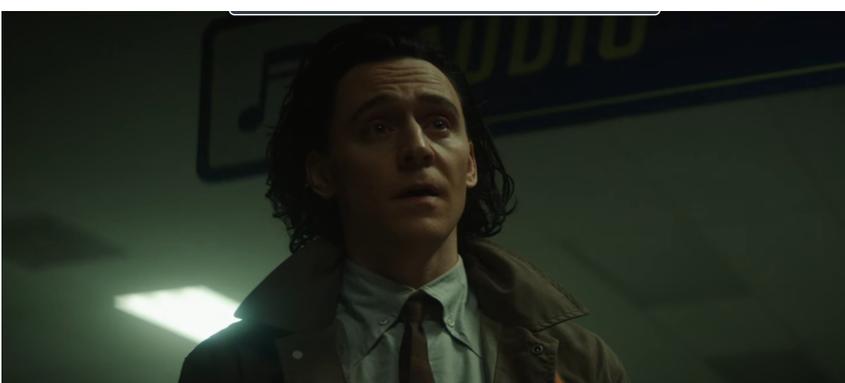


Conceptos de Física

Loki

Resumen

Resumen de Física de preuniversidad y Física General.



Índice

1. El Mundo Físico	4
1.1. Fuerzas fundamentales de la Naturaleza	4
1.2. Principios de la Ciencia y la Tecnología	5
2. Unidades y medidas	6
2.1. Cifras significativas	6
2.2. Unidades	6
3. Movimiento(I)	7
4. Movimiento(II): movimiento plano	8
5. Movimiento (III): Leyes de Newton del movimiento	8
6. Trabajo, energía y potencia	9
7. Sistemas de partículas y movimiento rotacional	9
8. Gravitación	10
9. Propiedades mecánicas de los sólidos	11
9.1. Ley de Hooke, energía, tensión y deformación	11
9.2. Elasticidad	11
10. Propiedades mecánicas de los fluidos	12
11. Propiedades térmicas de la materia	13
12. Termodinámica	14
13. Teoría cinética	16
13.1. Gases ideales	16
13.2. Teoría cinética y estadística	16
14. Oscilaciones	17
14.1. MAS: Movimientos Armónicos Simples	17
14.2. Otros tipos de osciladores	17
15. Ondas	18
15.1. Propiedades generales y ondas armónicas	18
15.2. Ondas estacionarias	18
15.3. Superposición y tipos de ondas	19
15.4. Otras ondas	19
16. Campo eléctrico y fuerzas	20
16.1. Fuerza eléctrica y campo	20
16.2. Dipolos y otras fórmulas	21
17. Potencial electrostático y capacitancia	21
18. Corriente eléctrica y resistencia	22
19. Magnetismo y cargas en movimiento	23
20. Magnetismo y materia	23
21. Inducción electromagnética	24
22. Corriente alterna	25

23.Ondas electromagnéticas	26
24.Óptica de rayos e instrumentos ópticos	27
25.Óptica ondulatoria	27
26.Relatividad Especial	29
27.Relatividad General y Cosmología	30
28.Dualidad onda-partícula y Física Cuántica	30
29.Átomos	31
30.Núcleos	31
31.Partículas subatómicas y el Modelo Estándar	32
32.Electrónica de semiconductores	33
33.Extras de Física Cuántica	34

1. El Mundo Físico

1.1. Fuerzas fundamentales de la Naturaleza

Fuerza gravitacional

- Fuerza de atracción mutua entre dos objetos cualesquiera en virtud de sus masas.
- Rol clave: las escalas más grandes (y probablemente, las más pequeñas).
- Los fenómenos del Universo, como la formación y evolución de estrellas, galaxias y cúmulos galácticos, se deben a fuerzas gravitacionales.
- $F_N = G_N \frac{Mm}{r^2}$, fuerza gravitacional newtoniana.
- La gravedad cuántica debería estar mediada por gravitones.

Fuerza electromagnética

- Fuerza entre cargas eléctricas, estáticas o en movimiento.
- Tanto atractivas como repulsivas.
- Aproximadamente 10^{36} más fuerte que la gravedad en comparación con la fuerza eléctrica y la fuerza gravitacional de 2 protones, para cualquier distancia fija.
- Ley de Coulomb: $F_C = K_C \frac{Qq}{r^2}$.
- Fuerza magnética: $F_m = q\vec{v} \times \vec{B}$.
- Fuerza magnética para corrientes: $\vec{F} = K_m \frac{\oint \oint I I' d\vec{l} \times (d\vec{l}' \times \vec{r})}{r^3}$.
- Debido a los fotones (sin masa).

Fuerza nuclear fuerte

- Alcance muy corto, la fuerza más intensa.
- Atractivo por naturaleza.
- Rango $10^{-18}m$ o menos.
- La más fuerte de todas las fuerzas fundamentales conocidas.
- Debido a los intercambios de gluones (sin masa) entre quarks. Se describe una teoría eficaz, pero hay intercambios mesónicos (masivos).

Fuerza nuclear débil

- Fuerza nuclear de muy corto alcance, $10^{-16}m$ o menos.
- Responsable de la desintegración radiactiva y el cambio de sabor.
- No tan débil como la gravedad, pero mucho más débil que la fuerza nuclear fuerte y las fuerzas electromagnéticas (aproximadamente $10^3 - 10^5$ veces más débiles que estas).
- Debido a los intercambios de bosones vectoriales débiles masivos W, Z.
- Indica indirectamente la existencia de un campo escalar responsable de sus masas gauge no nulas. El campo de Higgs es en realidad otro campo, además de los otros cuatro, responsable de ajustar las masas de las partículas elementales fundamentales. Razón de la masa: interacciones con las partículas/campo de Higgs. Mecanismo similar a la superconductividad: ruptura espontánea de la simetría.

1.2. Principios de la Ciencia y la Tecnología

Ciencia

- Física: Estudio de las leyes básicas de la Naturaleza y su manifestación en diferentes fenómenos naturales.
- La Física es una ciencia experimental, pero utiliza las Matemáticas como lenguaje central.
- Principios: Unificación y Reduccionismo. La unificación intenta explicar diversos fenómenos físicos en términos de los mismos conceptos y leyes. El reduccionismo intenta derivar las propiedades de sistemas más grandes y complejos a partir de las propiedades de sus componentes o partes más simples.
- Ramas: Física Clásica (fenómenos macroscópicos como Mecánica, Electrodinámica, Óptica, Termodinámica, Fluidos, etc.), Física Cuántica (se ocupa de fenómenos microscópicos a escalas muy pequeñas, como átomos, moléculas, núcleos o partículas subatómicas).
- Patrones: Se dice que cualquier tema es ciencia cuando se estudia en patrones secuenciales y la hipótesis se comprueba mediante experimentos, lógica o simulaciones computacionales. Experimentar, observar, explorar, predecir, comprobar los datos y elaborar teorías son esenciales para el método científico.

Método científico y tecnología

- Observaciones sistemáticas, experimentos controlados, razonamiento cualitativo y cuantitativo, modelado matemático, predicción y verificación o refutación de teorías.
- La tecnología da lugar a nueva física. De igual manera, la física da lugar a nuevas tecnologías.

2. Unidades y medidas

2.1. Cifras significativas

Números y cifras

- Las medidas se proporcionan mediante números. Generalmente se utilizan números reales.
- Los dígitos de un número que se utilizan para expresar con el grado de precisión requerido.
- Se utiliza la notación científica $x.y_1y_2 \cdots 10^{\pm n}$.
- Todos los dígitos distintos de cero son significativos.
- Todos los ceros entre dos dígitos distintos de cero.
- Si el número es menor que 1, el/los cero(s) a la derecha de la coma decimal pero a la izquierda del cero no decimal no son significativos.
- Los ceros terminales o finales en un número sin coma decimal no son significativos. Por ejemplo: 020342.010 (7s.f.).

2.2. Unidades

Unidades y dimensiones

- La comparación con un determinado estándar de referencia internacionalmente aceptado se denomina unidad.
- Estándar de referencia utilizado para medir magnitudes físicas.
- La expresión que muestra cómo y cuáles de las magnitudes base representan las dimensiones de una magnitud física se denomina fórmula de dimensión. Por ejemplo: fuerza= $[MLT^{-2}]$.

Medición y experimentos

- La medición se caracteriza por su precisión y exactitud.
- La precisión es el límite de resolución de la magnitud medida. La precisión está relacionada con la desviación estándar de las mediciones y los límites de los dispositivos experimentales que miden magnitudes.
- La exactitud es la proximidad del valor medido al valor real. La exactitud se calcula como errores relativos y absolutos.

Errores

- Error absoluto: $\Delta_a X = |x_i - \bar{x}|$. Promedio: $\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{n}$.
- Error relativo: $\Delta_r X = \frac{\Delta_a X}{\bar{x}} \cdot 100$.
- Combinación de errores: $\Delta Z = \Delta A \pm \Delta B$ para $Z = A \pm B$.
- Combinación de errores (II): $\frac{\Delta Z}{Z} = \left(\frac{\Delta A}{A}\right) + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)$ para $Z = A/B$ o $Z = AB$.
- Combinación de errores (III): $\frac{\Delta Z}{Z} = p \left(\frac{\Delta A}{A}\right) + q \left(\frac{\Delta B}{B}\right) + r \left(\frac{\Delta C}{C}\right)$ para $Z = A^p B^q / C^r$.
- Combinación de errores: error promedio. $\varepsilon(\bar{x}) = \frac{\sigma(x_i)}{\sqrt{n}}$
- Combinación de errores (V): Una combinación mucho mejor es tomar cuadraturas en sigmas o errores individuales del promedio.

Sistemas de unidades

- Unidades fundamentales (S.I.): Masa, Longitud, Tiempo, Temperatura, Cantidad de sustancia, Corriente eléctrica, Intensidad luminosa. Unidades: kilogramo, metro, segundo, kelvin, mol, amperio, candela.
- Las unidades que no son básicas se derivan de unidades básicas. Por ejemplo: velocidad, aceleración, fuerza, presión....
- Magnitudes como el ángulo plano y el ángulo sólido tienen como unidades el radián y el estereorradián, pero son adimensionales.
- Las propiedades de la materia y la energía requieren ciertas constantes universales: aceptación universal, no percederas, bien definidas, inalteradas en el tiempo y el espacio.
- Sistema común de unidades: CGS (cm, g, s), FPS (pie, libra, segundo), MKS (metro, kilogramo, segundo), S.I.

3. Movimiento(I)

Movimiento rectilíneo

- Velocidad media: $\vec{v}_M = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$.
- Velocidad instantánea: $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{v}_M = \frac{d\vec{r}}{dt}$.
- Aceleración media: $\vec{a}_M = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$.
- Aceleración instantánea $\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{a}_M = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \right) = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$.

Velocidad relativa y movimiento uniforme

- Vector de velocidad relativa $\vec{v}_{AB} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$.
- Ecuaciones del movimiento uniforme:
 $\vec{a} = \overrightarrow{const.}, \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}\Delta t, \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0\Delta t + \frac{1}{2}\vec{a}\Delta t^2, v^2 = v_0^2 + 2\vec{a} \cdot \Delta\vec{r}$.

4. Movimiento(II): movimiento plano

Vectores y componentes

- Vectores planos: $\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j}$. Coordenadas polares: $v_x = v \cos \theta, v_y = v \sin \theta, v^2 = v_x^2 + v_y^2$.
- Vectores espaciales (3d): $\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$. Ángulos del director: $v_x = v \cos \gamma, v_y = v \cos \beta, v_z = v \cos \alpha$, con $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$.
- Coordenadas intrínsecas en el plano: $\vec{v} = v\vec{\tau}, \vec{a} = a_n\vec{n} + a_\tau\vec{\tau}$. $a_n = \frac{v^2}{R}, a_\tau = \frac{dv}{dt}, a^2 = a_n^2 + a_\tau^2$.
- Módulo de un vector 2d: $v = +\sqrt{v_x^2 + v_y^2}$. Módulo de un vector 3d: $v = +\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$.
- Caída libre: $y = y_0 - \frac{gt^2}{2}$.
- Movimiento parabólico (balística): $x = (v_0 \cos \theta)t, y = (v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2$.
- Ecuación de trayectoria para el movimiento parabólico: $y = x \tan \theta - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta}x^2$. Tiempo de vuelo: $T = \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$.
- Movimiento parabólico: a) Altura máxima: $y_m = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$, b) Alcance máximo: $x_m = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$.

5. Movimiento (III): Leyes de Newton del movimiento

Leyes de Newton

- Primera ley: $\frac{\vec{F}_1}{a_1} = \frac{\vec{F}_2}{a_2} = \dots = \frac{\vec{F}_n}{a_n} = m$. Existen sistemas inerciales donde se cumplen las mismas leyes del movimiento.
- Segunda ley: $\sum \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$.
- Tercera ley: $\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$.
- Fuerza centrípeta: $F_c = \frac{mv^2}{R}$.
- Conservación del momento: $\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i$ siempre que no se aplique fuerza neta. $\vec{p} = m\vec{v}$.
- Fricción estática: $F_r = \mu_s N$. Fricción cinética: $F_d = \mu_d N$. $F_r < F_k < F_s$.
- Automóvil en peralte: $v_m = \left(Rg \frac{\mu_s + \tan \theta}{1 - \mu_s \tan \theta} \right)^{1/2}$. Sin fricción: $v_m = Rg \tan \theta$.

6. Trabajo, energía y potencia

Trabajo y energía

- $dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$. $W = \int_C \vec{F} \cdot d\vec{r}$.
- Para $\vec{F} = m\vec{a}$, $dW = \Delta E_c$. $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$, energía cinética.
- Energía mecánica: $E_m = E_c + E_p$.
- Energía potencial: $\vec{F} = -\nabla E_p$. Equivalencia masa-energía: $E = mc^2$, $\Delta E = \Delta mc^2$. Energía potencial elástica: $E_p(el) = \frac{kx^2}{2}$. $F = -kx$, ley de Hooke. Energía potencial gravitacional: $E_p(g) = -\frac{GMm}{r}$, $E_p(g) = mgh$ a baja altura. Energía potencial eléctrica: $U_e = \frac{K_C Qq}{r}$. Teorema generalizado de la energía mecánica: $\Delta E_m = W(F_r)$.

Potencia

- Potencia: $P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$.
- Unidades de potencia: vatios ($1W = 1J \cdot s^{-1}$). Caballos de fuerza (sistema imperial): $1CV = 746 W$. Caballos de fuerza (sistema métrico): $1CV = 735,5 W$. $1 kWh = 3,6 MJ$.

7. Sistemas de partículas y movimiento rotacional

Movimiento rotacional uniforme

- $\theta = \theta_0 + \omega_0 \Delta t + \frac{\alpha \Delta t^2}{2}$.
- $\omega = \omega_0 + \alpha \Delta t$.
- $a = \alpha R$, $a_c = \omega^2 R$. $a_t = R\sqrt{\alpha^2 + \omega^4}$.
- Par: $\vec{\tau} = \vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$. $\sum_i \vec{\tau}_i = \frac{d\vec{L}}{dt} = I\alpha$.
- Momento angular: $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{I} \vec{\omega}$.
- Momento de inercia: $I = mr^2$. General: $I = \sum_i m_i r_i^2$. Radio de giro: $k = \sqrt{I/m}$.
- Ejemplos de momento de inercia: $I(\text{varilla}, cm) = ml^2/12$, $I(\text{varilla}, \text{borde}) = ml^2/3$, $I(\text{anillo}, cm) = mR^2$, $I(\text{anillo}, \text{dimetro}) = mR^2/2$, $I(\text{disco}, cm) = mR^2/2$, $I(\text{disco}, \text{dimetro}) = mR^2/4$, $I(\text{esfera}) = 2MR^2/5$.
- Teorema de las paralelas para el MOI: $I_e = I(cm) + md^2$ (Steiner).
- Teorema de la perpendicular para el MOI: $I_z = I_x + I_y$.

Sistemas de partículas y cuerpos rígidos

- Concepto de centro de masas (sistema discreto): $\vec{r}_{cm} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$.
- Concepto de centro de masas (caso continuo): $\vec{r}_{cm} = \frac{\int \rho \vec{r} dV}{\int \rho dV}$.
- Cuerpo rígido: sistema de partículas cuya distancia entre partículas se mantiene invariable durante el movimiento.
- Velocidad y aceleración para el centro de masas: $\vec{v}_{cm} = \frac{\sum_i m_i \vec{v}_i}{\sum_i m_i}$, $\vec{a}_{cm} = \frac{\sum_i m_i \vec{a}_i}{\sum_i m_i}$

8. Gravitación

Fuerza Universal de la Gravedad

- $\vec{F}_N = -G_N \frac{Mm}{r^2} \vec{u}_r$. $\vec{g} = -\frac{G_N M}{r^2} \vec{u}_r$. $G_N = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$.
- La gravedad universal es central y conservativa. $U_g = -\frac{G_N Mm}{r}$.
- Energía orbital: $E_m = -\frac{GMm}{2r}$. Energía de desorbitalización/desatelización: $E_d = -E_m$.
- Energía de satelización: $E_s = GMm_s \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{2r(\text{orb})} \right)$.
- Gravedad superficial: $g_s = \frac{GM}{r^2}$. $r = R_p + h$.
- Variación de la gravedad con la altura: $g = g_0 \left(1 - \frac{2h}{R_p} \right)$.
- Variación de la gravedad con la profundidad: $g = g_0 \left(1 - \frac{d}{R_p} \right)$.
- Variación de la gravedad con la latitud y la rotación: $g = g_0 - R\omega^2 \cos^2 \lambda$.

Satélites

- Satélites geostacionarios ($T=T_p$): para la Tierra $T = 24h$, $v = 3,1 \text{km/s}$, $r = 42400 \text{km}$, $h = 36000 \text{km}$.
- Satélites polares ($T=84$ minutos). $v = 7,92 \text{km/s}$, $h = 880 \text{km}$.
- Potencial gravitacional $V_g = E_p/m = -G \frac{M}{r}$.

Leyes de Kepler

- Primera ley de Kepler: $r(\varphi) = \frac{\mathcal{P}}{1 + \varepsilon \cos(\varphi + \varphi_0)}$.
- Segunda ley de Kepler: $V_A = \frac{|\vec{L}|}{2m} = \frac{vr}{2} = \text{constante}$.
- Tercera ley de Kepler: $T^2 = kr^3$, $k = \frac{4\pi^2}{GM}$. $M = M_1 + M_2 = M_* + M_p$.

9. Propiedades mecánicas de los sólidos

9.1. Ley de Hooke, energía, tensión y deformación

Elasticidad y módulo

- La ley de Hooke $F = -kx$ es válida en el límite elástico; la tensión es directamente proporcional a la deformación, es decir, la tensión es \propto deformación.
- La deformación es la razón entre el cambio de configuración y la configuración original, es decir, $h = \frac{\Delta x}{x}$.
- La tensión es la fuerza de recuperación por unidad de área, es decir, $S = F/A$. La tensión es una presión.
- Tipos de tensión: 1) Longitudinal $S_l = F_n/A$, 2) Volumétrica $S_V = F_V/A$ y 3) Tensión tangencial o cortante $S_t = F_t/A$.
- Tipos de deformación: 1) Longitudinal $h_L = \frac{\Delta L}{L_0}$, 2) Volumétrica $h_V = \frac{\Delta V}{V_0}$ y 3) Deformación angular o cortante (desplazamiento angular del plano perpendicular a la superficie fija): $h_\theta = \frac{\Delta \theta}{\theta_0}$.
- Coefficiente de Poisson sigma: $\sigma = \frac{\Delta d/d}{\Delta l/l}$ es el cociente entre la deformación lateral y longitudinal.

Módulo de compresibilidad

- Módulo de Young: $Y = \frac{F/A}{L/\Delta L} = \frac{F\Delta L}{AL} = \frac{Mg\Delta L}{\pi R^2 L}$.
- Módulo de compresibilidad o módulo de elasticidad volumétrico: $B = \frac{\Delta P}{\Delta V/V}$. La inversa $\frac{1}{B}$ mide la compresibilidad, y B es aproximadamente la tensión hidráulica dividida entre la deformación volumétrica.
- El módulo de rigidez o módulo de elasticidad a cortante es el cociente entre la tensión tangencial y la deformación cortante. Matemáticamente hablando: $\eta = \frac{A}{\theta} = \frac{F}{A\theta} = \frac{\sigma_s}{\varepsilon_s}$.

9.2. Elasticidad

Sólidos elásticos

- La elasticidad es la propiedad de los materiales sólidos que les permite recuperar su forma y tamaño originales tras una fuerza de deformación.
- Relaciones entre los módulos de los sólidos

$$Y = 3B(1 - 2\sigma) \quad (1)$$

$$Y = 2\eta(1 + \sigma) \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{3B - 2\eta}{2\eta + 6B} \quad (3)$$

$$\frac{9}{Y} = \frac{1}{B} + \frac{3}{\eta} \quad \text{o} \quad Y = \frac{9B\eta}{\eta + 3B} \quad (4)$$

10. Propiedades mecánicas de los fluidos

Principio de Bernoulli

- Para cualquier flujo de fluido incompresible, no viscoso, aerodinámico e irrotacional

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constante}$$

- El principio de Bernoulli se aplica a la ley de Torricelli, que indica la velocidad de flujo del líquido a través de un orificio: $v = \sqrt{2gh}$.
- El principio de Bernoulli se aplica a la sustentación del ala de un avión, al pulverizador o atomizador y al desprendimiento de techos durante una tormenta de viento.
- El venturímetro es una aplicación del principio de Bernoulli, un dispositivo que mide la velocidad del flujo de un líquido. El volumen de líquido que fluye por segundo es:

$$Q = \frac{V}{s} = a_1 a_2 \sqrt{\frac{2h\rho_m g}{\rho(a_1^2 - a_2^2)}}$$

- Línea de corriente: en el flujo de un líquido, cuando la velocidad es menor que la velocidad crítica, cada partícula que pasa por un punto recorre la misma trayectoria y velocidad que las partículas precedentes.
- Turbulencia: cuando la velocidad del flujo de un líquido es mayor que la velocidad crítica y las partículas siguen trayectorias caóticas en zigzag.

Viscosidad

- La fuerza de oposición entre diferentes capas de fluido en movimiento relativo es una fuerza de arrastre $F_d = -\eta A \frac{dv}{dx}$.
- η es el coeficiente de viscosidad.
- La tensión superficial se define como $S = F/L$.
- La energía superficial se define como $S_E = \frac{dW}{dA}$.
- Ascenso o caída capilar, $h = \frac{2S \cos \theta}{r\rho g}$.
- El exceso de presión dentro de una gota de líquido es $P_e = \frac{2S}{R}$.
- El exceso de presión dentro de una burbuja (de jabón): $P_e = \frac{4S}{R}$.
- Presión del fluido: $P = \frac{dF}{dA} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$. Presión ejercida por una columna de líquido (o gaseoso): $P = \rho gh$.
- Ecuación de continuidad: $m = a_1 v_1 \rho_1 = a_2 v_2 \rho_2$ para cualquier líquido incompresible, $\rho_1 = \rho_2$, luego $a_1 v_1 = a_2 v_2$.

Densidad y manómetros

- Densidad: $\rho = M/V$. La densidad específica es el cociente entre la densidad de una sustancia y la del agua a 4 °C (1000 kg/m³).

Presión manométrica y otras presiones

- Diferencia entre la presión absoluta en un punto y la presión atmosférica: $\rho g \Delta h = P - P_a = \Delta P$.
- Presión total o real en un punto: $P_x = P_a + \rho gh$.
- Presión (atm) ejercida por la atmósfera. A nivel del mar, 1 atm = presión ejercida por 0,76 m o 760 mmHg, 1013 mb o 101,3 kPa.
- Ley de Pascal: la presión ejercida en cualquier punto sobre un líquido encerrado se transmite por igual en todas las direcciones a todos los puntos. Los frenos y elevadores hidráulicos se basan en la ley de Pascal: $P_1 = P_2$, $F_1/S_1 = F_2/S_2$.

11. Propiedades térmicas de la materia

Modos de transferencia de calor

- Conducción: transferencia de calor mediante colisiones moleculares sin movimiento real de la materia.
- Convección: transferencia de calor mediante el movimiento real de la materia en el medio. La brisa terrestre, la brisa marina y los vientos alisios basados en la convección natural son algunos ejemplos.
- Radiación: la transferencia de calor no requiere un medio material, se produce mediante radiación electromagnética (gravitacional, gluónica, etc.) incluso en el vacío.

Leyes térmicas

- Ley de Stefan-Boltzmann: para un cuerpo negro con factores grises, la energía por unidad de área y tiempo viene dada por $E = \sigma e T^4$, con $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} J s^{-1} m^{-2} K^4$, e es la emisividad.
- Cuerpo negro perfecto $e = 1$, por lo tanto $E = \sigma(T^4 - T_0^4)$.
- Ley de desplazamiento de Wien: $\lambda_m \propto 1/T$. $\lambda_m = b/T$. $b = 2,9 \cdot 10^{-3} mK$. Ley de Kirchoff: a cualquier temperatura, $e_\lambda/a_\lambda = E_\lambda = constante$. Ley de enfriamiento de Newton: $\frac{dQ}{dt} = k(T_2 - T_1)$. Para pequeñas diferencias de temperatura entre un cuerpo y su entorno, la pérdida de calor viene dada por la ecuación anterior. Conductividad térmica: $\kappa = \frac{Qx}{A(T_2 - T_1)t}$. El calor es una forma de energía, o más precisamente, una forma de transferencia de energía entre sistemas, debido a las diferencias de temperatura. Calor latente: calor necesario para cambiar el estado de una sustancia con masa unitaria sin cambios de temperatura. $L = Q/m$. Para el agua, $L_f = 3,33 \cdot 10^5 J/kg$ y $L_v = 22,6 \cdot 10^5 J/kg$.

Calorimetría

- Principio de calorimetría: $\Delta Q(\text{prdidada}) = -\Delta Q(\text{ganancia})$.
- Capacidad calorífica específica: $C_e = \frac{\Delta Q}{m \Delta T}$.
- Capacidad calorífica: $\frac{\Delta Q}{\Delta T} = C$.
- Capacidad calorífica específica molar: $s = \frac{\Delta Q}{n \Delta T}$.

Temperatura y dilataciones térmicas

- Termómetro: dispositivo para medir el grado de calor o frío de un cuerpo o sistema.
- Escalas de temperatura:

$$\frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_F - 32}{212 - 32} = \frac{T_K - 273,15}{373,15 - 273,15} = \frac{T_R - 0}{80 - 0}$$

- La dilatación térmica es el aumento (o disminución) de las dimensiones (físicas) debido a los cambios de temperatura.

- Dilatación lineal: $\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$.

- Dilatación superficial: $\beta = \frac{\Delta A}{A_0 \Delta T}$.

- Dilatación volumétrica: $\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}$.

- Relaciones entre los coeficientes de dilatación:

$$\gamma = 2\beta = 3\alpha$$

- Módulo de Young debido a la tensión térmica: $\frac{\Delta F}{A} = Y \left(\frac{\Delta L}{L} \right)$.

12. Termodinámica

Leyes de la termodinámica

- Ley cero. Si dos sistemas (A, B) están en equilibrio térmico con un tercer sistema (C), entonces A y B están en equilibrio entre sí, es decir, $T_A = T_B = T_C$.
- Primera Ley. La energía se conserva y se manifiesta como trabajo realizado y calor: $\Delta U = \Delta Q + \Delta W = \Delta Q - P\Delta V$.
- Segunda Ley. Es imposible que una máquina que funciona entre procesos cíclicos extraiga calor de un depósito y lo convierta completamente en trabajo (Kelvin-Planck). No es posible ningún proceso cuyo resultado sea la absorción de calor de un depósito y la transformación completa de calor en trabajo. Afirmación de Clausius: no es posible ningún proceso cuyo único resultado sea la transferencia de calor de un objeto más frío a uno más caliente. De manera equivalente, la entropía siempre aumenta o permanece constante. $\delta S = \frac{\Delta Q}{T}$.
- Tercera Ley. La medida del desorden molecular es la magnitud conocida como entropía, y solo tiende a cero en el cero absoluto, pero este no es alcanzable en ningún proceso físico en un número finito de pasos. Es decir, el cero absoluto no es alcanzable.

Variables de estado

- Las variables de estado termodinámicas son de dos tipos: 1) extensivas (indican el tamaño del sistema, como la energía interna U , el volumen V , la *masa*,...) y 2) intensivas (no indican el tamaño del sistema, como la presión, la temperatura, ...).

Procesos

- Cualquier proceso que se ejecuta en sentido inverso modificando sus condiciones se denomina **proceso reversible** y es simétrico con la inversión del tiempo. Cualquier proceso que no pueda revertirse exactamente en sentido inverso se denomina **proceso irreversible**.
- Una máquina ideal funciona en un ciclo reversible de cuatro operaciones: 1) expansión isotérmica, 2) expansión adiabática, 3) compresión isotérmica, 4) compresión adiabática. Eficiencia de la máquina de Carnot:

$$\eta_C = \frac{W}{Q} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad T_2 < T_1$$

Termodinámica y procesos

- La termodinámica es la rama de la física que estudia los conceptos de calor y temperatura, así como la conversión y transferencia de calor y energía mediante procesos termodinámicos.
- Proceso isotérmico: cumple $T = k$, $PV = \text{const.} = nRT$. También: $S = \int_{V_i}^{V_f} nRT/V dV = nRT \ln(V_f/V_i)$.
- Proceso adiabático: un sistema térmicamente aislado no gana ni pierde calor y cumple $PV^\gamma = \text{const.}$, $TV^{\gamma-1} = \text{const.}$, $P^{1-\gamma}T^\gamma = \text{const.}$, donde $\gamma = C_P/C_V$ es el coeficiente adiabático. Trabajo realizado adiabáticamente: $W = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-\gamma}$.
- Proceso isocórico: $V = k$, $P/T = k$, $P_1/T_1 = P_2/T_2$.
- Proceso isobárico: $P = k$, $V/T = k$, $V_1/T_1 = V_2/T_2$.
- Proceso cíclico: cualquier proceso en el que un sistema retorna a su estado inicial y, por lo tanto, $\Delta U = 0$.
- Proceso cuasiestático: proceso de velocidad infinita tal que el sistema permanece en equilibrio térmico y mecánico con el entorno.
- Ecuación de Mayer: $C_P - C_V = R$.

Refrigerador

- Un refrigerador es una máquina térmica que funciona en sentido inverso. Coeficiente de rendimiento:

$$\beta = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}, \quad T_2 > T_1$$

- Un refrigerador es, como máximo, una máquina de Carnot con inversión temporal.

13. Teoría cinética

13.1. Gases ideales

Gas ideal

- Un gas ideal satisface la ecuación de estado $PV = nRT$ o $PV = Nk_B T$.
- Ley de Avogadro: $N_1/V_1 = N_2/V_2$.
- Ley de Boyle: $P_1 V_1 = P_2 V_2$.
- Ley de Charles: $V_1/T_1 = V_2/T_2$.
- Ley de Gay-Lussac: $P_1/T_1 = P_2/T_2$.
- Ley de Diver: $P_1/n_1 = P_2/n_2$.
- Ley sin nombre: $n_1 T_1 = n_2 T_2$.
- Leyes generales: $PV/T = k$, $P/nT = k$, $V/nT = k$, $PV/n = k$.
- $R = N_A k_B$ es una constante universal.
- Ley de presiones parciales de Dalton: $P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$, $P_i = \chi_i P_T$.

13.2. Teoría cinética y estadística

Gases estadísticos

- Presión ejercida por el gas: $P = \frac{1}{3} \rho v_{rms}^2$.
- Energía y presión promedio: $E = 3PV/2 = 3k_B T N/2$. $k_B = R/N_A$. $\bar{v} = v_{av} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_N}{N}$.
 $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \cdot MM}} = \sqrt{\frac{8}{3\pi}} v_{rms} = 0,92 v_{rms}$.
- Velocidad más probable: $v_{mp} = \sqrt{\frac{2RT}{MM}} = \sqrt{\frac{2}{3}} v_{rms} = 0,816 v_{rms}$.
- Velocidad media cuadrática:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3PV}{M}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{3RT}{MM}}$$

Supuestos de la teoría cinética

- Todas las moléculas de un gas son idénticas.
- Las moléculas de diferentes gases son diferentes.
- Las moléculas de los gases se encuentran en un estado de movimiento aleatorio.
- Las colisiones de las moléculas de los gases son perfectamente elásticas.
- Las interacciones entre moléculas se deben únicamente a interacciones eléctricas o electromagnéticas.
- La energía de cada grado de libertad por molécula es $E/N = k_B T/2$ (teorema de equipartición).
- Trayectoria libre media de las moléculas: $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} n d^2} = \frac{k_B T}{\sqrt{2} \pi d^2 P}$.

Capacidad calorífica específica para gases ideales

- Para gases ideales: $C_P - C_V = R$.
- Para gases monoatómicos: $C_P/C_V = \gamma = 5/3$.
- Para gases diatómicos: $C_P/C_V = \gamma = 7/5$.
- Para gases poliatómicos: $C_P/C_V = \gamma = \frac{4+f}{3+f}$, donde f es el grado de libertad del gas.

14. Oscilaciones

14.1. MAS: Movimientos Armónicos Simples

Movimiento de osciladores simples

- El MAS es la forma más simple de movimiento oscilatorio.
- El número de oscilaciones por segundo es la frecuencia: $f = 1/T$. T es el período o el intervalo de tiempo más pequeño después de que el movimiento se repite.
- El MAS tiene la ecuación: $x(t) = A \cos(\omega t + \phi_0)$. La fase es $\omega t + \phi_0$.
- La velocidad del MAS es $v(t) = dx/dt = -\omega A \sin(\omega t + \phi_0)$. $v_m = A\omega$. La aceleración de MAS es $a(t) = dv/dt = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi_0) = -\omega^2 x(t)$. Energía cinética de MAS: $E_c = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \phi_0)$. Energía potencial (elástica) de MAS: $E_p = kx^2/2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \phi_0)$, $k = m\omega^2$ para MAS, ya que $F = -kx = ma$.
- La energía mecánica del MAS es constante: $E_m = kA^2/2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$.

Oscilaciones debidas a un resorte o muelle

- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, donde $k = F/\Delta x$.
- Péndulo simple: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgL}}$, con $I = mL^2$.

14.2. Otros tipos de osciladores

Oscilaciones amortiguadas

- Oscilaciones de un cuerpo cuya amplitud disminuye con el tiempo. Fuerza de amortiguamiento: $F_d = -bv$. Ecuación del elemento para oscilaciones simples amortiguadas:

$$x(t) = x_m e^{-bt/2m} \sin(\omega' t + \varphi_0)$$

con

$$\omega' = \sqrt{\frac{m}{k} - \frac{b^2}{4m^2}}$$

La amplitud se modula y disminuye con el tiempo: $A(t) = x_m e^{-bt/2m}$.

Oscilaciones y resonancias forzadas

- Fuerza impulsora: $F(t) = F_0 \cos(\omega_d t)$.
- Desplazamiento: $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$.
- La amplitud para soluciones forzadas se modula de la siguiente manera:

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2(\omega^2 - \omega_d^2)^2 + \omega_d^2 b^2}}$$

y fase crítica $\varphi_c = -v_0/\omega_d x_0$.

- Cuando la frecuencia ω_d se acerca a la frecuencia natural del oscilador, la amplitud se dispara y aumenta considerablemente (condición de resonancia $\omega_d \simeq \omega$).

15. Ondas

15.1. Propiedades generales y ondas armónicas

Ondas armónicas y planas

- Función de onda o forma de onda para ondas armónicas:

$$\Psi(x, t) = A \sin(\omega t \pm kx + \varphi_0)$$

- Fórmula alternativa de la función de onda:

$$\Psi(x, t) = A \sin \left[\left(\frac{2\pi x}{\lambda} \pm \frac{2\pi t}{T} + \varphi_0 \right) \right]$$

- Velocidad de propagación $v_p = \lambda f = \frac{\omega}{k}$.
- Ecuaciones de número de onda y período-frecuencia: $\frac{2\pi}{\lambda} = k$, $\bar{k} = \frac{1}{\lambda}$, $\frac{1}{T} = f$, $\omega = 2\pi f$.
- Efecto Doppler:

$$f' = f_0 \left(\frac{v \pm v_s \pm v_m}{v \pm v_{obs} \pm v_m} \right)$$

donde v es la velocidad del sonido, v_{obs} la velocidad del observador, v_s la velocidad de la fuente y v_m la velocidad del medio. Con la luz (o similar), $v = c$ y $v_m = 0$, ya que el éter no se puede detectar y no es físico.

- La diferencia de frecuencias entre dos ondas superpuestas genera un pulso: $f_b = f_1 - f_2$.

15.2. Ondas estacionarias

Ondas estacionarias y propiedades

- En cuerdas, la frecuencia fundamental es $f_0 = \frac{1}{2L_s} \sqrt{\frac{T_s}{m}}$.
- En tubos de órgano, abiertos en ambos extremos: la frecuencia fundamental o armónico es $f_0 = v/2L$.
- En tubos de órgano, cerrados en un extremo, $f_0 = v/4L$.
- En tubos de órgano abiertos, armónicos superiores, tanto pares como impares. En tubos de órgano cerrados, armónicos superiores, solo modos impares.

15.3. Superposición y tipos de ondas

Principio de superposición

- Principio de superposición para ondas: $\Phi = \sum_i \Psi_i$.
- Ondas de materia asociadas con partículas como electrones, protones, neutrones, moléculas o cuerpos rígidos (hipótesis de De Broglie):

$$\lambda(dB) = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\gamma v} \simeq \frac{h}{mv}$$

donde la última igualdad es válida en aproximaciones no relativistas ($v \ll c$).

Tipos de ondas

- Las ondas mecánicas se caracterizan esencialmente por elasticidad, inercia y fricción mínima. Requieren un medio material.
- Las ondas electromagnéticas, electrodébiles, de fuerza fuerte y gravitacionales no requieren un medio para su propagación (incluso en el vacío).
- Las partículas individuales del medio oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación si la onda es transversal.
- Las partículas individuales del medio oscilan longitudinalmente a la dirección de propagación si la onda es longitudinal.
- Las ondas longitudinales tienen una velocidad: $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$, donde B es el módulo volumétrico, o $v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$, donde la última ecuación es para el aire con $\gamma = 7/5$.
- Velocidad transversal de onda: $v = \frac{T}{m}$, donde T es la tensión y $m = M/L$ es la densidad de masa lineal.

15.4. Otras ondas

Ondas no lineales y dispersivas

- Existen ondas no lineales que no cumplen el principio de superposición.
- Existen ondas con características dispersivas $\omega = \omega(k)$.
- La velocidad de grupo de una onda es: $v_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{\partial E}{\partial p}$. La velocidad de fase se define como $v_{ph} = \frac{\omega(k)}{k}$.
- Para la luz:

$$v_g = \frac{c}{n + \omega \frac{\partial n}{\partial \omega}} = \frac{c}{n - \lambda_0 \frac{\partial n}{\partial \lambda_0}} = v_p \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{\partial n}{\partial \lambda} \right) = v_p - \lambda \frac{\partial v_p}{\partial \lambda} = v_p + k \frac{\partial v_p}{\partial k}$$

16. Campo eléctrico y fuerzas

16.1. Fuerza eléctrica y campo

Fuerza y campo de Coulomb

- Fuerza de Coulomb: $\vec{F}_C = K_C \frac{Qq}{r^2} \vec{u}_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} \vec{u}_r$.
- Campo de Coulomb: $\vec{E} = \frac{\vec{F}_C}{q} = \frac{K_C Q}{r^2} \vec{u}_r$.
- Energía potencial y potencial de Coulomb: $E_p(el) = \frac{K_C Qq}{r}$, $V_e = \frac{K_C Q}{r}$. Constante de Coulomb: $K_C = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$. $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$. Cargas múltiples (principio de superposición): $\vec{E} = \sum_{i=1}^n \frac{K_C Q_i}{r_i^2} \vec{u}_{r_i}$. Cuantización de carga: $Q_t = nq$, $n \in \mathbb{Z}$. Conservación de carga: $\sum_i q_i(0) = \sum_j Q_j(f)$. La fuerza eléctrica puede ser repulsiva y atractiva (dos tipos de carga).
- Flujo eléctrico: $\phi_E = \vec{E} \cdot \vec{S} \rightarrow \phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{S}$.
- Teorema de Gauss-Ostrogradskii: $\phi_e = 4\pi K_C Q(\Sigma) = \frac{Q(\Sigma)}{\epsilon_0}$.

Aplicaciones del teorema de Gauss

- Campo eléctrico debido a la distribución lineal de carga: $\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \vec{u}_r$.
- Campo eléctrico debido a una lámina plana (infinita): $\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \vec{u}_\perp$.
- Campo eléctrico entre placas conductoras infinitas: $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{u}_\perp$.
- Campo eléctrico dentro de un conductor: $\vec{E} = \vec{0}$.
- Campo eléctrico debido a una delgada capa esférica fuera de la capa: $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$. Campo interior: $E = 0$. Campo superficial: $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon R^2}$. Campo eléctrico debido a una capa esférica con carga uniforme: $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \vec{u}_r$ en el exterior. En el interior: $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^3} \vec{u}_r = \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \vec{u}_r$. En la superficie, $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \vec{u}_r$.

16.2. Dipolos y otras fórmulas

Otras fórmulas

- Principio de superposición: $\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$. $V = \sum_{i=1}^n V_i$.

- Distribuciones continuas: $\vec{E} = k \int \frac{dQ}{r^3} \vec{r}$.

- Dipolo eléctrico: $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{r^3} \vec{r}$, $p = q\vec{r}$.

- Campo eléctrico debido a un dipolo en posición ecuatorial:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3}$$

- Par en un dipolo eléctrico colocado dentro de un campo eléctrico: $\tau = \vec{p} \times \vec{E} = pE \sin \theta$.

17. Potencial electrostático y capacitancia

Unidades de capacitancia y dieléctricos

- V se mide en voltios.
- Los conductores son materiales donde los electrones o cargas pueden moverse libremente (electrones opuestos al campo, electrones positivos a lo largo del campo).
- Aislantes: materiales en los que los electrones están estrechamente ligados y, al exponerse a un campo, no se mueven.
- Los campos eléctricos dentro de los conductores son cero.
- El campo eléctrico es perpendicular a las superficies cargadas.

- Capacitancia: $C = \frac{Q}{V}$. Unidades: C/V=F=faradays.

- Energía almacenada por el condensador: $U_C = \frac{CV^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}QV$.

- Los dieléctricos son aislantes eléctricos que pueden polarizarse.

- Capacitancia de placas paralelas: $C = \frac{K\epsilon_0 A}{d}$. K es la constante dieléctrica.

- Capacitancia cuando se inserta material en placas paralelas:

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{Kd - x(K - 1)}$$

donde x es el espesor de la placa insertada.

- Condensador esférico $C = \frac{4\pi\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}$. La esfera aislada tiene $C = 4\pi\epsilon_0 R$.

- Polarización: $\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E} = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) \vec{E}$.

- Desplazamiento eléctrico: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$

Asociación de condensadores

- Condensador en serie: $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$.
- Condensador en paralelo: $C = \sum_{i=1}^n C_i$.

Energía

- Energía potencial y potencial: $U_e = q\Delta V$ (externa). $\Delta U = -q\Delta V$ (campo).
- Energía potencial para dipolos: $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$.

18. Corriente eléctrica y resistencia

Corriente eléctrica

- La corriente eléctrica es el flujo de carga a través de un área o, equivalentemente, la variación de la carga con el tiempo:

$$I = \frac{dQ}{dt}, \quad I = \int \vec{J} \cdot \vec{S}$$

- Densidad de corriente: $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ (Ley de Ohm).
- Velocidad de deriva (electrones libres): $V_d = \frac{J}{ne} = \frac{I}{neA}$.
- $\mu = \frac{V_d}{E} = \frac{e\tau}{m}$, con un tiempo de colisión promedio de τ .
- Ley de Ohm macroscópica: $V = IR$, R es la resistencia eléctrica en ohmios Ω .
- Resistencia en función de la resistividad: $R = \frac{\rho l \tau}{A}$. $\rho = \frac{1}{\sigma}$ en $\Omega \cdot m$. σ es la conductividad y ρ es la resistividad.

Asociación de resistencias

- Resistencia en serie: $R = \sum_i R_i$.
- Resistencia en paralelo: $\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$.
- Resistencia en función de la temperatura: $R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$. α es el coeficiente de resistividad.
- Puente de Wheastone: $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$ implica $V_c = V_D$.
- Puente de medidores: $S = \frac{R(100 - L)}{L}$.
- Leyes de Kirchoff: 1) Ley de bucles: $\sum_L V = 0$ para todos los bucles, 2) Ley de unión: $\sum I(in) = \sum I(out)$ o $\sum_\gamma I(\gamma) = 0$.
- Ley de Ohm generalizada: $\Delta V = E - ir = i(R - r)$.

19. Magnetismo y cargas en movimiento

Magnetismo

- El campo magnético alrededor de ciertos materiales implica una fuerza magnética.
- $\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$.
- \vec{B} se mide en teslas (T), es decir, Wb/m^2 . 1 gauss: $1G = 10^{-4}T$.
- Ciclotrón: $F_m = F_c$. $R_c = \frac{mv}{qB}$. Periodo: $T_c = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{1}{f_c}$.
- Para trayectorias no circulares, el movimiento helicoidal es posible: $F_m = qvB \sin \theta$.
- Ley de Ampere: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu_0 I$.
- Ley de Biot-Savart: $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{r} \times \vec{u}_r}{r^2}$. También: $\mu_0 = \frac{1}{c^2 \epsilon_0}$.
- Energía máxima obtenida para acelerar una partícula cargada (excepto electrones):

$$\Delta E = \frac{q^2 B^2 p^2}{2m}$$

Campo magnético de sistemas importantes

- Alambre finito: $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} (\sin \theta_1 + \sin \theta_2)$, θ_1, θ_2 son los ángulos formados con los extremos inferior y superior respectivamente.
 - Alambre circular (radio a): $B = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2 + d^2)^{3/2}}$. En el centro: $B = \frac{\mu_0 I}{2a}$. Lejos del centro: $B = \frac{\mu_0 i a^3}{2d^3}$.
 - Cable recto infinito: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$.
 - Campo magnético de un toroide: $B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$. N es el número de espiras e I la corriente.
 - Campo magnético en un punto dentro de un solenoide largo: $B = n\mu_0 I_e$. En los extremos del solenoide: $B = \frac{\mu_0 n I}{2}$. $n = N/L$ es el número de espiras por unidad de longitud. Ley de Laplace para corriente en conductores: $\vec{F} = I \int d\vec{l} \times \vec{B} = I \vec{L} \times \vec{B}$, donde el último paso es válido para conductores finitos. Los conductores paralelos ejercen una fuerza: $F(12) = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$.
- Par magnético: $\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}$. Magnetización: $\vec{m} = I\vec{S}$. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$.

20. Magnetismo y materia

Sustancias magnéticas

- Paramagnetismo: tendencia a aumentar el campo magnético debido a la magnetización; p. ej., Al, Mn, $\mu_r > 1$.
- Diamagnetismo: tendencia a una fuerte magnetización en la dirección del campo magnético; p. ej., Fe, Co, Ni, $\mu_r, \chi_m < 1$.
- Ferromagnetismo: tendencia a magnetizar en dirección opuesta a la del campo magnético; p. ej., Bi, Cu, Hg, Ni, $\mu_r, \chi_m < 1$.

Términos magnéticos

- Intensidad magnética: $H = \frac{B}{\mu_0}$. Permeabilidad magnética: $\mu = \mu_0(1 + c_m)$. Susceptibilidad magnética: $\chi = \frac{I}{H}$. Intensidad de magnetización: $I_M = \frac{M}{V}$. Periodo de tiempo de la barra magnética oscilante: $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB}}$. Par magnético: $\vec{\tau}_m = \vec{M} \times \vec{B} = MB \sin \theta$. $M = 2ml$. Energía magnética: $U_M = -\vec{M} \cdot \vec{B}$. $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$. $\vec{M} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H}$

Dipolos magnéticos

- Momento magnético dipolar: $m\vec{v}u = I\vec{S} = \frac{ev}{2\pi R} \cdot \pi R^2 = \frac{evR}{2}$. Además, $\vec{\mu} = -\frac{e\vec{L}}{2m_e}$ y $\mu = md$.
- Solenoide: $\mu = NIA$.
- Campo magnético de un dipolo: $B = \frac{\mu_0 2M}{4\pi d^3}$. Si $d \gg l$, $B = \frac{\mu_0 M}{4\pi d^3}$.

Magnetismo terrestre

- La Tierra es una fuente natural de campo magnético con polos norte y sur geométricos.
- Declinación: Ángulo entre el meridiano magnético y el meridiano geográfico.
- Inclinación o buzamiento δ : Ángulo que forma el campo magnético terrestre con la horizontal en la dirección magnética. $\delta(\text{ecuador}) = 0^\circ$. $\delta(\text{polo}) = 90^\circ$.
- Las líneas de campo magnético son cerradas (no se ha observado ningún polo magnético).

21. Inducción electromagnética

Ley de Faraday

- Siempre que cambia el flujo magnético a través de un área delimitada por una espira conductora cerrada, se produce una fem (fuerza electromotriz) en la espira.
- La fem viene dada por $\varepsilon = -\frac{d\phi_m}{dt}$, donde $\phi_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$ es el flujo magnético.
- Para sistemas ideales (conductores óhmicos): $\varepsilon = IR$. Para circuitos generales: $I = \frac{Blv}{r + R}$, siempre que el sistema se mueva a velocidad constante o uniforme (aceleración).
- Ley de Lenz: el sentido de la corriente inducida es el opuesto al aumento o disminución del flujo magnético.
- Potencia térmica (Ley de Joule): $P = \frac{v^2 B^2 L^2}{R} = I^2 R$.

Inducción mutua y autoinducción

- $\phi_m = MI$. $\frac{d\phi}{dt} = -M\frac{dI}{dt}$. Inducción mutua: $M_{12} = \mu_0 N_1 N_2 \pi r_1^2 L$.
- Generador de CA $E = NBS \sin(\omega t + \varphi)$.
- Autoinducción: $L = \mu_0 n N^2 \pi r^2 L$.
- n representa las espiras por unidad de longitud.
- r representa el radio de cada espira.
- Crecimiento de la corriente: $I(t) = I_0(1 - e^{-t/r})$, donde $r = L/R$. Decaimiento de la corriente $I(t) = I_0 e^{-t/r}$.
- Energía almacenada en un inductor $U_L = \frac{1}{2} LI^2$

22. Corriente alterna

Transformadores

- Relación de transformación: $\frac{E_S}{E_P} = \frac{I_P}{I_S} = \frac{N_S}{N_P} = K$.
- Se puede alcanzar una eficiencia del transformador de aproximadamente el 99
- Un generador de CA es cualquier dispositivo que genere corriente alterna $I = V/R = NBA\omega \sin(\omega t/R)$.
- Corriente CA: $I = I_0 \sin \omega t$, $V = V_0 \sin \omega t$ es el voltaje CA.
- Potencia en un circuito CA: $P = \frac{E_0 I_0}{2} \cos \phi$

Circuitos CA

- Circuito inductivo (L): $I = I_0 \sin(\omega t - \pi/2)$.
- Circuito capacitivo (C): $I = I_0 \sin(\omega t + \pi/2)$.
- Circuito resistivo (R): $I = I_0 \sin(\omega t)$.
- Circuito R-C: $I = I_0 \sin(\omega t + \phi)$. Impedancia: $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$. $X_c^2 = 1/\omega^2 C^2$.
- Circuito L-C: $I = I_0 \sin(\omega t \pm \pi/2)$, con $X = X_L - X_C$. $X_L = \omega L$.
- Circuito L-R: $I = I_0 \sin(\omega t + \phi)$. Impedancia: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$, $X_L = \omega L$. Además, $\tan \phi = \omega L/R$. $I_0 = E_0/Z$. Factor de potencia: R/Z . El voltaje está adelantado. Circuito R-L-C: $I = I_0 \sin(\omega t \pm \phi)$, $Z = \sqrt{R^2 + (X_c - X_L)^2}$. $X = X_c - X_L = \frac{1}{\omega C} - \omega L$. $\tan \phi = 1/\omega C - \omega L$. $I_0 = E_0/Z$.

23. Ondas electromagnéticas

Ondas electromagnéticas y sus propiedades

- No necesitan ningún medio material para propagarse.
- Se propagan a una velocidad $c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0\mu_0}}$.
- Las ondas electromagnéticas se producen por cargas aceleradas.
- Las ondas electromagnéticas son ondas transversales y tienen polarización propia.
- La oscilación de los campos eléctrico y magnético está en fase y su razón es constante: $E = Bc$.
- Combinación de campos eléctricos y magnéticos transversales mutuamente perpendiculares.
- Las ondas electromagnéticas son la solución de vacío de las ecuaciones de Maxwell.
- En 1886, Hertz se convirtió en la primera persona en transmitir y recibir señales de radio controladas.
- $I = dq/dt$. Si la carga eléctrica se conserva, la ley de Ampère debe modificarse para incluir la corriente de desplazamiento:

$$I_d = \epsilon_0 \frac{d\phi_e}{dt}$$

Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss para campos eléctricos: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = Q/\epsilon_0$ o $\nabla \cdot \vec{E} = \rho/\epsilon_0$.
- Ley de Gauss para campos magnéticos: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$, $\nabla \cdot \vec{B} = 0$. Ley de Faraday: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\frac{d\phi_m}{dt}$
o $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$.
- Ley de Ampère generalizada: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu_0 \left(I + \epsilon_0 \frac{d\phi_e}{dt} \right)$ o $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$, con $\vec{J} = \vec{j} + \vec{j}_d$

Espectro electromagnético

- Ondas de radio para $\lambda > 10^8 nm$, microondas para $10^8 nm > \lambda > 10^5 nm$, infrarrojo (IR) para $10^5 nm > \lambda > 700 nm$.
- Luz visible para $700 nm > \lambda > 400 nm$. Rayos UV para $400 nm > \lambda > 10 nm$, rayos X para $10 nm > \lambda > 0,01 nm$, rayos γ para $0,01 nm > \lambda$.

Energía EM

- Densidad de energía EM: $U = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0}$.
- Promedio a largo plazo: $U = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0}$

24. Óptica de rayos e instrumentos ópticos

Leyes de reflexión y refracción

- Ley de reflexión: $\theta_i = \theta_r$
- Ley de refracción (ley de Snell): $n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$. También: $\frac{\sin \theta_i}{v_i} = \frac{\sin \theta_r}{v_r}$.
- Ángulo límite, reflexión interna total: $\sin^{-1} \theta_L = \frac{n_r}{n_i}$. Índice de refracción: $n = \frac{c}{v}$.

Lentes y espejos

- Se utilizan las convenciones de signos DIN.
- Dióptrica esférica: $\frac{n_2 - n_1}{R} = \frac{n_2}{s'} - \frac{n_1}{s}$.
- Fórmula del fabricante de lentes: $\frac{1}{f'} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$.
- Fórmula de lente delgada: $\frac{1}{f'} = \frac{1}{s'} - \frac{1}{s}$. Aumento lateral: $\beta = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$. Espejos esféricos: $\frac{2}{R} = \frac{1}{f} = \frac{1}{s'} + \frac{1}{s}$. Aumento lateral: $\frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} = \beta$. Espejos planos: $s' = -s$. Aumento lateral $\beta = 1$. Potencia focal: $P = \frac{1}{f}$ en dioptrías. $1D = 1m^{-1}$. Potencia combinada con lentes en contacto: $P = 1/f_1 + 1/f_2$. Potencia combinada con lentes separadas: $P = 1/f_1 + 1/f_2 - \frac{d}{f_1 f_2}$. Punto cercano para los ojos: 25 cm.
- Defectos de la visión: astigmatismo, miopía, hipermetropía, visión cansada (presbicia).

25. Óptica ondulatoria

Interferencia y polarización

- Dos ondas se superponen para formar una onda de mayor, menor o igual amplitud. $I = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2$. Constructiva: $A = A_1 + A_2$. Destructiva: $A = A_1 - A_2$.
- Efecto Doppler (no relativista): $\frac{\Delta f}{f_0} = -\frac{v_r}{c}$.
- Polarización (cuando las ondas son transversales).
- Ley de Brewster: $\mu = \tan \theta_p$. θ_p es el ángulo de polarización.
- Ley de Malus: $I = I_0 \cos^2 \theta$.
- Frentes de onda esféricos: $I \propto 1/r^2$ y $A \propto 1/r$.

Difracción y principios

- Poder de resolución: $\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$.
- Para microscopios: $P = 2n \sin \theta / \lambda$.
- Principio de Huygens: cada punto del frente de onda primario es la fuente de ondas secundarias.
- Fuentes coherentes: dos fuentes cualesquiera son coherentes si la diferencia de fase inicial permanece constante en el tiempo; de lo contrario, son incoherentes. Difracción por una sola rendija: $b \sin \theta = n\lambda$ (las franjas oscuras) representan la anchura angular de los máximos centrales. La anchura de los máximos centrales es $2\lambda/b$. La anchura angular es $\theta = 2D\lambda/b$. $b \sin \theta = (2n + 1)\lambda/2$ son los máximos de las franjas brillantes.

Experimento de Young: la anchura de la franja es igual a $\beta = D\lambda/d$ para dos franjas consecutivas. La distancia entre la n -ésima franja brillante y las franjas centrales es $x_n = n\lambda D/d$, D es la distancia entre la fuente y la pantalla, y d la separación entre las dos rendijas. Experimento de Young: la distancia entre la franja oscura n y la franja central es $x_{nc} = \frac{(2n - 1)\lambda D}{2d}$. La diferencia de trayectorias para la franja brillante es $\Delta\phi = n\lambda$ y para las franjas oscuras es $\Delta\phi = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$.

26. Relatividad Especial

Transformaciones de Lorentz y postulados de la Relatividad Especial

- La Relatividad Especial se basa en la constancia de la velocidad de la luz en el vacío y en la universalidad de las leyes mecánicas y electromagnéticas.

- Transformaciones de Lorentz:

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (5)$$

$$y' = y \quad (6)$$

$$z' = z \quad (7)$$

$$t' = \gamma\left(t' - \frac{vx}{c^2}\right) \quad (8)$$

- La simultaneidad es relativa a los observadores. No existe un tiempo universal. El tiempo es relativo a los observadores.

- Contracción de la longitud: $L' = L_0\gamma^{-1}$.

- Dilatación del tiempo: $\Delta t = \gamma\Delta t'$.

- Las velocidades, incluso siendo relativas, no pueden superar la velocidad de la luz: $V = \frac{V_1 + V_2}{1 + \frac{V_1V_2}{c^2}}$.

- La energía es una forma de masa y viceversa: $E = mc^2$.

- El momento no es lineal con la velocidad $p = m\gamma v$.

- Relación de dispersión de energía-momento en la relación recíproca: $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$.

- La geometría no es euclidiana en el espacio-tiempo, sino hiperbólica: $\Delta s^2 = \Delta x^2 - c^2\Delta t^2$.

- Las ecuaciones de Maxwell son invariantes bajo las transformaciones de Lorentz, pero no bajo las leyes de Newton.

- En el régimen de baja velocidad, recuperamos la mecánica newtoniana.

- $\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$ es el factor gamma relativista, y generalmente también introducimos $\beta = v/c$.

- Si $E = mc^2 \cos \varphi$ y $pc = mc^2 \sin \varphi$, entonces $pc/E = \tanh \varphi$. Si $E = m\gamma c^2$ es la energía total, entonces $\gamma = \cosh \varphi$ y $\varphi = \cosh^{-1} \gamma$, $v/c = \tanh \varphi$, por lo que $\beta = \tanh \varphi = \tanh(\cosh^{-1} \gamma)$.

- La aproximación de Newton es útil: $(1 + x)^n \approx 1 + nx$.

27. Relatividad General y Cosmología

Ley de Hubble

- A principios del siglo XX, E. Hubble descubrió que el Universo se expande: $v = HD$. H es la constante de Hubble. $t_U = 1/H$. $R_U = c/H$.
- La relatividad especial de Einstein implicaba que la gravedad debía relativizarse, ya que la gravedad de Newton no era consistente con la relatividad especial.
- EFE (ecuación de campo de Einstein para la gravedad): $G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$.
- La EFE implicaba, para modelos simplificados, las ecuaciones de Friedmann y que el Universo se expandiría. En 1998, se demostró que la energía oscura y la constante cosmológica no eran cero. El parámetro de Hubble es realmente no constante. Densidad crítica: $\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$. El Universo se describe actualmente mediante LCDM, con $\Omega_{DM} \sim 0,25$, $\Omega_\Lambda \sim 0,7$, $\Omega_m \sim 0,05$. La RG predice: ondas gravitacionales, un retardo temporal gravitacional superior al de la ER, agujeros negros, las precesiones del perihelio de Mercurio, el efecto de lentes gravitacionales, el Big Bang y muchos otros efectos gravitacionales newtonianos no clásicos, como el efecto Lense-Thirring, el gravitomagnetismo y más. Llevada al extremo, la RG predice singularidades espacio-temporales.

28. Dualidad onda-partícula y Física Cuántica

Hipótesis cuántica

- La hipótesis cuántica de Planck fue necesaria para resolver el problema de la radiación del cuerpo negro. $I = \sigma T^4$.
- La luz o radiación debe ser cuantizada $E = nhf = \frac{nhc}{\lambda}$.
- El efecto fotoeléctrico justifica que la luz se comporta como cuantos, no ondulando hasta cierto punto.
- Ecuación de Einstein para el efecto fotoeléctrico: $hf = hf_0 + E_c(m)$. $W_e = hf_0$ es la función de extracción o función de trabajo para un metal. $E_c = mv^2/2$ es la energía cinética máxima del electrón.
- $E_c(m) = eV_f$ y $hf_0 = eV_0$.
- Frecuencia umbral f_0 y longitud de onda $\lambda_0 = c/f_0$. No hay efecto fotoeléctrico por debajo de f_0 ni por encima de λ_0 .
- Dualidad onda-partícula (probada en el experimento de Davisson-Germer): $\lambda = h/p$. Para electrones en un potencial, obtenemos:

$$\lambda = \frac{1,227}{\sqrt{\Delta V}} nm$$

y ese es el principio del microscopio electrónico o similar.

- También: $\lambda(dB) = \frac{h}{\sqrt{2mK_m}} = \frac{h}{\sqrt{2me\Delta V}}$ para electrones no relativistas. Se sabe que se observan versiones relativistas y son totalmente válidas.
- La fotocorriente es una función compleja $I = I(V)$.
- Trazar K_m o V_f en función de la frecuencia proporciona gráficos lineales, contrario a las expectativas clásicas.

29. Átomos

Modelo de Bohr

- Limitaciones: un solo electrón no explica los efectos de Zeeman ni de Stark. No explica los espectros atómicos de espín ni multielectrónicos.
- Hipótesis: Cuantización de Planck para la luz, órbitas circulares estacionarias y cuantización del momento angular. Consecuencias: Cuantización cinemática del radio, la energía y otras variables.
- $r_n = a_0 \frac{n^2}{Z}$.
- $v_n = \frac{\alpha Z c}{n}$.
- $E_n = -\frac{Z^2 R_y}{n^2}$.
- $\Delta E = R_y \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$. $R_y = 13,6 eV = 2,18 \cdot 10^{-18} J$.
- Serie de Lyman (UV): $n_i = n_1 = 1$.
- Serie de Balmer (visible): $n_i = n_1 = 2$.
- Serie de Paschen (IR): $n_i = n_1 = 3$.
- Serie de Brackett (IR): $n_i = n_1 = 4$.
- Serie de Pfund (IR): $n_i = n_1 = 5$.

Experimentos

- Experimento de dispersión de Rutherford: utiliza el parámetro de impacto $b = \frac{Ze^2 \cot(\theta/2)}{4\pi\epsilon_0(mv^2/2)}$
- Los átomos tienen partes: núcleos y capas.
- No se explica la estabilidad. No se explican los espectros.
- Tamaños de los núcleos: $d \sim 1 fm$. $1 fm = 10^{-15} m$.

30. Núcleos

Ley de desintegración

- Ley de desintegración: $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$. Equivalentemente: $m(t) = m_0 e^{-\lambda t}$. También. $N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t})$ son los átomos desintegrados. Además: $N(t) = N_0 2^{-t/T_{1/2}}$.
- Constante de desintegración: $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{1}{\tau}$, donde τ es el tiempo de vida medio. $T_{1/2}$ es el tiempo de semidesintegración.
- Actividad: $A(t) = A_0 = |dN/dt| = \lambda N$. Unidades: $1 Bq = 1 s^{-1}$.
- $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$.
- Defecto de masa: $\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{nuc}$.
- Enlace Energía por nucleón: $\Delta E/A = \Delta mc^2/A$, $A = Z + N$.

Propiedades de los núcleos y las partículas

- Los núcleos se unen mediante fuerzas nucleares.
- Las fuerzas débil y fuerte actúan más allá de las fuerzas electromagnéticas.
- Los protones y neutrones no son fundamentales.
- El potencial de Yukawa describe las interacciones nucleares a un nivel efectivo (debido a intercambiadores de mesones, p. ej., piones).
- Los hadrones se sienten fuertes (fuerzas débiles y electromagnéticas). Los hadrones pueden ser bariones o mesones.
- También se encuentran neutrinos y leptones más allá de la primera familia.
- Las desintegraciones se deben a la fuerza débil y a los cambios de sabor. Las interacciones electro-débiles están mediadas por bosones W, Z y fotones. Los bosones gauge vectoriales masivos implican la existencia de un bosón escalar, el bosón de Higgs, el dador de masa.
- Los núcleos descritos como una gota tienen un tamaño típico $R = R_0 A^{1/3}$ y altas densidades.
- Los tipos básicos de desintegración incluyen reacciones alfa, beta, gamma o de captura.
- El espectro continuo de la desintegración beta implica la existencia del neutrino.
- Los neutrinos tienen 3 sabores, los leptones tienen 3 sabores y los quarks tienen 6.

31. Partículas subatómicas y el Modelo Estándar

Modelo Estándar

- El Modelo Estándar describe las interacciones fuertes, débiles y electromagnéticas de las partículas fundamentales.
- Requiere un campo escalar, el campo de Higgs, cuyos cuantos tienen un valor distinto de cero y son los que dan masa a las partículas elementales (no a las partículas compuestas).
- La electrodinámica cuántica describe el electromagnetismo a bajas energías, pero requiere la interacción electrodébil y el módulo solar a energías de aproximadamente 80 GeV o superiores. A esas energías, aparecen los bosones W y Z.
- En $M_H = 125\text{GeV}$ encontramos la partícula de Higgs, y aproximadamente en $m_t = 171\text{GeV}$ el quark top, la partícula más pesada del módulo solar.
- Los neutrinos son la parte más misteriosa del módulo solar. Oscilan y se transforman entre estados propios de masa. Los neutrinos podrían ser partículas de Dirac o de Majorana.
- La gravedad no está incluida en el módulo solar.
- Leptones fundamentales: $e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$.
- Quarks fundamentales: u, d, c, s, t, b .
- Bosones de gauge: W^+, W^-, Z^0, γ, g . También tenemos los bosones escalares de Higgs H_0 .

32. Electrónica de semiconductores

Electrónica general

- Heitler y London descubrieron en 1927 las bandas de energía.
- Las bandas de energía son un rango de energías asociadas con los estados cuánticos de los electrones en sólidos cristalinos.
- Las bandas de energía que están completamente llenas de electrones a cero kelvin son bandas de valencia. Las bandas de conducción son bandas con mayor energía por encima de la banda de valencia y un intervalo $\Delta E_g = E - E_F$. La diferencia entre la energía más alta en una banda de valencia y la energía más baja en la banda inmediatamente superior se denomina intervalo de banda o intervalo prohibido. Los conductores son materiales con $E_g = 0$ y tienen una densidad de carga elevada, aproximadamente $n/V = 9 \cdot 10^{23} m^{-3}$. La clasificación de metales, semiconductores o aislantes se basa en la teoría de bandas. Los semiconductores son materiales con $E_g = 0,72 eV$, como el Ge, o $1,1 eV$ para el silicio.
- Para el tipo n, $n/V = 7 \cdot 10^{15} m^{-3}$, como el Si dopado con P. Para el tipo p, $n/V = 1 \cdot 10^9 m^{-3}$, como para el Si dopado con Al.
- Los aislantes tienen $E_g = 7 eV$ o más.

Teoría de semiconductores

- Semiconductor intrínseco: concentración de portadores de carga $n_i = n_e = n_h$. Ejemplo: silicio como semiconductor puro.
- Semiconductor extrínseco: impuro o dopado, puede ser semiconductor de tipo P o semiconductor de tipo N.
- Semiconductores extrínsecos de tipo P: Si o Ge dopados con elementos trivalentes (B,Al). Los electrones son portadores minoritarios. Los huecos son portadores mayoritarios.
- Semiconductores extrínsecos de tipo N: Si o Ge dopados con elementos pentavalentes (P,As,Sb). Los electrones son portadores mayoritarios. Los huecos son portadores minoritarios.

Diodos semiconductores

- P-n con polarización directa. Diodo de unión (compuesto por semiconductores de tipo N y tipo P a nivel atómico): terminal +ve al lado P, terminal -ve al lado N, la corriente de difusión aumenta y la capa de agotamiento se reduce.
- p-n con polarización inversa: terminal -ve al lado P, terminal -ve al lado N, la corriente de difusión disminuye y la capa de agotamiento aumenta.
- LED: diodos emisores de luz. Se utilizan en televisores y dispositivos electrónicos.
- Fotodiodos: unión p.n. cuya función se controla mediante la luz que incide sobre ella.
- Diodo Zener: se utiliza como regulador de voltaje.

33. Extras de Física Cuántica

Principios de la física cuántica

- Las partículas y las ondas tienen una naturaleza dual. Deben describirse mediante funciones de onda. Las funciones de onda satisfacen la ecuación de Schrödinger $H\Psi = E\Psi$. Las funciones de onda no son medibles; se interpretan como amplitudes de probabilidad. $|\Psi|^2 = \Psi^*\Psi$ es una densidad de probabilidad. Principio de incertidumbre de Heisenberg: existen límites para la medición simultánea de ciertas magnitudes. Por ejemplo:

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2 \quad \Delta E \Delta t \geq \hbar/2$$

Las funciones de onda son números complejos. También pueden imaginarse como vectores en espacios abstractos. La computación cuántica explora el principio de superposición y la naturaleza cuántica de la realidad. Los cúbits, cútrits, cúdits, ..., y quits (campos cuánticos) son ejemplos de esta naturaleza. Física cuántica y teoría cuántica de campos, al igual que el SM, son compatibles con los principios de la SR y la Mecánica Cuántica.

- La Mecánica Cuántica implica ciertas correlaciones no clásicas para sistemas compuestos, denominadas estados entrelazados. Además, existen otras mediciones de correlación no clásica observables, como la discordancia cuántica.

Velocidad

