OSCILACIONES

MAS

$F = -kx$ $\qquad \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x \qquad x = A\sin(\omega t + \phi) \qquad \omega^2 = \frac{k}{m}$

origen de tiempos

cond. iniciales

$U = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2$

Etot. punto retroceso

$-A \quad +A$

Péndulo simple: $s = L\phi$

$\frac{d^2\phi}{dt^2} = -\frac{g}{L}\phi \qquad \omega^2 = \frac{g}{L}$

$\phi = \phi_0\cos(\omega t + \delta) \qquad T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad \cancel{f}(A, \phi)$

Péndulo físico $\quad \tau = \frac{dL}{dt} \quad L = I\omega$

$\frac{d^2\phi}{dt^2} = -\underbrace{\left(\frac{MgD}{I}\right)}_{\omega^2}\phi$ $\quad \cancel{f}(M)$

$-MgD\sin\phi$

$I\alpha = I\frac{d^2\phi}{dt^2}$

↑ Amplitud:

$T = T_0\left[1 + \frac{1}{2^2}\sin^2\frac{\phi}{2} + \ldots^4\right]$

$F = -kE = -\frac{\partial U}{\partial x}$

$U = A + B(x - x_0)^2$

Péndulo de torsión $\quad \tau = -k\phi = I\alpha$

$\frac{d^2\phi}{dt^2} = -\frac{k}{I}\phi$ módulo de torsión

MASA

$F_v = -bv \qquad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m}\frac{dx}{dt} + \frac{k}{m}x = 0$

$x = A_0 e^{-\lambda t}\sin(\quad)$ cond.

$\left\{\begin{array}{l}\lambda = \frac{b}{2m}\\ \omega^2 = \omega_0^2 - \lambda^2\end{array}\right.$

$\lambda = \frac{1}{2\tau}$ de extinción (1/e) (energía)!

$u = \frac{\tau}{T}$ amortig.

$$Q = \frac{2\pi}{\left.\frac{\Delta E}{E}\right|_{ciclo}} \simeq \omega_0 \cdot \frac{m}{b}$$

MASF

$F_{ext} = F_0\cos\omega t \qquad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m}\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}\cos\omega t$ (solución estacionaria)

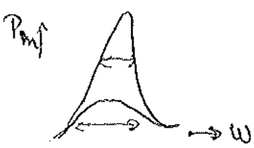
$A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + b^2\omega^2}}$ pequeña si b grande

$\operatorname{tg}\delta = \frac{b\omega}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$

$x = A\cos(\omega t - \delta)$ de la F. ext. fija modos

Resonancia $\hat{=} \omega_0$

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{Q}$$



+ estrechos cuanto menor amortiguac.

$(\Delta\omega = 2b/m)$

CIRCUITOS LRC

resistencia → pérdida
condensador → almacena
bobinas → almacén inercial (Lo se opone)

$\hat{=}$ osc. mecánico amortiguado

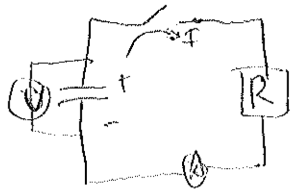
RC (Q)

Amortiguador

Descarga:

I $\boxed{\frac{Q}{C} - IR = 0}$ $\Rightarrow Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$; $I = -\frac{dQ}{dt}$; I, V ; I_0 / V_0

$\tau = RC$



Carga: $\mathcal{E}$

II $\boxed{\mathcal{E} - IR - \frac{Q}{C} = 0}$ $\Rightarrow Q(t) = \underbrace{C \cdot \mathcal{E}}_{Q_f} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$; $I = +\frac{dQ}{dt}$

I — una vez cargado: circuito abierto

$W_{con} = \frac{1}{2} C\mathcal{E}^2 = E_{dis}$ (mitad-mitad) $\qquad \eta_{el} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$

Corriente variable: coef. autoinducción (H)

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \quad \text{FEM ind.} \qquad L = \frac{\phi_m}{I} = \mu_0 n^2 A l$$

Inductancia mutua: $M_{21} = \frac{\phi_{m2}}{I_1}$

$\phi_{m1} = L_1 I_1 + M_{21} I_2 \iff =$

RL $\mathcal{E}$ (I)

II $\boxed{\mathcal{E}_0 - IR - L\frac{dI}{dt} = 0}$ $\Rightarrow I(t) = \frac{\mathcal{E}_0}{R}\left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}\right) = I_f\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$ $\qquad \tau = L/R$

una vez I_f, inductor almacena E y no actúa

$(W)^{U}_{bob} = \frac{1}{2} L I_f^2 \qquad \eta_m = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$

$\eta_t = \eta_m + \eta_{el}$

III LC sin $\mathcal{E}$

$$L\frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} = 0 \quad \left(\frac{dI}{dt} = \frac{d^2Q}{dt^2}\right) \quad \hat{=}\ m\frac{d^2x}{dt^2} + Kx = 0 \qquad \longrightarrow \qquad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$Q = Q_0 \cdot \cos(\omega t + \delta)$ (no disipa!) → estacionario armónico bob ⇔ cond

LCR sin $\mathcal{E}$

$$\boxed{L\frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} + IR = 0} \ \hat{=}\ \text{mam.} \longrightarrow \boxed{Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}\cos(\omega' t + \delta)} \qquad \alpha = \frac{R}{2L}$$

$$\omega'^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2} = \omega_0^2 - \alpha^2$$

$E = E_0 \cdot e^{-t/\tau}$

si ω' → mov. crítico amortiguado

$$\underbrace{IL\frac{dI}{dt}}_{(1/2\,(LI^2))'\ (+)} + \underbrace{I\frac{Q}{C}}_{\text{drio. } \frac{1}{2}Q^2/C\ (+)} + \underbrace{I^2R}_{\text{disipa } E\ (R)\ (+)} = P_{inst.}\ \text{sistema}$$

$$P = \frac{dU}{dt} = \frac{Q}{C}\frac{dQ}{dt}$$

$$LC \begin{cases} U_e = \frac{1}{2}\frac{Q_0^2}{C}\cos^2(\omega t + \varphi) \\ U_m = \frac{1}{2} L\omega^2 Q_0^2 \sin^2(\omega t + \varphi) \end{cases} U_t = \frac{1}{2} Q_0^2 / C$$

152/850/867

C. ALTERNA Y LRC

$\phi = N \cdot B \cdot A \cos\theta$, $\theta = \omega t - \delta$

$\mathcal{E}_i = \underbrace{NBA\omega}_{\mathcal{E}_{max}} \sin(\omega t - \delta)$

$\mathcal{E}_{s1} = -\frac{d\phi}{dt}$ $\quad \mathcal{E}_{s2} = -M\frac{dI_1}{dt}$ $\quad \frac{\mathcal{E}_{s2}}{\mathcal{E}_{s1}} = \frac{M}{L} = \frac{N_2}{N_1}$

$L = \mu_0 n_1^2 A l$
$M = \mu_0 n_1 n_2 A l$

Pot. se conserva $\rightarrow$ $\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{\mathcal{E}_{s2}}{\mathcal{E}_{s1}} = \frac{N_2}{N_1}}$

Circuito resistivo:

$I = \frac{\mathcal{E}_{max}\cos\omega t}{R}$ (en fase)

$P_{cons} = I^2 R = I_{max}^2 \cdot \cos^2(\omega t)$

$\hookrightarrow P_{med} = \frac{1}{2} I_{max}^2 R$

$\hookrightarrow = \mathcal{E}_{ef} \cdot I_{ef} = \frac{\mathcal{E}_{ef}^2}{R} = I_{ef}^2 R$

$\hookrightarrow I_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{max} = I_{med}$

$\mathcal{E}_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} \mathcal{E}_{max} = \mathcal{E}_{med}$

Con Condensador

$Q = C\,\mathcal{E}_{max}\cos(\omega t)$

$I = \underbrace{-\omega C \mathcal{E}_{max}}_{I_{max}} \sin(\omega t)$ (tensión retraso $\pi/2$)

$\Leftrightarrow X_C = \frac{1}{C\omega}$: Reactancia capacitiva $\quad \propto \frac{1}{\omega, C}$

$I_{max} = \frac{\mathcal{E}_{max}}{X_C} \Rightarrow I_{ef} = \frac{\mathcal{E}_{ef}}{X_C}$

$\hookrightarrow$ "deja" pasar corriente!

Con autoinducción

$V_L = \mathcal{E}_{max}\cos(\omega t)$ $\quad dI = \frac{\mathcal{E}_{max}}{L}\cos\omega t\, dt$

$\propto \frac{1}{\omega}$!!

sigue al generador duplica y no consume

$\hookrightarrow I = \frac{\mathcal{E}_{max}}{\omega L}\sin\omega t = I_{max}\sin\omega t$ $\rightarrow$ desfase de $\pi/2$ respecto al voltaje

$I_{max} = \frac{\mathcal{E}_{max}}{\omega L} \Leftrightarrow X_L = \omega L \rightarrow I_m = \frac{\mathcal{E}_m}{X_L} \Leftrightarrow I_{ef} = \frac{\mathcal{E}_e}{X_L}$

no consume energía $\quad$ Reactancia inductiva

$X_L \propto \omega$
(se opone a cambios)

$$L\frac{d^2Q}{dt^2} + R\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}_{max}\cdot\cos(\omega t) \qquad \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$$

$\equiv$ oscilador armónico forzado

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + b\frac{dx}{dt} + m\omega_0^2 x = F_0\cos(\omega t) \qquad \omega_0 = \sqrt{k/m}$$

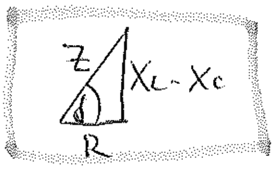
resonancia ω'

$$Q = Q_{max}\sin(\omega t - \delta) \qquad I = I_{máx}\cos(\omega t - \delta)$$

sol. estac.
no depende de cond. inic.
Q_0, δ, ω: caract. físicas!

$Q_{max} = \ldots$

$$I_{max} = \underbrace{\frac{\mathcal{E}_{max}}{Z}}_{Q\cdot\omega}$$



$\mathrm{tg}\,\delta$

Z → Impedancia "multiplica amplit" ⟶ R equivalente en continua

$\mathcal{E}(\omega, \mathcal{E}_0)$

R disipa
L actúa sobre I ⟶ se retrasa δ sobre la fem
C " " Q

inductancia: se opone a cambios, sin efecto en estático $\omega \to 0$ ⟶ $L\omega$

capacitancia: no dejan pasar si es cte; sin efectos a grandes ω ⟶ $1/C\omega$

Resonancia

$Z_{min} \to X_L = X_C \to \omega = \omega_0$ (un poco menos) en la amplitud

R pequeña → Q grande → curva aguda

$$\omega_r = \omega_0^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2$$

I = en todos casos

R: $V_R = IR = Q_0\omega\cos(\omega t - \delta)$ en fase

C: $V_C = Q_0/C\,\mathrm{sen}(\omega t - \delta)$ $V_{\pi/2}$ tarde ¿guardar?

L: $V_L = -LQ_0\omega^2\,\mathrm{sen}(\omega t - \delta)$ $I\,\pi/2$ tarde

f.c.e.m $\frac{dI}{dt}$ se quita
$\frac{dI}{dt} < 0$ da

Potencia

$$P = I^2 R \longrightarrow \langle P \rangle = \frac{1}{2}\mathcal{E}_{max}^2 R/Z^2$$

$\omega \to \omega_0 \to$ Potencia max (aquí sí =)
la energía almacenada

$$Q = \frac{2\pi E}{\Delta E} = \omega_0\frac{L}{R}$$

$\langle P \rangle = \mathcal{E}_{ef} I_{ef}\cdot \cos\delta$ → factor de potencia $1/\ldots$

$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{Q}$ → en res. $Z = R$

grupo V_{ext}^2 923 1034

	LCR	OAF
Vd	Q	x
Coef vd	$1/C$	k
Coef '	R	b
Coef ''	L	m
Fuente	$\mathcal{E}_{max}\cos\omega t$	$F_0\cos\omega t$
ω_0	$\sqrt{1/LC}$	$\sqrt{k/m}$

MOVIMIENTO ONDULATORIO

- viajeras → $\vec{r}$, $\vec{v}$ 1, 2, 3 D
- estacionarias

- transporte E y p en el espacio sin transporte de materia → se propaga el estado dinámico
- → en ondas materiales mediante perturbació medio → p. elást.

- materiales → medio elástico
- electromagnéticas → vacío

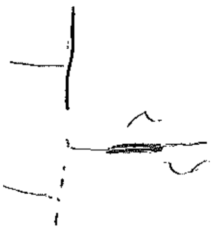
- transversales   propaga $\perp$ vibrac
- longitudinales $\parallel$

---

pulso, velocid de propagac (grupo)

m. dispersivo si varía su forma

reflexión - transmisión cuando varían propieds



Función de ondas

x, t v_p

$$y(x,t) = y'(x - vt) = y(x - vt)$$

onda viajera, propagac perturbac

$$y = A \cdot e^{-k(x-vt)}$$

---

v_p sólo depende del medio, no de fuente, c. inic.

cuerda → $\boxed{v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}}$ → densid lineal   sonido → $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$ → Ecuac general de ondas (función) en forma diferencial

---

$y(x,t)$ ~ sinusoidal → onda armónica

características se repiten entre dterms ts → longitud de onda
→ periodos

no limitada en t ni x.

$\boxed{v = \lambda f}$

$$\boxed{y(x,t) = \underset{\text{amplitud oscilac}}{A} \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t\right]} = A\sin[k(x - vt)]$$

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ → nº de ondas

$kv = \omega$

$E_t = \frac{1}{2}kA^2$ (Δm) $k = m\omega^2$ $\Delta m = \mu \Delta x$

$E = \int \frac{1}{2}\mu \omega^2 A^2 dx$

$P = \frac{1}{2}\mu \omega^2 A^2 v \quad \propto A^2, \omega^2, v$ (general)

margen

función · circulares

$\angle$ p.E. frente $\frac{1}{r} \rightarrow A \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$

transmisión:

$P_{en} = P_{sal}$

$\angle$ sup: $\frac{1}{r^2} \rightarrow A \propto \frac{1}{r}$ (atenua)

Frentes de ondas: puntos a la misma altura

$\lambda \rightarrow$ dtcia entre ondas contiguas (agua)

sonido $\rightarrow$ superficies esféricas concéntricas

Rayos: dirección propagª, siempre perpendicular al frente de ondas

---

Onda plana: rayos paralelos a gran dtcia foco

$\rightarrow$ Intensidad $I \equiv P/$unidad de área ($\perp$)

$I = P_m/A$ $\quad W/m^2$

$3D \rightarrow I = \frac{P}{4\pi r^2}$ (ley atenua) esféricas superficiales $\frac{P}{2\pi r}$?

$\Delta E = \eta \, \Delta v \, \Delta t$ $\quad P_m = \eta A V$ $\quad$ P se conserva, I no

η densidad de energía

$\boxed{I = \eta v}$

desarrollos

~~XXXX~~

~~XXXX~~

~~XXXX~~

Tipl.

ONDAS SONORAS

zonas de alta y baja presión, choques propagan

compresión ~~enrarecimiento~~ → desplaza∅ organizado alrededor de equilibrio

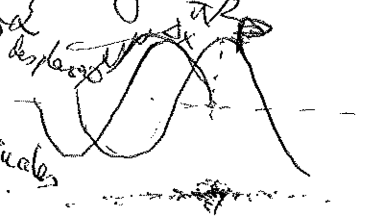
densid elevada ⇒ baja

no hay movi∅ neto sino varid de la densid respecto al equilibrio

colisión moléculas excitadas transmiten la perturba∅ ↳ se propaga y origina onda sonora

↳ ⇒ transmisión ρ, E

Ondas de presión en un medio sólido, longitudinales



$s(x,t) = s_0 \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$ → varid ρ, P

$P(x,t) = P_0 \cdot \text{sen}(kx - \omega t - \pi/2)$

$\boxed{P_0 = \rho \omega v s_0}$ $\quad E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \quad \Delta E = \frac{1}{2}\rho \omega^2 s_0^2 \Delta V$

↳ $\eta = \frac{1}{2}\rho \omega^2 s_0^2$

↳ $I = \underbrace{\frac{1}{2}\rho \omega^2 s_0^2 v}_{\eta \cdot v} = \frac{1}{2}\frac{P_0^2}{\rho v}$ $\quad \propto P_0^2,\ s_0^2$ (y [illegible] A^2)

$\boxed{v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}}$

sonido se propaga + rápido en s, l q en g → $\geq \rho$, $\gg B$

---

nivel de intensid

$\boxed{\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}\ dB}$

I_0 → umbral de audición $10^{-12}\,W/m^2 \longleftrightarrow 1\,W/m^2$

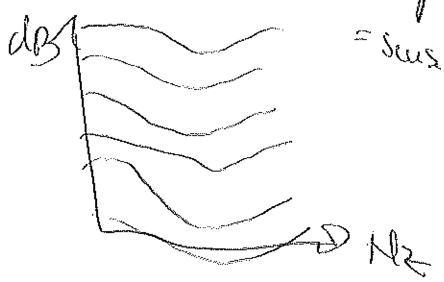
sensa∅ son. no es lineal con la intensid ($\neq kI$)

$3 \cdot 10^{-5}$ Pa ⟷ 30 Pa → 10^5 Pa (Patm)

↓ 0 dB ↓ 120 dB

curvas

sensación sonora, fones



→ no igual sensible a todas ν

+ sensibilidad entre 1000 y 10000 Hz

Efecto Doppler

$v \neq v(A) \neq v(\nu)$ → propied del medio!

$$\boxed{f' = f_0 \left(\frac{1 \pm \frac{u_{rec}}{v}}{1 \pm \frac{u_{em}}{v}} \right)} \begin{matrix} \to \text{receptor} \\ \to \text{fuente} \end{matrix}$$

acercarse $(\pm)$

alejarse $(\mp)$

P → toda la E posible en foco o esfera

→ se mantiene en todo el frente

I → se distribuye en el espacio

→ cada vez <

"puntual"

↓

F.P

459, 461

ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

$$\oiint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = \frac{Q_{enc}}{\varepsilon_0} \qquad \oint_C \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\Phi_{mag} = -\frac{d}{dt}\iint_S \vec{B}\cdot d\vec{S}$$

$$\oiint_S \vec{B}\cdot d\vec{S} = 0 \qquad \oint_C \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0\varepsilon_0\frac{d}{dt}\iint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}$$

Simetría en el vacío → no es necesario un medio material

OEM → campos acoplados, en fase

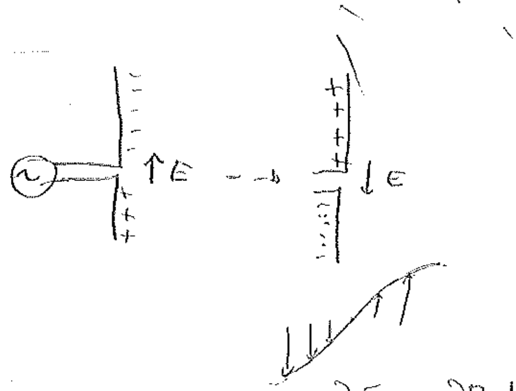
→ origen en cargas aceleradas

→ ondas transversales $\vec{E}\cdot\vec{B} = 0$ $\vec{z} = \vec{E}\times\vec{B} = k$

944
949
1058

$$\boxed{\begin{gathered} \rightarrow \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = \mu_0\varepsilon_0 \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} \\ c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} \\ \rightarrow E = c\cdot B \end{gathered}}$$

$\hat{=} B_y$ → Ecuación de ondas



radio → antena dipolar

i. rojo → cargas aceleradas (choques, calor)

luz → transiciones atómicas

... +

$\partial E \to \partial B \perp$ en fase

prop → $\vec{z}$

Energías:

transporte E, p

$I = \eta_m \cdot c$

$$u = u_m + u_e = \frac{1}{2}\left(\frac{B^2}{\mu_0} + \varepsilon_0 E^2\right) \overset{E=cB}{\Rightarrow} u_m = u_e$$

$$= \cancel{2}\frac{B^2}{\mu_0} = \frac{E\cdot B}{\mu_0 c}$$

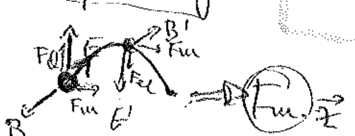
$$I = \frac{E_{ef}\cdot B_{ef}}{\mu_0} = \frac{1}{2}\frac{E_0\cdot B_0}{\mu_0} = |\vec{S}|_{ef}$$

max $\vec{z}$

$$I(\theta) \propto \frac{\sin^2\theta}{R^2}$$

Vector de Poynting: $\boxed{\vec{S} = \frac{\vec{E}\times\vec{B}}{\mu_0}}$ (propag., | intensidad ef / luz)

Momento



$\hat{=}$ dipolo magn → emite OEM indep. de las causantes

$\boxed{\frac{dp}{dV} = \frac{S}{c^2}}$, $P = \frac{F}{A} = \frac{1}{A}\frac{dp}{dt} = \frac{S}{c} \equiv$ Presión de radiación $= \frac{E_{rad}}{A}$ mom. transportado x Área y tiempo

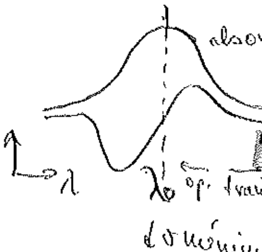
Índice de refracción

Interactúa al entrar en medio, < v x efectos, tardan t

fenóm. resonancia

↳ medio transparente si no hay (sólo baja v)

opaco si hay, se absorbe la luz



absorción en vacío (UV)

λ_0 op. transp.

$n = \frac{c}{v} > 1$ Hasta si siempre en medio

↓ o mínimo

cambia según material

(in)homogéneo

(an)isótropo

(no)dispersivo

UV → aire ✓ cristal ✓ entrecuarzo ✓

cristalino absorbe lo no visible

cielo → ↓↓↓ dipolo oscilante SW

→ azul

→ roja

luz azul difusa opacidad

REFLEXIÓN, REFRACCIÓN Y DISPERSIÓN

obstáculos → difracción

sin " → reflexión, refracción

frente ondas

T. de Huygens → ondas luminosas, foco puntual, suma de ellos (envolvente) es la onda total

→ frente ondas progresa como ondas esféricas elementales envolvente en Δt nuevo frente de ondas

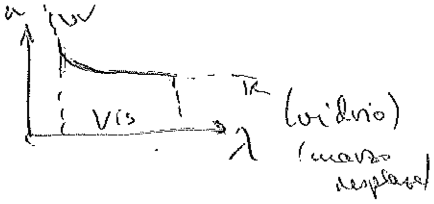
2 medios dieléctricos transparentes → parte refleja y refracta

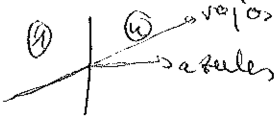
Leyes de Snell

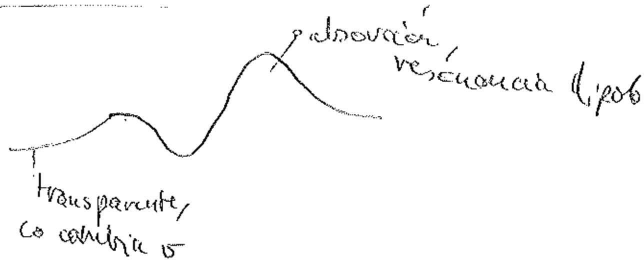
- Rayo inc, refl, normal, refr son coplanarios (plano incidente)
- $\alpha_{inc} = \alpha_{refl}$
- $n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2$

reflexión total → ángulo crítico

Dispersión cromática

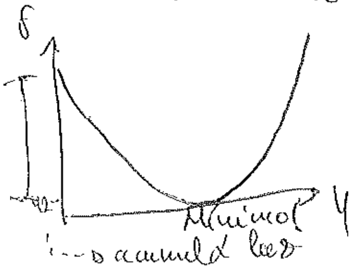






$n \propto \nu$ (dispersión normal)

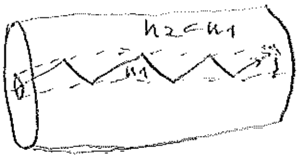
Arcoiris → 42°



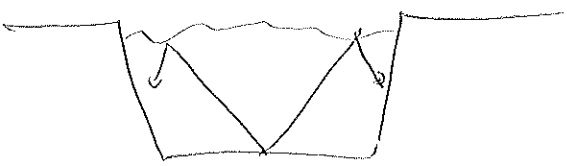
luego...

aire frío / caliente → espejismos

no ilumina bordes



refl. total



POLARIZACIÓN

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0$$

onda armónica $\vec{E}(z,t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kz)$ $k = \frac{\omega}{v} = \frac{c}{v}\cdot\frac{\omega}{c} = nk_0$

$\omega = 2\pi$

$B \perp$ no importa z

$\vec{E}\cdot\vec{B} = 0$ en fase $\perp z$

$E = c \cdot B$

$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y$ $E_y = E_{0y}\cdot\cos(kz - \omega t + \varphi_{xy})$

↳ Plano de polarización ($\perp z$)

Polariz. → lineal/plano ⟹ $\varphi = 0, \pi$ < $E_{0x} = E_{0y}$ → $P_{45°}$; P_α; $E_{0x} \neq E_{0y}$ ... $\alpha = \arctg \frac{E_{0y}}{E_{0x}}$

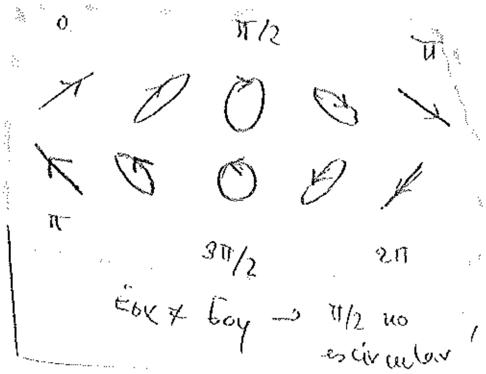
(parcial)

Circular < dextrógira ⟹ $\varphi = \pi/2$ R; levógira $\varphi = -\pi/2$ $\mathcal{L}$

Elíptica si $\varphi \neq k\pi$; $\varphi = \pm\pi/2 \wedge E_{0x} \neq E_{0y}$

¿otras combinaciones?

$$\boxed{\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - \frac{2E_xE_y}{E_{0x}E_{0y}}\cos\varphi = \sin^2\varphi}$$



Luz natural:

$E_y = E_0\cos(\omega t + \varphi_\alpha(t))$ → aleatoria breves pulsos → incoherentes (t), aleat.

$E_x = E_0\cos\omega t$

Grado de polarización

$$\boxed{V = \frac{I_p}{I_p + I_{np}}}$$ $0 \to 1$ → luz parcial. polarizada entre natural ↔ total

polarizar con: dicroísmo, reflexión, refracción, difusión

Dicroísmo: (absorber + ó − luz dependiendo le estado de polariz.)

⟷ absorbe un eje, permite el perpendicular ⟹ P_α ... no desfase sino respecto al otro ¿?

↳ polarizador lineal (total) ... polaroides gafas sol

$N \to P_{90°}$ $I_0 \to \frac{I_0}{2}$

$P_\alpha \to P_\beta$ $\alpha - \beta$

Ley de Malus

$$I_f = I_0 \cdot \cos^2(\underbrace{\alpha - \beta}_{\theta})$$ $\pi/4 \ldots I_0/2$

.... Luz parcial. polarizada + elíp. y complicado

Reflexión y refracción

cantid Z_0 $f(\theta_i, n, \theta_t)$ $T_{\perp,\parallel}$ R → $\perp$ plano incid.

luz natural reflejada → parcial. polarizada → total$_{R=0_{\parallel}}$ para θ_i → refr $\perp$ refl.

↳ Ángulo de Brewster $\operatorname{tg}\theta_B = \frac{n_2}{n_1}$

luz reflejada lineal. polarizada (total) $\perp$ plano incid E, transmitida parcial siempre nat.

polarizadores: dicroicos verticales ... espejos 0, natural 1/2

si luz polarizado P. inc → refl = 0, refr. polarizado total

INTERFERENCIAS

$\omega_2 \to I \sim A^2$, promedios T $\varphi \Rightarrow$

Principio de superposición

$\psi = \psi_1 + \psi_2$ Suma algebraica ondas

$E = E_{10}\cos(\omega_1 t + \varphi_1) + E_{20}\cos(\omega_2 t + \varphi_2)$

$\downarrow$

$I = E_{10}^2\cos^2(\omega_1 t + \varphi_1) + E_{20}^2\cos^2(\omega_2 t + \varphi_2) + E_{10}E_{20}\cos((\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_1 - \varphi_2)$
$+ E_{10}E_{20}\cos((\omega_1 + \omega_2)t + \varphi_1 + \varphi_2)$

$\langle I \rangle = \dfrac{E_{10}^2}{2} + \dfrac{E_{20}^2}{2} + E_{10}E_{20}\cos(\underbrace{\varphi_1 - \varphi_2}_{cte.}) + 0$

$I = \dfrac{E^2}{2}$

polariz.

$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\phi$

saber

$\to \Delta\phi = 0$
$= \pi$

$V = \dfrac{I_M - I_m}{I_M + I_m}$ $0 \leftrightarrow 1$ $I_1 = I_2$ ✓

Condiciones de interferencia

1. $\vec{E_1} = \vec{E_2}$ (my polariz)
2. $\omega_1 \simeq \omega_2$ (frecuε)
3. $E_1 \simeq E_2$ (amplitud)
4. $\Delta\phi$ cte (t) $\to$ coherencia

Interferencia por división

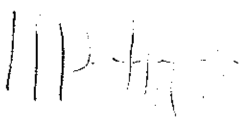
→ ① frente de ondas
→ ② amplitud → Transmisión / Reflexión

①

$\Delta\phi \simeq k\dfrac{2ax}{D}$ $\to x_{max} = \dfrac{m\lambda D}{2a}$

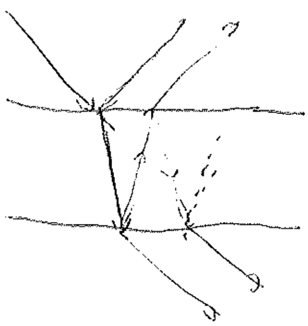
$x_{min} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\dfrac{\lambda D}{2a}$

m: orden de interferencia



≠ Ger desamll

②



1. $\Delta\phi = \dfrac{2\pi}{\lambda_0}2e\left(n - \dfrac{\varepsilon^2}{n}\right)$ π destr. 2π constr.

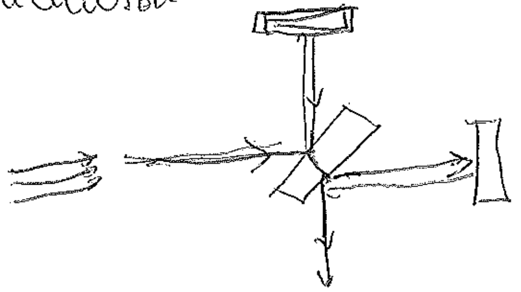
2. $\to$ saltos de fase en π radianes al reflejarse

máximo x transmisión $\to$ mínimo reflexión (conservar energía)

Tb 91 - 42% dsk

Interferómetros

Michelson



→ patrón de interferencias según el camino óptico

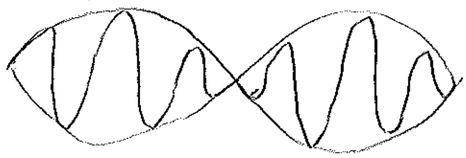
$\Delta\phi = k_0 (n_1 l_1 - n_2 l_2)$

Pulsaciones (batidos)

Ws próximas

→ Amplitudenmodulation → Schwebung

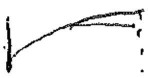
$$\boxed{P = 2P_0 \underbrace{\cos\left(\frac{W_1 - W_2}{2} t\right)}_{\text{envolvente}} \underbrace{\operatorname{sen}\left(\frac{W_1 + W_2}{2} t\right)}_{\text{portadora}}}$$



Ondas estacionarias

ondas confinadas en el espacio → frecuencias discretas

$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$  ... armónicos

$L = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$  → sólo impares

extr. abierto ampl. máxima

$y_+ = A \operatorname{sen}(kx - \omega t)$

$y_- = A \operatorname{sen}(kx + \omega t)$ — dirección

→ $y = 2A \cos(\omega t) \operatorname{sen}(kx)$ $x = 0, L \to 0$

$y = \sum_{n=1}^{\infty} y_n$ → armónicas (análisis de Fourier)

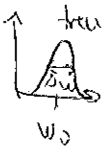
↳ Timbre instrumento

Paquetes de onda

pulsos ↔ señal para info → localizados en t, x, inicio – final

$z(x,t) = z_0 \cdot e^{-(x-vt)^2/\alpha^2}$ — anchura/dureza

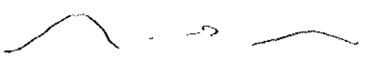
↳ transformada de Fourier $\sum^{\infty}$ armón.



tren de ondas

$\Delta\omega \cdot \Delta t \approx 1$

$\Delta k \cdot \Delta x \approx 1$

 → mejor medios ópticos

W_0 no lineales !!

↳ medio dispersivo si $v(\omega)$

atrás se retrasan, alante se adelantan

v. grupo → paquete

v. fase → la de cada armónico

dtto.!

DIFRACCIÓN

- Fresnel (cerca, cambia)
- → Fraunhofer (lejos, =)

P. de Huygens, interferencia ondículas

→ encontrar obstáculo → difracción

- puntual ≠ f(θ)
- estrecha I ↑ si θ > → $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$

$a\sin\theta = m\lambda$ → Mínimos

→ $y = \frac{L\lambda}{a}$

$I(P,L) = I_0 \,\mathrm{senc}^2\left(\frac{\pi a}{\lambda L} y_a\right)$ ← rendija unid.

$\left(\frac{\pi a}{\lambda L} x_p\right) \cdots \left(\frac{\pi b}{\lambda L} y_p\right)$ ← rend rect.

$\sin\theta = 1{,}22\frac{\lambda}{D}$ ← apertura circular

distorsión imagen abertura circular

Criterio Rayleigh: $\approx 1{,}22 \frac{\lambda}{a} \approx \sin\theta$

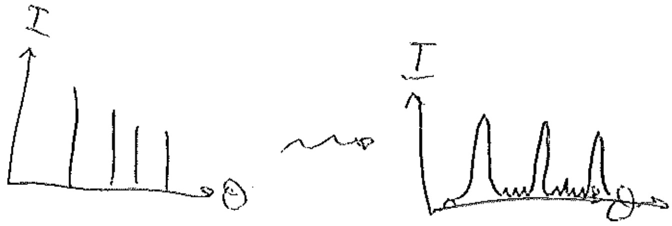
Red de difracción

$>I$ $\quad I_{max} = N^2 I_0$ $\quad$ + agudeza

$d\sin\theta = m\lambda$ → Máximo

Ley de Bragg

$\Delta L_{opt} = 2d\sin\theta = m\lambda$



Ó. GEOMÉTRICA

(11)

ESPEJO PLANO

Im. virtual

$E \to \Delta t \to I \to 2\Delta t$

$\alpha \to 2\alpha$

$R\alpha \to -\alpha$

Inversión en profundidad

derecha → izqda

$\beta = \text{Aum} = \frac{y'}{y} = \boxed{-\frac{s'}{s}}$ Aum

$-\infty, \infty$

$|\text{Aum}| > 1$ Aum

ESPEJO ESFÉRICO

$$\boxed{\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f}}$$

Foco $f = \frac{r}{2}$

REAL

$\underbrace{s, s'}_{}, r, f$ CC

REFLEXIÓN

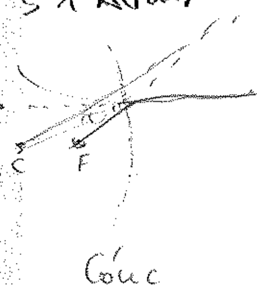
Rayos:

Foco

centro

O

Paralelo



Cónc

Conv.

DIOPTRIO ESFÉRICO PARAXIAL

$$\boxed{\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{r}}$$

Refracción

s s', r, f

R CV

Foco objeto F $(s' \to \infty)$

Foco imagen F' $(s \to \infty)$

AL: $\boxed{\beta' = -\frac{n}{n'} \frac{s'}{s}}$

$\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n'}{f'} = \frac{n}{f}$

DIOPTRIO PLANO

$n's = -ns'$

Constructor lentes: $\frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ aire

LENTES DELGADAS

$$\boxed{\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f'} = \frac{n_2 - n_1}{n_1}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)}$$

n_1 aire

2 pasos

β' ? $\cancel{\frac{n}{s} \frac{n'}{s'}}$?

≙ DE

f' dist. focal imagen de la lente

$f_1' = \frac{n_2}{n_2 - n_1} r_1$ $f_2' = \frac{n_1}{n_1 - n_2} r_2$

Rayos:

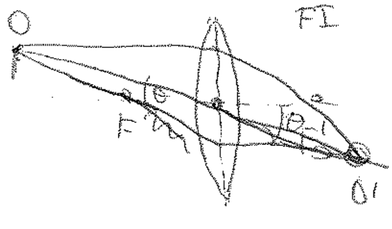
FO

FI

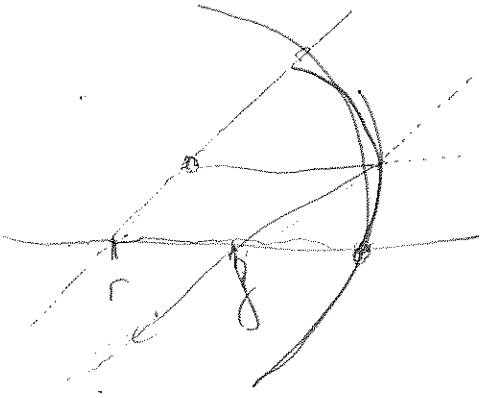
Potencia $= \frac{1}{f} \to \frac{1}{m} =$ dioptrías f peq → Pot (refracc.)

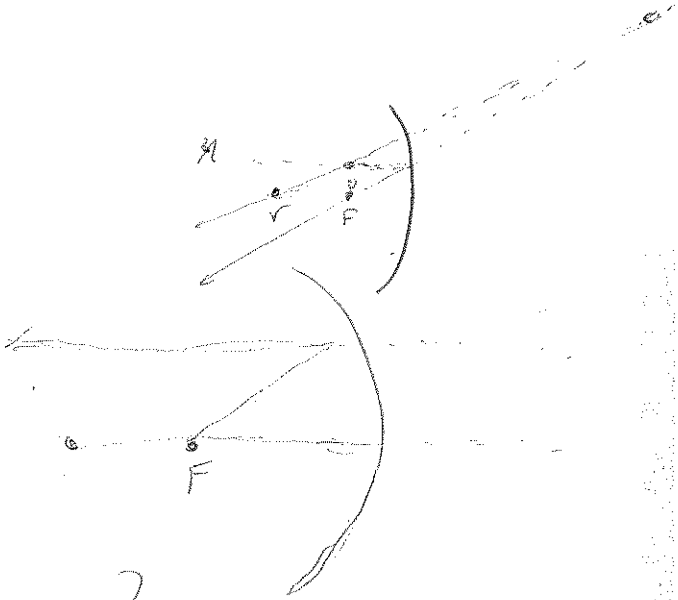
> 0 (f real) = convergentes

< 0 (f virt) = divergentes



3 casos





Espejos

f, r, s, s'
R

$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{2}{r}=\frac{1}{f}$

Dioptrios

$\frac{n}{s}+\frac{n'}{s'}=\frac{n'-n}{r}$

s ← • → r, f, s' Real

2 focos FO: F
FI: F'

Dioptrio esférico

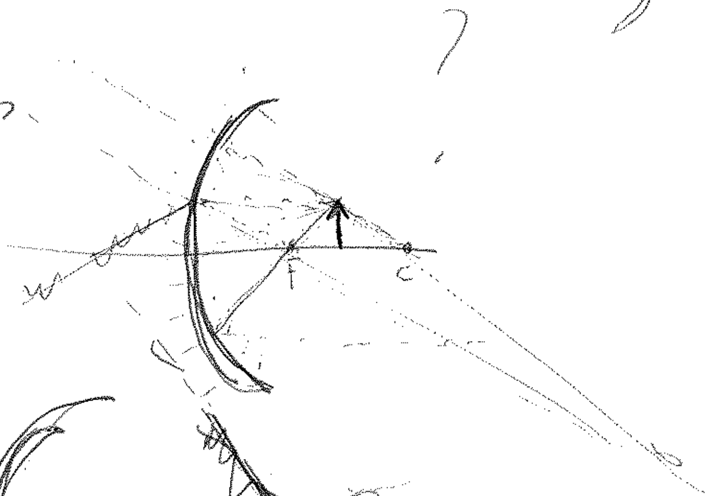
$\frac{n}{s}+\frac{n'}{s'}=\frac{n'}{f'}$

$\frac{n}{s}+\frac{n'}{s}=\frac{n}{f}$

d. plano ($r=\infty$)

$n s' = -n' s$

3 casos

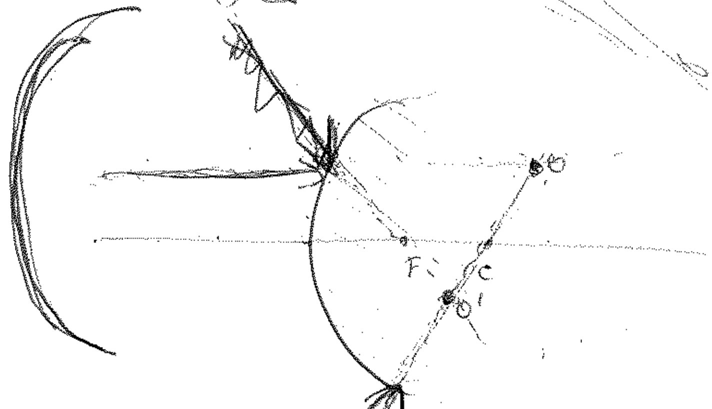


lente delgada

$\frac{n_1}{s}+\frac{n_1}{s'}=\frac{n_1}{f_2}+\frac{n_2}{f_1}$

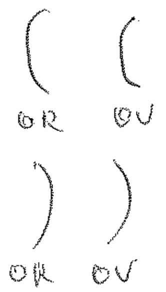
$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f'}$ FI

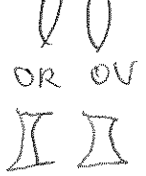
$=\frac{n_2-n_1}{n_1}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$



incidencia obj. real s, fo

transmisión im. real s', f', r





Aumentos

RELATIVIDAD ESPECIAL I

Galileo: sist. de referencia en mov. uniforme indistinguibles

→ leyes de Newton = en cualquier sistema de referE inercial

$\vec{a}' = \vec{a}$ no exp. local

$$\begin{cases} x' = x - u_x (t - t_0) \\ y' = y - u_y (t - t_0) \\ z' = z - u_z (t - t_0) \\ t' = t \end{cases}$$

$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$

Composición de velocidades clásica

Electromagnetismo:

$E' = \vec{E} - u \times \vec{B}$ $\vec{B}' = \vec{B}$ → campos magnéticos y eléctricos "comunicantes"

Michelson - Morley 1887

$t_0 = \frac{2L}{c}$ $t_1 = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{u}{c}\right)^2}$ $\frac{L}{c+u} - \frac{L}{c-u}$

$$\Delta t = \left(\frac{1}{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \right) = \frac{L}{c} \frac{u^2}{c^2}$$

Ppo de relatividad de Einstein

1) Leyes de la física son las mismas en todo s. ref. inercial
2) Velocidad de la luz es c en todos ellos.

⇒ 1) Concepto de simultaneidad es relativo al s.v.
2) Dilatación del tiempo (relojes en móvil atrasan) Se ve una cosa en uno y la otra en el otro s.
3) Contracción de longitudes (reglas en móvil se contraen)
4) No hay " " " en direc. $\perp$ al móvil (Argumento Taylor & Wheeler)

1) $t \neq t'$

2) $\Delta t'_{s'} = \Delta t_s$
$\Delta t_{s'} = \gamma \Delta t'_{s'}$
$\Delta t'_s = \gamma \Delta t_s$

3) $L' = L_0 \gamma$

simetría observadores

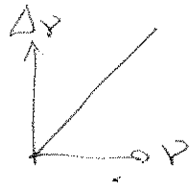
RELATIVIDAD ESPECIAL II

ondas se propagan independiente del movi fuente/observador

$v_s = \lambda \nu$

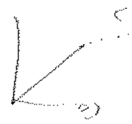
Efecto Doppler relativista

$$\boxed{\nu' = \nu \sqrt{\frac{1 + u/c}{1 - u/c}}}$$ (acercam relativo)   simetría



Ley de Hubble

$\boxed{D = \frac{u}{H}}$ → expansión universo → corrimiento hacia el rojo
base teoría Big Bang

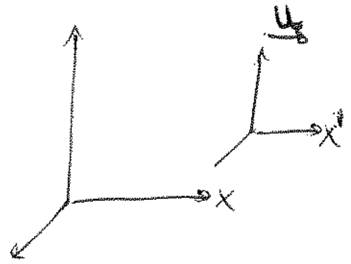


Transformaciones de Lorentz

$$\boxed{\begin{aligned} \Delta t &= \gamma \left(\Delta t' + \frac{u}{c^2} \Delta x'\right) \\ \Delta x &= \gamma (\Delta x' + u \Delta t') \\ \Delta y &= \Delta y' \\ \Delta z &= \Delta z' \end{aligned}}$$

$\longleftrightarrow \Delta t' = \quad -$

$\Delta x' = \quad -$



$u \ll c \rightarrow$ Galileo

$\Delta x^2 - c^2 (\Delta t)^2$ invariante

- Tiempo propio: 2 sucesos en mismo punto espacio (t mínimo)
- Longitud propia: l en s. ref. en reposo en Δt (l. máxima)

Ley de transformación de velocidades:

$$v_x = \frac{v_x' + u}{\left(1 + \frac{u}{c^2} v_x'\right)} \qquad v_y = \frac{v_y'}{1 + \frac{u}{c^2} v_x'}$$

→ $u \ll c$ → Galileo

→ $u = c$, $v_x' = c$ → c

→ $|v_x \leq c$!

Dinámica relativista

1ª → S. aisl. → $\sum p = cte$, en s. ref. in = → homogeneidad espacio invarianza leyes bajo traslación

$\rightarrow \vec{p} = m \cdot \underbrace{\gamma_v \vec{v}}_{\vec{\eta}\text{: velocid propia}}$ mom relativista $\gamma_v = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{|v|^2}{c^2}}}$ v. obj. en s.ref.

$(\Delta \vec{x}, \Delta t) \rightarrow$ cuadrivector $\gamma_v = \gamma_v' \gamma_u \left(1 + \frac{u v_x'}{c^2}\right)$

Energía relativista:

$$E = \gamma_v m c^2 = \cancel{c} \approx \underbrace{mc^2}_{E\text{ en reposo } E_0} + \underbrace{\frac{1}{2} m v^2}_{E\text{. cinética clásica}}$$

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

$\beta = \frac{v}{c} = \frac{pc}{E_{tot}} \leq 1$

2ª

$$\vec{F} = \frac{\vec{v}}{c^2} \frac{d\vec{v}}{dt} \gamma_v^3$$

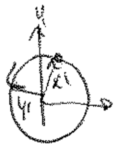
$E^2 - p^2 c^2$ invariante

Generaliza leyes gravedad a s. ref. en aceleración lineal cte.
rotación (ω cte)

$m \cdot a' = \vec{F} - m\vec{a}$

↳ Fuerza inercial / ficticia : aceleraciones independientes de la masa

otras a_c si $> m$ $\propto E_m$



$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = R_\alpha \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}$ $\quad \vec{v} \neq \vec{v}' \quad \vec{v}' = \vec{v} - \vec{\omega} \wedge \vec{x}$

$F_{in} = \underbrace{-2m\vec{\omega} \wedge \vec{v}'}_{F.\ Coriolis} \underbrace{- m\,\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{x}')}_{F.\ centríf.}$

virtual

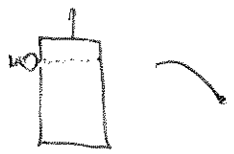
Principio de equivalencia 1907 Einstein

Es imposible distinguir mediante experiencia local entre s. ref. no inerc. y uno inercial en un campo gravitatorio

+ R. Esp → R. Gen.

1 ↳ Desviación de la luz campo gravitatorio
2 ↳ Corrimiento hacia el rojo gravitacional
3 ↳ Dilatación del tiempo (en campos gravitatorios)

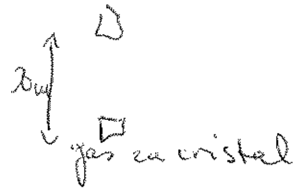
$F_{grav} = -\frac{G M m_g}{r^2}\vec{r} = m_i \cdot a$ $\quad \rightarrow m_g = m_i \quad \rightsquigarrow \vec{g}$ - indep. m, ρ, ...

(1) 

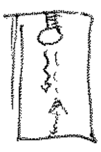
posición aparente estrellas
⇝ todo ente que transporte E cae con = aceleración en un campo gravitacional

(2)

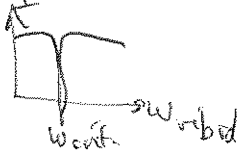
$\nu' = \nu\left(1 + \frac{gL}{c^2}\right)$ P- Rebka 1959
↓
Efecto Mossbauer



no absorbía fotón
compensar con movimiento fuente
Doppler normal

(3) 

luz al caer en campo grav. gana E_{cin}, > ν



al subir pierde ν,
reloj de abajo se atrasa

COMPORTAMIENTO CUÁNTICO DE LA RADIACIÓN Y LA MATERIA

naturaleza – cuántica radiación a altas energías
\ ondulatoria partículas en peq. escalas

ondas → difracción, interferencia, transp. energía, intercambio continuo
partículas → prop. rectilín, choques localizados x, t.

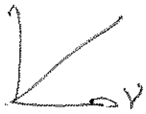
- luz (fotones) cantids discretas de E (cuantos) $\propto$ partíc.
- e^- (part.) exhibe comportamiento ondulatorio

a) C N / E F / E C

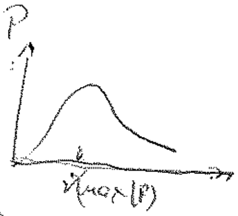
b) DB / (PI, TB) / C Y

Radiación cuerpo negro:

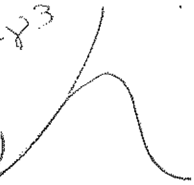
L de Wien



$\nu_{máx(\rho)}(T) = \frac{c}{2,898\,mmK} T(K)$



Clásica, Rayleigh-Jeans $\rho = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot kT$ → Catástrofe ultravioleta $\rho_e \propto \nu^3$



↳ fallaba ppo. equipartición energía (termodinámica)

$\langle E \rangle = k_B \cdot T$

~ distribución Planck $\rho(\nu, T)\,d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}\,d\nu$

↳ energía cuantizada en unidades ΔE

~ Interpretación Einstein:

$\rho(\nu, T) = n \cdot h\nu \cdot d\nu$

n → nº fotones con ese ν; $h\nu$ → energía 1 fotón

luz ≡ conjunto de partículas con $E = h\nu$ cada uno

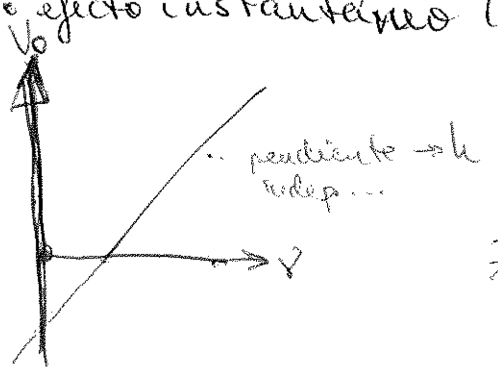
No hay catástrofe UV

Efecto fotoeléctrico:

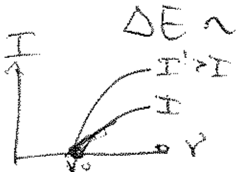
$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js

cuantos indivisibles
> nº ∝ no > Energía a ν det.

- ν_{min} indep. de I
- $V < 0$ no desaparece corriente hasta det $-V_0$
- efecto instantáneo (ns)



→ E_s no aumenta con intensidad
– ν_{min}
– retraso?
$\Delta E \sim S \cdot \pi a_0^2 \cdot \Delta t$

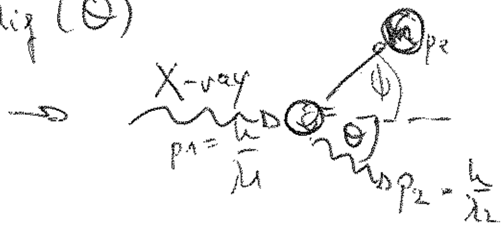


un cuanto × e^-
→ $h\nu_{min} = W_{ext}$ indep. I
→ $E_{max} = h\nu - W_{ext}$
→ choques

FOTONES

Efecto Compton

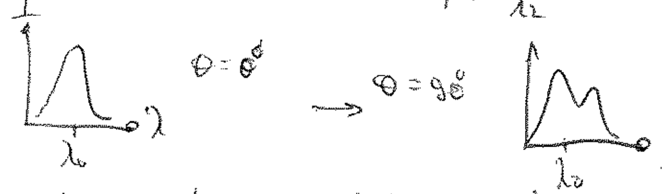
$\lambda_{dif}(\theta)$



e^- "libres" en metal keV → eV

indep. de metal

✓ aspecto corpuscular de la radiación



$$\Rightarrow \boxed{\Delta\lambda = \underbrace{\frac{h}{m_e c}}_{0{,}02 Å} (1 - \cos\theta)}$$

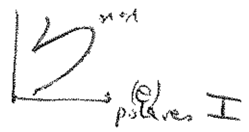
0,02 Å ... difícil detectar

(considerando relativistas)

→ cristal

$2d\sin\theta = n\lambda$ → Ley de Bragg

medida dtcias interatómicas



Onda de de Broglie

↳ Comportamiento ondulatorio partículas

$\boxed{\lambda = \frac{h}{p}}$ → "onda de materia"

$E = \frac{p^2}{2m}$ (relación de dispersión) no relat.

→ ecuación ondas → Ec. de Schrödinger libre

↳ soluciones complejas → no se mide amplitud directamente

Principio de incertidumbre de Heisenberg - Bohr

$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ $\quad \Delta t \cdot \Delta E \geq \frac{\hbar}{2}$

→ localizar → pulso $\Sigma\, \omega_s$

→ pone en entredicho determinismo mecánica clásica

↳ no es posible medir ✓ x, p a la vez

Interpretación de Born

$|\psi(\vec{x},t)|^2 d^3x \equiv$ Probabilidad de encontrar una partícula en x, t.

→ medida afecta al estado sistema

→ (medir 2 veces seguidas) → $\vec{x}$ se localiza

Exp. de Young

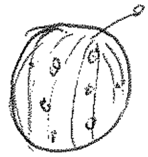
contar fotones → desaparecen interferencias

→ se imparte p al e^-

reaparecen si menos p pero $\overset{\Delta x}{\longleftrightarrow}$ ya no distinguir rendija

ESTRUCTURA ATÓMICA Y DE LA MATERIA

Thomson 1897 (rayos X, ef. fot)



distr. continua $Z \cdot |e|$

$r \sim 1 Å$

$Z \simeq \frac{A}{2}$

e^- ce át.

⇓

Rutherford 1910 ($\to \alpha$) $> \theta$ de esperado

$r_{nuc} \simeq 1 fm \cong 10^{-15} m$

⟶ inestable según física clásica

⊖ aceleración, debían radiar (Maxwell)

⊖ perder E hasta chocar con núcleo

* espectros emisión característicos - absorción

Balmer $n_f = 2$, Rydberg - Ritz ... (Lymann, Paschen, Balm., Brackett, Pfund $n_f = 5$)

↳ Bohr 1913

Postulados:

1) e^- en los átomos se mueven en órbitas circulares bajo la atracción de Coulomb por la atracción nuclear de acuerdo leyes física clásica

2) Sólo órbitas $L = n\hbar$ son posibles

3) e^- en dichas órb. no radian

4) emisión / absorción a causa paso una a otra órbita

① $mv^2 r = \frac{Z e^2}{4\pi\varepsilon_0}$

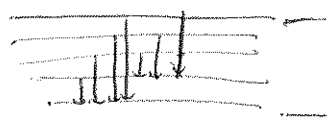
② $r = \frac{n^2 \hbar^2 4\pi\varepsilon_0}{m Z e^2}$

④ $E = \frac{1}{2} m v^2 + V$

$E \simeq -13{,}6 eV \frac{1}{n^2}$

n.. nº cuántico principal

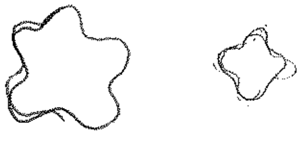
$\frac{1}{\lambda} = \frac{1 m e^4 Z^2}{2 (4\pi\varepsilon_0)^2 \hbar^2 (hc)} \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right]$



Interpretac de Broglie:

$mvr = n\hbar$

$p = \frac{h}{\lambda}$



↳ $2\pi r = n\lambda$ ⟶ condic. onda estacionaria

Estructura materia

Bohr falla para $>1e^-$

↳ Mecánica Cuántica

⇝ Ec. Schrödinger → Soluciones corresponden a Eniveles discretos

→ nºs cuánticos

$n = 1, 2, \ldots$

$l = 0, \ldots, n-1$

- Espín del e^- → 2 grados de libertad $\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ + c.l. $\xrightarrow[p]{\Sigma}$ hoág. $\xrightarrow[s \quad p]{}$ dextr.
- Ppo exclusión Pauli

2 e^- no pueden estar en el mismo estado cuántico $(s = \frac{z}{2})$

↳ $(2l+1) \times 2$ niveles degenerados

Tabla periódica

Z=1 $n = 1$ $l = 0$ ↑

Z=2 $n = 1$ $l = 0$ ↑↓

Z=3 $n = 2$ $l = 0 \to 2$

$l = 1 \to 6$

capas completas + estables → Moléculas xq + estabilir

→ Física molecular determinada por estructura electrónica de los átomos.

Enlace covalente

e^- compartidos xa conseguir capas completas

Enlace iónico

intercambio e^- entre núcleos

→ iones cargados unidos x fuerza electrostática

Halóg → -1

Alcalinos → $+1$

Fuerzas de Van der Waals

- fuerzas dipolares muy débiles

↳ dan lugar a agregados de moléculas / líquidos / sólidos

∘ moléculas con gases nobles