ESERCITAZIONE

17/10/2008

$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$ allungamento di una sbarra

$\alpha \rightarrow$ coefficiente lineare di dilatazione

$\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T$ variazione di volume $\beta = 3\alpha$

$L_0 \rightarrow$ lunghezza iniziale

$\Delta T \Rightarrow$ variazione temperatura

*ES. N° 16.19

$\beta = 2{,}2 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

$V_{0_{Hg}} = 176{,}2\ ml$ $T_0 = 0°C$

$\phi_{CAP} = 2{,}5\ mm$ $T_f = 50°C$

Esprimo le grandezze nelle unità di misura del S.I.

$\beta_V = 2{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$

Di quanto si alza il mercurio nel tubicino?

$V_{Hg} = 176{,}2 \cdot 10^{-6}\ m^3$

$\phi_{CAP} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}\ m$

$\Delta T = 50\ K$ $\left(\text{cioè } \left(\overset{T_F \text{ in K}}{50 + 273{,}15}\right) - \left(\overset{T_0 \text{ in K}}{0 + 273{,}15}\right)\right)$

$\Delta V_{Hg} = 18 \cdot 10^{-5}\ K^{-1} \cdot 176{,}2 \cdot 10^{-6}\ m^3 \cdot 50K = 1{,}59 \cdot 10^{-6}\ m^3$ volume occupato dal mercurio nella colonnina

$V_{cilindro} = A_b \cdot h = \pi r^2 \cdot h$

$\Delta V_{bulbo} = \beta_{vetro} \cdot V_0 \cdot \Delta T = 2{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 176{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 50K =$

$= 1{,}94 \cdot 10^{-7}\ m^3$

$V_{cilindro} = \Delta V_{Hg} - \Delta V_{bulbo} = 1{,}396 \cdot 10^{-6}\ m^3$

$r_{cap.i.} = \frac{1}{2} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3} = 1{,}25 \cdot 10^{-3}\ m$ raggio a 0°C!

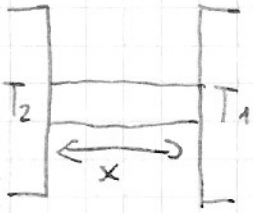
$r_{cap.f.} = r_{cap.i.} + \Delta r = 1{,}25 \cdot 10^{-3} m + \alpha\, r_i\, \Delta T =$

$= 1{,}25 \cdot 10^{-3} m + \frac{2{,}2 \cdot 10^{-5}}{3} K^{-1} \cdot 1{,}25 \cdot 10^{-3} m \cdot 50K =$

$= 1{,}25 \cdot 10^{-3} m + \underbrace{0{,}45 \cdot 10^{-6}\ m}_{\text{TRASCURABILE}} \simeq 1{,}25 \cdot 10^{-3} m$

$$h = \frac{V_{cilindro}}{A_b} = \frac{1{,}396 \cdot 10^{-6}\ m^3}{\pi \cdot (1{,}25 \cdot 10^{-3})^2\ m^2} = 0{,}285\ m = 285\ mm.$$

ESERCIZIO SUL CALORE

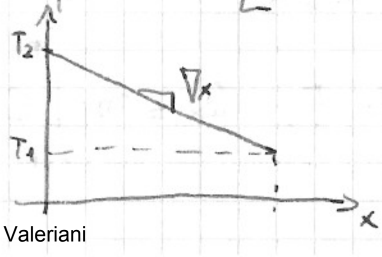


$T_2 > T_1$

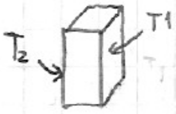
$C = \frac{Q}{t}$ [W] CORRENTE TERMICA

$C = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L}$

$\nabla_x = \frac{dT}{dx}$ GRADIENTE TERMICO



* ES. 16.25



$L = 0{,}35\ m$ = lato quadrato

$\sigma = 15 \cdot 10^{-3}\ m$

$C = 14{,}3\ W$

$T_2 - T_1 = \Delta T = 25°C = 25\ K$

GRADIENTE TERMICO $\cdot \nabla_x T = ?$

$\cdot K = ?$

· Conduttore o isolante?

$$\cdot \nabla_x T = \frac{\Delta T}{\sigma} = \frac{25\ K}{15 \cdot 10^{-3}\ m} = 1667\ K/m$$

$$\cdot A = 0{,}35\ m^2 = 0{,}1225\ m^2$$

$$K = \frac{C \cdot \sigma}{A \cdot \Delta T} = \frac{14{,}3\ W \cdot 15 \cdot 10^{-3}\ m}{0{,}1225\ m^2 \cdot 25\ K} = 0{,}07\ \frac{W}{m \cdot K}$$

· Buon isolante.

CALORE SPECIFICO E CAPACITÀ TERMICA

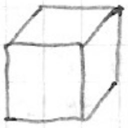
$$dQ_p = m \cdot \underset{\uparrow}{c_p} \cdot dT \quad \text{PRESSIONE COSTANTE} \qquad \underset{\uparrow}{C} = m \cdot c$$

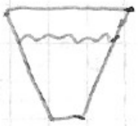
$$dQ_V = m \cdot c_V \cdot dT \quad \text{VOLUME COSTANTE}$$

Nei volumi e nei solidi $c_p \simeq c_v$, nei gas $c_p \neq c_v$ ma $c_p = c_v + R$.
Questo vale quando non siamo in transizione di fase, in cui si parla invece di CALORE LATENTE DI FUSIONE e CALORE LATENTE DI EVAPORAZIONE

$$Q_F = L_F \cdot m \qquad Q_e = L_e \cdot m$$

* ES. 17.13





0,35 Kg ghiaccio   ? acqua

T = 273,15 K   T = 298,15 K

Alla fine il sistema ghiaccio + acqua saranno alla temperatura di 0°C allo stato liquido. Considero c_p costante.

$$Q_F = m \cdot L \qquad Q = m_A \cdot c_p \cdot \Delta T \qquad Q_F = Q \qquad m_A = \frac{m \cdot \overset{\text{dato}}{L}}{\text{dato} \rightarrow c_p \cdot \Delta T}$$

$$m_A = \frac{0{,}35\ Kg \cdot 0{,}335 \cdot 10^6\ J/Kg}{4180\ \frac{J}{Kg\,K} \cdot 25\ K} = 1{,}12\ Kg$$

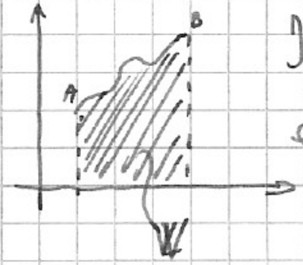
Se c_v dipende da T, $Q = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} c_v\, dT$.

LAVORO

$\underset{\text{LAVORO}}{dW} = P \cdot \underset{\text{VOLUME}}{dV}$ Nelle trasformazioni isocore, il lavoro è nullo.

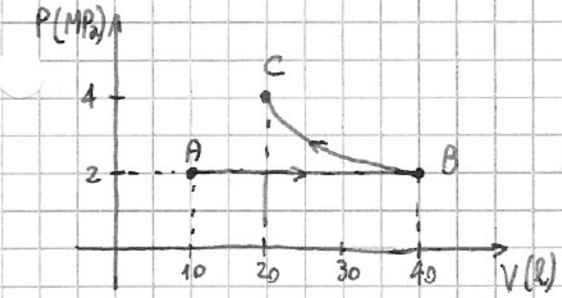
Nelle trasformazioni isobare, $W = P \cdot \Delta V$

Nelle trasformazioni isoterme, $W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln (V_2 / V_1)$



Il lavoro è positivo se il sistema fa lavoro (gas che si espande). $\Delta U = Q - W$

* ES. 17.19



$L_{AB} = P \cdot \Delta V = 2 \cdot 10^6 Pa \cdot [40 - 10] \cdot 10^{-3} m^3 = 60 \text{ KJ}$

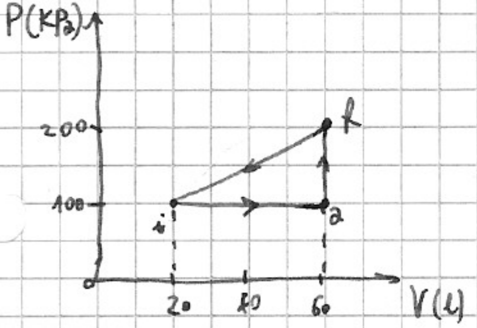
$L_{BC} = nRT \ln \frac{V_C}{V_B}$ ma $nRT = P_B \cdot V_B = P_C \cdot V_C$

$= 2 \cdot 10^6 Pa \cdot 40 \cdot 10^{-3} m^3 = 80 \cdot 10^3$

$= 80 \cdot 10^3 \cdot \ln \frac{20}{40} = -55{,}45 \text{ KJ}$

24/10/2008

17.25



$Q_{i2} = 11 \text{ KJ}$

$Q_{2F} = 12 \text{ KJ}$

$U_i = 2 \text{ KJ}$ energia interna

$U_2 = ?$ $U_F = ?$

$Q_{Fi} = ?$

$U_2 = U_i + \Delta U_{i2} = U_i + Q_{i2} - W_{i2} =$

$= 2KJ + 11KJ - (60 - 20) \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^3 =$

$= 13KJ - 4000 \text{ J} = 9 \text{ KJ}$

$U_F = U_2 + \Delta U_{2F} = U_2 + Q_{2F} - W_{2F} =$

$= 9KJ + 12KJ - 0 = 21 \text{ KJ}$

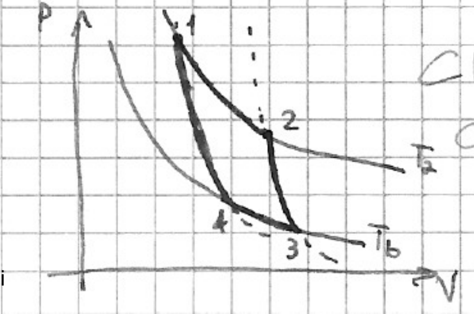
$Q_{Fi} = \Delta U_{Fi} + W_{Fi} = U_i - U_f + W_{fi} = 2KJ - 21KJ + \left[(60 - 20) \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{3} - \frac{(60-20) 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^3}{2} \right]$

$= -19KJ - 4KJ - 2KJ = -25 \text{ KJ}$ calore ceduto dal sistema

PROBLEMA 17.9

Trasformazione ciclica quasi-statica.

2 isoterme e 2 adiabatiche



CICLO DI CARNAUT

Lungo 1,2 il gas compie una trasformazione ma, essendo T costante, la sua energia interna non cambia: $\Delta U_{12} = 0 = Q_{12} - W_{12}$ $Q_{12} = W_{12}$.

Lungo 2,3, la trasformazione è adiabatica $\rightarrow Q_{23} = 0$; $\Delta U_{23} = -W_{23}$

Lungo 3,4, compressione isoterma, $\Delta U_{34} = 0$ $Q_{34} = W_{34}$ (<0)

Lungo 4,1, $Q_{41} = 0$ $\Delta U_{41} = -W_{41}$

Inoltre $W_{41} = -W_{23}$ perchè l'energia interna è una variabile di stato.

$$\Delta U_{TOT} = 0 = \underset{\overset{\downarrow}{0}}{\Delta U_{12}} + \Delta U_{23} + \underset{\overset{\downarrow}{0}}{\Delta U_{34}} + \Delta U_{41} = \Delta U_{23} + \Delta U_{41} \Rightarrow \Delta U_{23} = -\Delta U_{41}$$

$$-\Delta W_{23} = \Delta W_{41}$$

GAS PERFETTI

Sistema di $N >> 0$ particelle.

In un gas perfetto l'energia interna è la somma delle energie meccaniche delle particelle.

$U = \frac{3}{2} nRT$ monoatomico $\qquad P \cdot V = \frac{N m \langle v^2 \rangle}{3}$

$\langle E_c \rangle = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle$ sempre $\qquad \langle E_c \rangle = \frac{3}{2} K_B \cdot T$ gas monoatomico $\qquad K_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K

COSTANTE DI BOLTZMANN

$U = \nu \cdot \frac{1}{2} nRT$ $\quad \nu \rightarrow$ gradi di libertà!!!

18.12

0,8 mol. He

0,15 mol. Ne

T = 400 K

$v_{qm} = ?$

$\langle E_c \rangle = ?$

$U_{misc.} = ?$

$$V_{qm} = \sqrt{\frac{3 K_B T}{m}} \Rightarrow V_{qm\,He} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}\ J/K \cdot 400 K}{4,002 \cdot 10^{-3}\ kg / 6,022 \cdot 10^{23}}} = 262\ m/s$$

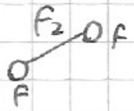
$$V_{qm\,Ne} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 400}{20,18 / 6,022 \cdot 10^{23}}} = 116,7\ m/s$$

$1 eV = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J

$$\langle E_c \rangle = \frac{1}{2} m \cdot V_{qm}^2 = \frac{3}{2} K_B T = 8,28 \cdot 10^{-21}\ J = 51,8\ meV$$

$$U = \frac{3}{2} RT(n_1 + n_2) = 3,16\ KJ$$

ES. 18.20



gas monoatomico a T ambiente $\delta Q = mc_v \cdot dT = n C_v \cdot dT$

$\delta Q = mc_p dT = n C_p dT$

$\delta Q_v = dU + \cancel{\delta W_v}$

$C_v = ?$ $C_p = ?$ $\gamma = ?$ $dU = nC_v dT$ perchè V costante, $\delta W = 0$, $\delta Q = dU$

$$C_v = \frac{1}{n} \cdot \frac{d}{dt} U \quad \text{ma} \quad U = \nu \cdot \frac{1}{2} nRT = \frac{5}{2} nRT \Rightarrow C_v = \frac{1}{\cancel{n}} \cdot \frac{d}{dt} \cdot \frac{5}{2} \cancel{n}RT = \frac{5}{2} R$$

$$C_p = C_v + R = \frac{7}{2} R = 29{,}1 \frac{J}{mK} \qquad \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{7}{2}R}{\frac{5}{2}R} = \frac{7}{5} = 1{,}4$$

Es 18.27 gas perfetto subisce un'espansione adiabatica quasi statica

$\gamma = 1{,}67$

$p_i = 320 \, kPa$

$V_i = 12 \cdot 10^{-3} m^3$

$V_f = 18 \, l = 18 \cdot 10^{-3} m^3$

$p_f = ?$

$T_i = ?$

$T_f = ?$

$n = 1{,}4 \, mol$

$$P \cdot V^\gamma = cost. \quad P_i \cdot V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma \quad P_f = \frac{320 \cdot 10^3 \cdot (12 \cdot 10^{-3})^{1{,}67}}{(18 \cdot 10^{-3})^{1{,}67}} = 160 \, kPa$$

$$T_i \cdot V_i^{\gamma-1} = T_f \cdot V_f^{\gamma-1} \quad PV = nRT$$

$$T_i = \frac{P_i V_i}{nR} = \frac{320 \cdot \cancel{10^3} \cdot 12 \cdot \cancel{10^{-3}}}{1{,}4 \cdot 8{,}31} = 330 \, K$$

$$T_f = T_i \cdot \left(\frac{V_i}{V_f}\right)^{\gamma-1} = 330 \, K \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^{0{,}67} = 247{,}6 \, K$$

$$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma \quad P_i V_i \cdot V_i^{\gamma-1} = P_f V_f \cdot V_f^{\gamma-1} \quad \cancel{nR} T_i V_i^{\gamma-1} = \cancel{nR} T_f V_f^{\gamma-1} \quad T_i V_i^{\gamma-1} = T_f V_f^{\gamma-1}$$

18.3.

$$V_i^2 = \frac{2GM_T}{r_i} \qquad F(v) = A v^2 \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{mv^2}{KT}\right) \qquad A = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi KT}\right)^{3/2}$$

$R = 6{,}13 \cdot 10^6 m$

$T = 1000 K$

$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \, s^2}$

$$V_i = \sqrt{\frac{2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}98 \cdot 10^{24}}{6{,}13 \cdot 10^6 + 0{,}15 \cdot 10^6}} = 11270 \, m/s$$

$\langle V^2_{N_2} \rangle = ?$

$M_T = 5{,}98 \cdot 10^{24} \, kg$

$\frac{F(V_f)}{F(V_{qm})} = ?$

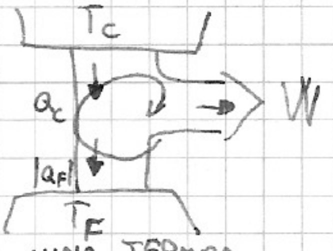
$$m_{N_2} = \frac{0{,}028 kg}{6{,}022 \cdot 10^{23}} = 4{,}65 \cdot 10^{-24} kg \qquad V_{qm} = \sqrt{\frac{3KT}{m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 1000}{4{,}65 \cdot 10^{-24}}} = 944 \, m/s$$

$h = 150 km = 150 \cdot 10^3 m = 0{,}15 \cdot 10^6 m$

$$\langle v^2 \rangle = 8{,}91 \cdot 10^5 \, m^2/s^2$$

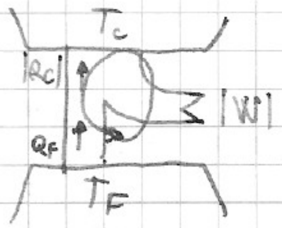
$$\frac{f(v_f)}{f(v_{qm})} = \frac{v_f^2}{v_{qm}^2} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{m(v_f^2 - v_{qm}^2)}{KT}\right) = 6,4 \cdot 10^{-91}$$

MACCHINE TERMICHE



MACCHINA TERMICA

$$\Delta U = 0 = Q - W$$
$$Q_c - |Q_F| = W \qquad \eta = \frac{W}{Q} = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_C}$$



$$K = \frac{Q_F}{|W|} \qquad K_{\underset{\text{OMPA}}{p}\underset{\text{ALORE}}{c}} = \frac{Q_c}{|W|}$$

ES. 19.7

$|Q_C| = 250\text{ J}$ $\qquad |W| = |Q_C| - |Q_F| \Rightarrow Q_F = |Q_C| - |W| = 250\text{ J} - 80\text{ J} = 170\text{ J}$

$|W| = 80\text{ J}$ $\qquad K = \frac{170\text{ J}}{80\text{ J}} = 2,125 \qquad K_{PC} = \frac{250\text{ J}}{80\text{ J}} = 3,125$

$Q_F = ?$

$K = ?$

ES. 19.9

$K_{PC} = 2,2$

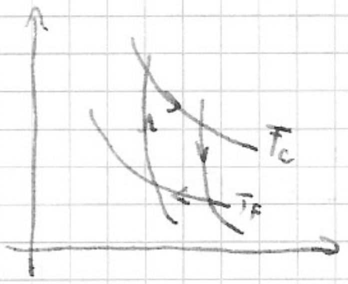
$P_W = 3,5\text{ kW}$

$$K_{PC} = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{\overset{\text{POTENZA CALORE CEDUTO}}{d|Q_C|/dt}}{\underset{\text{POTENZA MOTORE}}{d|W|/dt}} = \frac{P_C}{P_W} \qquad P_W = P_C - P_F \quad \text{1° PRINCIPIO TERMODINAMICA}$$

$$P_C = P_W \cdot K_{PC} = 3,5 \cdot 2,2 = 7,7\text{ kW} \qquad P_F = P_C - P_W = 7,7 - 3,5 = 4,2\text{ kW}$$

$$E_{ASS.} = P_W \cdot t = 3,5\text{ kW} \cdot 1\text{h} = 3,5\text{ kWh}$$

CICLO DI CARNOT



$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C} = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_C}$$

$$\underset{\substack{\text{COEFF. DI}\\ \text{PRESTAZIONE}\\ \Downarrow\\ \text{FRIGORIFERO}}}{K} = \frac{T_F}{T_C - T_F} \qquad \frac{|Q_F|}{T_F} = \frac{Q_C}{T_C} \qquad \frac{T_C}{T_F} = \left|\frac{Q_C}{Q_F}\right|$$

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \qquad \Delta S = \oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

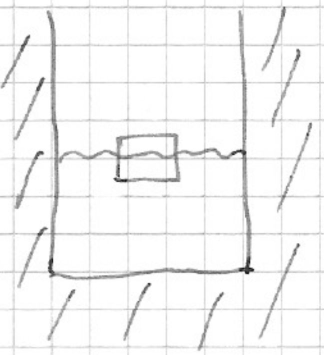
ES. 19.27

0,25 kg ghiaccio

$T_i = 0°C = 273,15\,K$

0,350 kg acqua

$T_i = 85°C = 358,15\,K$



Mescolo l'acqua e il ghiaccio in un recipiente isolato fino all'equilibrio.

a) $T_{equilibrio}$?

b) ΔS_1, ΔS_2 ?

c) ΔS_{TOT}?

Dire se la trasformazione è reversibile.

a) Il ghiaccio acquista calore, l'acqua lo cede.

$$Q_{gh} = \underbrace{m_g \cdot L}_{\text{CALORE DI TRANSIZIONE DI FASE}} + m_g \cdot \underset{\text{CALORE SPECIFICO}}{c_{H_2O}} \, (\underset{\text{TEMPERATURA EQUILIBRIO}}{T_F} - T_i) \qquad Q_g + Q_{H_2O} = 0 \quad \text{SISTEMA ISOLATO}$$

$$m_g L + m_g \cdot c\,(T_F - 273,15) + m_{H_2O} \cdot c\,(T_F - 358,15) = 0$$

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot c \cdot (T_F - T_i)$$

$$T_F = 324\,K = 51\,°C$$

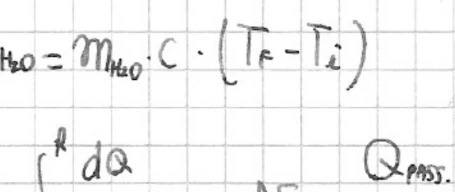
$$\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T} \qquad \Delta S_1 = \frac{Q_{PASS.\,STATO}}{T_{PASS.\,STATO}} + \int_{273K}^{324K} \frac{m_g\, c_{H_2O}\, dT}{T} = 486\ J/K$$

$$\Delta S_2 = \int_{358K}^{324K} m_{H_2O}\, c_{H_2O} \frac{dT}{T} = m_{H_2O}\, c_{H_2O} \ln \frac{T_F}{T_i} = -396\ J/K \qquad \Delta S_{TOT} = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 90\ J/K$$

Processo irreversibile perché $\Delta S > 0$

07/11/08

PROBLEMA 19.5



$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

Dimostrare che il ciclo Otto è dato da $\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$

$$\gamma_{ARIA} = \frac{C_P}{C_V} = \frac{7/2}{5/2} = 1,4$$

Calcolare poi η nel caso di $r = 8$.

$$\eta = \frac{W}{Q_c} \Rightarrow \quad W = W_{cd} - |W_{ba}| \qquad W_{cd} = \int_{V_2}^{V_1} P\,dV \underset{P\cdot V^{\gamma} = cost}{\overset{ADIAB.}{=}} cost \int_{V_2}^{V_1} \frac{dV}{V^{\gamma}} =$$

$$= P_c V_2^{\gamma} \left[\frac{V^{1-\gamma}}{1-\gamma} \right]_{V_2}^{V_1} = \frac{P_c V_2}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right]$$

$$W_{ba} = \frac{P_b \cdot V_2}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right] \qquad W = \frac{(P_c - P_b)\cdot V_2}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right]$$

$$Q = \Delta U + \underbrace{P \cdot \Delta V}_{0 \text{ perché isocora}} = \Delta U = c_v \cdot n \cdot \Delta T = C_v \cdot n \cdot (T_c - T_b)$$

$$PV = nRT \qquad P_c = \frac{nRT_c}{V_2} \qquad P_b = \frac{nRT_b}{V_2} \qquad P_c - P_b = \frac{nR}{V_2}(T_c - T_b)$$

$$\eta = \frac{\frac{\cancel{n}R}{\cancel{V_2}} \cdot \cancel{(T_c - T_b)} \cdot \frac{\cancel{V_2}}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{1}{r} \right)^{\gamma-1} \right]}{C_v \cdot \cancel{n} \cdot \cancel{(T_c - T_b)}} = \frac{R}{C_v} \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma-1}}{\gamma - 1} = \qquad \gamma - 1 = \frac{C_p}{C_V} - 1 = \frac{R}{C_V}$$

$$= \frac{\cancel{R}}{\cancel{C_v}} \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma-1}}{\frac{\cancel{R}}{\cancel{C_v}}} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \qquad \text{se } r = 8 \text{ e } \gamma = 1{,}4 \qquad \eta = 56\%$$

ES. TIPO COMPITO

Un condizionatore assorbe $P = 10\,kW$ per 2 ore alla temperatura $T_F = 12\,°C$. Il condizionatore funziona come una macchina termica inversa (frigorifero) reversibile. Sul lato caldo la macchina cede calore a un serbatoio d'acqua con temperatura $T_C = 52\,°C$.

a) il calore assorbito dal condizionatore è 72 MJ ☒ F

$$Q_F = P \cdot \Delta T = 10 \cdot 10^3\,W \cdot 7200\,s = 72\,MJ \quad \text{oppure}$$

b) il calore ceduto all'acqua sarà di circa 82,1 MJ ☒ F

$$|Q_C| = ? \qquad \frac{|Q_C|}{Q_F} = \frac{T_C}{T_F} \qquad |Q_C| = \frac{325\,K}{285\,K} \cdot 72\,MJ = 82{,}1\,MJ$$

perché reversibile

c) La potenza assorbita dal condizionatore sarà di circa 1,2 kW. ☐V ☒F

$$|W| = |Q_c| - Q_F = 82,1\ MJ - 72\ MJ = 10,1\ MJ$$

$$P_a = \frac{|W|}{\Delta T} = \frac{10,1 \cdot 10^6\ J}{3600 \cdot 2\ s} = 1,4\ kW$$

d) Il coefficiente di prestazione vale circa 4 ☐V ☒F

$$K = \frac{Q_F}{|W|} = \frac{72 \cdot 10^6\ J}{10,1 \cdot 10^6\ J} = 7,13 \quad \text{oppure} \quad K = \frac{T_F}{T_C - T_F} = \frac{285\ K}{(325-285)K} = 7,13$$

e) Perchè il serbatoio si possa considerare a temperatura costante entro 1 grado devono fluire in esso circa 12,5 $l/_{min}$ di acqua. ☐V ☒F

$12,5\ l/_{min} = 0,21\ kg/s$ di acqua

$$Q = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta T = 4180\ J/_{kg \cdot K} \cdot 0,21\ kg \cdot 1\ K = 878\ J$$ calore necessario per innalzare la temperatura di 1°.

$$P_{smaltita} = 878\ J/_s$$

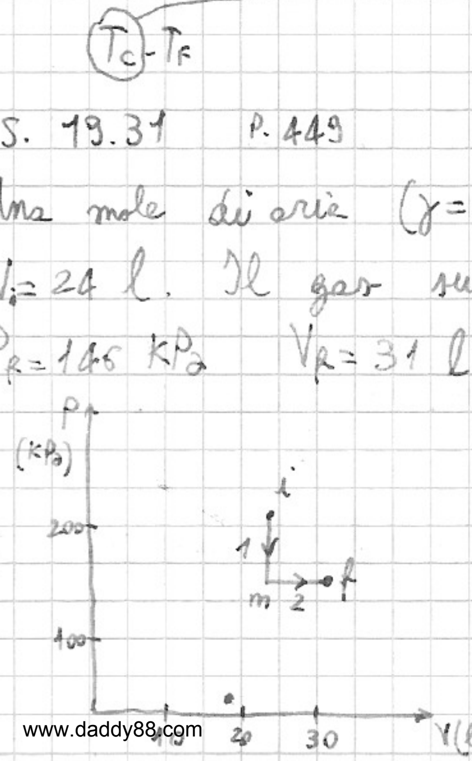
$$P_{ceduta} = \frac{|Q_c|}{\Delta T} = \frac{82,1\ MJ}{2 \cdot 3600\ s} = 11.402\ J/s \gg P_{smaltita} \Rightarrow \text{FALSO}$$

f) Se a parità di flusso al posto dell'acqua si fosse ceduto calore all'aria il coefficiente di prestazione sarebbe aumentato. ☐V ☒F

$$K = \frac{T_F}{\boxed{T_C} - T_F}$$ limitato dall'aria, quindi K sarebbe diminuito.

ES. 19.31 P. 449

Una mole di aria ($\gamma = 1,4$) si trova inizialmente a $P_i = 210\ kPa$ e $V_i = 24\ l$. Il gas subisce una trasformazione irreversibile. $P_f = 146\ kPa$ $V_f = 31\ l$. Usare la trasformazione irreversibile



$$\Delta S_{rever.} = \int_i^f \frac{dQ}{T}$$ invento una trasformazione reversibile

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$$\underset{\text{isocora}}{\Delta S_1} = \int_i^m \frac{dQ}{T} = \int_i^m \frac{n \cdot c_v \cdot dT}{T} = n \cdot c_v \cdot [\ln(T_m) - \ln(T_i)] = n \cdot c_v \cdot \ln \frac{T_m}{T_i}$$

$dQ = dU + \cancel{PdV}$
$= dU = n \cdot c_v \cdot dT$ $\qquad c_v = \frac{5}{2} R$ gas biatomico

$P_i \cdot V_i = nRT_i \qquad T_i = \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 24 \cdot 10^{-3} m^3}{1 mol \cdot R} = 606 K \qquad T_m = 422 K$

$P_m \cdot \underset{=V_m}{V_i} = nR\underset{=T_m}{T_f} \qquad P_f \cdot V_f = nRT_f \qquad T_f = 545 K$

$$\Delta S_1 = 1 \cdot \frac{5}{2} \cdot R \cdot \ln \frac{422 K}{606 K} = -7{,}52 \ J/K$$

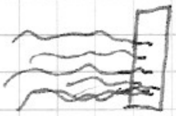
$$\Delta S_2 = \int_m^f \frac{dQ}{T} = \int_m^f \frac{n \cdot c_p \cdot dT}{T} = n c_p \ln \frac{T_f}{T_m} = 1 \cdot \frac{7}{2} R \cdot \ln \frac{545 K}{422 K} = 7{,}4 \ J/K$$

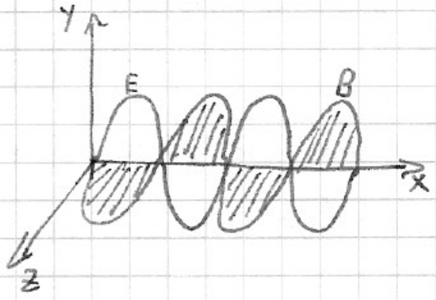
$\Delta S = -0{,}12 \ J/K$ variazione di entropia

In base al 2° principio della termodinamica, l'entropia dell'universo è positiva.

21/11/08

ONDA PIANA → il fronte d'onda è un piano.





$\vec{E} \perp \vec{B} \perp \vec{K}$

ONDA POLARIZZATA → onda in cui campo elettrico e campo magnetico rimangono sempre sugli stessi piani

velocità c, caratterizzata da λ, $\underset{\substack{\uparrow \\ \text{vettor d'onda}}}{K} = \frac{2\pi}{\lambda}$ (quante oscillazioni ci stanno in 2π), ν (frequenza, f). $\qquad \omega = 2\pi f$

$\vec{E} = E_0 \operatorname{sen}(Kx - \omega t)$

E_0 = ampiezza del campo

$K = \underset{\text{/numero}}{\text{vettore}}$ d'onda $= \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$

ω = velocità angolare $= 2\pi f = 2\pi \frac{c}{\lambda} = cK$

ES. 14.15

$\omega = 8,2 \cdot 10^{12} \frac{rad}{s}$

$K = ?$

$\lambda = ?$

$f = ?$

$T = ?$

$$K = \frac{\omega}{c} = \frac{8,2 \cdot 10^{12}}{3 \cdot 10^{8}} \simeq 27000 \frac{rad}{m}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{K} = \frac{2\pi}{27000} = 2,3 \cdot 10^{-4}\ m$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{8,2 \cdot 10^{12}}{2\pi} = 1,3 \cdot 10^{12}\ Hz \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,3 \cdot 10^{12}} = 7,6 \cdot 10^{-13}\ s$$

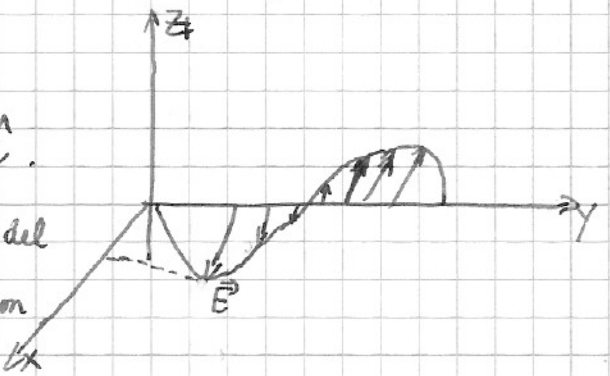
ES. 14.16

$$\vec{E} = \underbrace{31 \frac{N}{C}}_{\text{ampiezza, valore massimo}} \cos\Big(\underbrace{1,8 \frac{rad}{m}}_{n° d'onda} \cdot y + \underbrace{5,4 \cdot 10^{8} \frac{rad}{s}}_{\omega}\, t\Big)\, \hat{i}.$$

y → direzione

$+$ → verso $\begin{cases} + & \text{sinistra} \leftarrow \\ - & \text{destra} \rightarrow \end{cases}$

$\hat{i}$ → direzione del campo elettrico, non dell'onda



L'onda si propaga verso $-\hat{j}$

$$\lambda = \frac{2\pi}{K} = \frac{2\pi}{1,8} = 3,49\ m \qquad f = \frac{c}{\lambda} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{5,4 \cdot 10^{8}}{2 \cdot 3,14} = 86 \cdot 10^{6}\ Hz$$

Qual è l'ampiezza del campo magnetico?

$$E = cB \rightarrow B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{31 \frac{N}{C}}{3 \cdot 10^{8} \frac{m}{s}} \simeq 103\ nT.$$

Se l'onda è espressa come seno, la fase iniziale è 0 e quindi per t=0 assume valore nullo; Con il coseno assumerebbe valore massimo.

Scrivere l'equazione del campo magnetico.

$$\vec{B} = 103\ nT \cdot \cos\left(1,8 \frac{rad}{m} \cdot y + 5,4 \cdot 10^{8} t\right) \hat{k}$$

$\hat{k}$ ← versore dell'ultimo asse ⊥.

$=$ ← il prodotto vettoriale tra $\hat{i}$ e $\hat{j}$ è $+\hat{k}$ e

VETTORE DI POINTING → descrive l'intensità dell'onda

$$\underbrace{S}_{\text{intensità dell'onda}} = \frac{\overset{\text{energia}}{U}}{\underbrace{\Delta t \cdot A}_{\text{unità di tempo per unità di superficie}}} \qquad \underbrace{\vec{S}}_{\text{vettore di Pointing}} = \frac{U}{\Delta t \cdot A} \cdot \overset{\text{direzione di propagazione}}{\hat{\imath}}$$

$$\underbrace{u}_{\text{densità di energia}} = \frac{U}{\Delta t \cdot A}\,\underbrace{(A \cdot \Delta x)}_{\text{volume}} = U \cdot \underbrace{\frac{\Delta x}{\Delta t}}_{\text{velocità}} = U \cdot c = \frac{S}{c} \Rightarrow S = u \cdot c$$

$$\underbrace{u = \varepsilon_0 E^2/2}_{\text{densità di energia campo elettrico}} \qquad \underbrace{u = \frac{B^2}{2\mu_0}}_{\text{densità di energia del campo magnetico}} \qquad u = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0} = \varepsilon_0 E^2$$

$$S = u \cdot C = \varepsilon_0 \cdot c \cdot E^2$$ valore istantaneo

↙

valore massimo quando $E = E_0$.

$$\bar{S} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \cdot c \cdot E^2$$ valore medio

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \vec{E} \wedge \vec{B}$$ relazione vettoriale

ES. 14.24

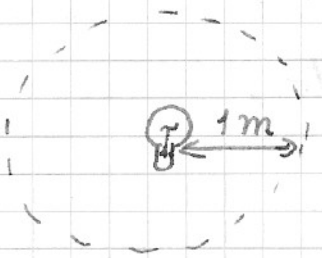
$$\bar{S} = 553\ \mathrm{W}/m^2 = 553\ \frac{J}{s \cdot m^2}$$ Qual è l'ampiezza di E e B dell'onda?

$$\bar{S} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \cdot c \cdot E^2 \qquad E_0 = \sqrt{\frac{2S}{\varepsilon_0 \cdot c}} = 645{,}27\ \frac{N}{m} \qquad B_0 = \frac{E_0}{c} = 2{,}15 \cdot 10^{-6}\ T$$

ES. 14.35

Lampadina di $P_0 = 100\,W$ di cui usiamo il 5% di radiazione luminosa.
Qual è la intensità media di radiazione visibile a distanza 1m?

$$P = 5\% \cdot P_0 = 5\,W$$



$$S = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{U/t}{A} = \frac{5W}{4\pi} = 0{,}40$$

Se fossimo a 10 m?

$$S = \frac{5W}{4\pi \cdot 10^2} = 0{,}004$$

14.31

$\bar{P}_{raggio\ laser} = 4,3\ mW$ e il fascio ha intensità uniforme

$r = 1,2\ mm$

Qual è la pressione esercitata dal laser sulla porzione di superficie che colpisce.

$$\underset{pressione}{p} = \frac{S}{c} \ \text{(assorbimento)} \qquad p = \frac{2S}{c} \ \text{(riflessione)}$$

$$S = \frac{P}{A} = \frac{4,3 \cdot 10^{-3}}{\pi (1,2 \cdot 10^{-3})^2} = 951 \frac{W}{m^2} \qquad p = \frac{S}{c} = \frac{951}{3 \cdot 10^8} = 3,17 \cdot 10^{-6}\ N/m$$

$$F = p \cdot A = \frac{P}{c} = 4,56 \cdot 10^{-12}\ N$$

14.

$$\vec{E} = 30 \frac{N}{c} sen\left(6,28 \cdot 10^6 \frac{rad}{m} X - 1,885 \cdot 10^{15} t\right) \hat{j}$$

$E_0 = ?$ $\quad E_0 = 30\ N/c$

$B_0 = ?$ $\quad B_0 = \frac{30}{3 \cdot 10^8} = 10^{-7}\ T$ $\qquad \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{6,28 \cdot 10^6} = 10^{-6}\ m$

$\lambda = ?$

$f = ?$ $\qquad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{c \cdot K}{2\pi} = 3 \cdot 10^{14}\ Hz$

Lungo quale si propaga l'onda, giace E e B? L'onda si propaga lungo la direzione X verso destra, il campo elettrico giace sul piano XY e avanza lungo Y (versore $\hat{j}$) e il campo magnetico giace su XZ e avanza lungo Z (versore $\hat{k}$).

Scrivere l'equazione del campo magnetico.

$$B = 10^{-7} T \cdot sen\left(6,28 \cdot 10^6 \frac{rad}{m} x - 1,885 \cdot 10^{15} t\right) \cdot \hat{k}.$$

Scrivere l'equazione del vettore di Pointing.

$$S = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \wedge \vec{B} \overset{E \perp B}{=} \frac{1}{\mu_0} \cdot EB \cdot \hat{i}$$

$$\vec{S}_{MAX} = \frac{30 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}{\mu_0} = 2,3873 \; W/m^2 \qquad \vec{S} = 2,3873 \frac{W}{m^2} \, sen^2\left(6,28 \cdot 10^6 \frac{rad}{m} x - 1,885 \cdot 10^{15} t\right) \cdot \hat{i}$$

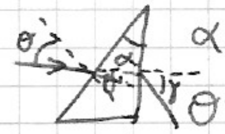
Metto uno specchio riflettente, calcolare la pressione di radiazione massima

$$P = \frac{2S}{c} \Rightarrow P_{MAX} = \frac{2 \cdot 2,3873 \; W/m^2}{3 \cdot 10^8 \; m/s} = 1,6 \cdot 10^{-8} \; N/m^2$$

Per fare esercizi, scrivere un'equazione di un campo elettrico e trovare le varie grandezze (ricordarsi che $\omega = K \cdot c$)

28/11/08

ES. 18.9 P.480



$\alpha = 42°$

$\theta = 18°$

PRISMA DI VETRO

$$n = \frac{c}{V}$$

$n_1 \, sen\theta_1 = n_2 \, sen\theta_2$ l. Snell

n = indice rifrazione pyrex = 1,474

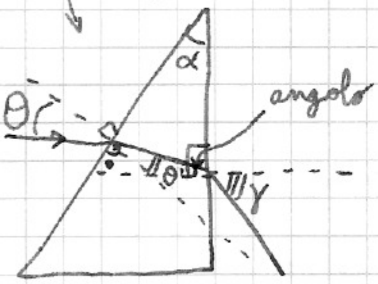
n_2 = indice rifrazione aria = 1

$\gamma = ?$

$n_{aria} \cdot sen\theta = n \cdot sen\theta'$

$$sen\theta' = \frac{n_2}{n} \cdot sen\theta = \frac{1}{1,474} \cdot sen\,18° = 0,21$$

$\theta = 12,12°$



angolo di incidenza ϕ

$\bullet = 90 - \alpha = 48°$

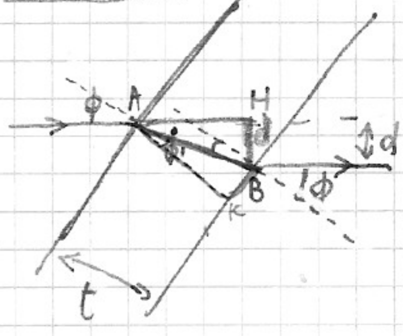
$x = 90 + \theta' =$

$\phi = 180° - \bullet - x = 180° - 48° - 90° - \theta' = 29,88°$

$n \cdot sen\phi = n_2 \cdot sen\gamma \qquad sen\gamma = \frac{n}{n_2} sen\phi = 1,474 \cdot sen\,29,88 =$

$\simeq 0,73 \qquad \gamma = arcsen\;0,73 \simeq 46,88°$

ES. 18.11



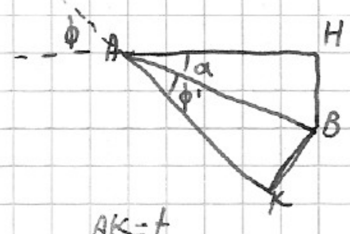
L'angolo d'incidenza r è uguale all'angolo rifratto ϕ' perché lastre parallele, c'è solo una piccola deviazione d.

n' indice rifrazione lastra

Dimostrare che $d = t \, sen\phi \left(1 - \frac{\cos\phi}{n' \cos\phi'}\right)$

Considero il • triangolo a matita.

$AB \cdot \text{sen}(B\hat{A}H) = d \qquad B\hat{A}H = \alpha$



$AK = t$
$BH = d$

Considerando il triangolo in rosso $\widehat{ABK}$ si ha che

$AB \cdot \cos(B\hat{A}K) = t \qquad AB \cdot \cos\phi' = t \qquad AB = t/\cos\phi'$

$\alpha + \phi' = \phi \rightarrow \alpha = \phi - \phi'$

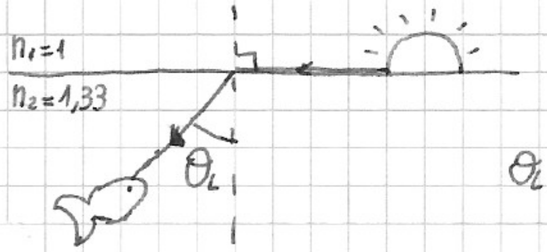
$$d = \frac{t}{\cos\phi'} \cdot \text{sen}(\phi - \phi') = t \cdot \frac{\text{sen}\phi\cos\phi' - \text{sen}\phi'\cos\phi}{\cos\phi'}$$

$\underset{=1}{n_2} \cdot \text{sen}\phi = n' \cdot \text{sen}\phi' \qquad \text{sen}\phi' = \frac{\text{sen}\phi}{n'}$

$$d = t \cdot \text{sen}\phi - t \cdot \frac{\text{sen}\phi\cos\phi}{n'\cos\phi'} = t\,\text{sen}\phi\left(1 - \frac{\cos\phi}{n'\cos\phi'}\right)$$ ▨

18.13

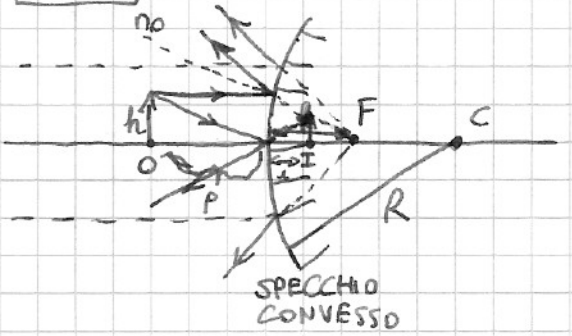
A quale angolo rispetto alla verticale deve trovarsi un pesce per vedere il sole tramontare nell'acqua.



$\theta_L = ? \qquad n_2\,\text{sen}\,\theta_L = n_1 \cdot \text{sen}\,90°$

$$\theta_L = \text{arcsen}\,\frac{\overset{\uparrow}{n_1} \cdot 1}{n_2} = \text{arcsen}\,\frac{1}{1,33} = 48,75°$$

18.17



$R = 400\,mm = 0,4\,m$ Trovare l'immagine

$p = 250\,mm = 0,25\,m$ no → normale punto incidenza

$h = 5\,mm = 5 \cdot 10^{-3}\,m$

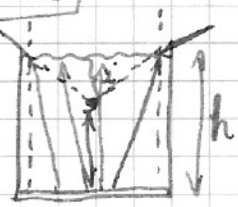
$f = \frac{R}{2} = 0,2\,m$

L'immagine sarà virtuale diritta. $\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{2}{R}$ dobbiamo trovare "i"

$$\frac{1}{250} + \frac{1}{i} = \frac{2}{\underset{\uparrow\ \text{Convenzioni}}{-400}} \qquad \frac{1}{i} = -0,005 - 0,004 = -0,009 \qquad i = -111\,mm$$

$m = -\frac{i}{p} = -\frac{-111}{250} = 0{,}44 \qquad h' = h \cdot 0{,}44 = 2{,}22\ mm.$ rimpicciolita.

18.23.



$h = 100\ mm \qquad h' = 32{,}5\ mm$

il fondo risulta a un'altezza di 32,5 mm (·) se visto dall'esterno.
Trovare n della glicerina.
Considero l'interfaccia come un diottro di raggio di curvatura infinito.

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{i} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

$n_1 = n = ?$

p = distanza oggetto-diottro = h

i = distanza immagine-diottro = $h - h'$

$n_2 = 1$ (aria)

$R = \infty$

i lo considero negativo perchè immagine virtuale

$$\frac{n}{h} + \frac{1}{-(h-h')} = \frac{1-n}{\infty}$$

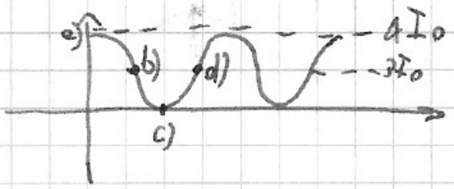
$$\frac{n}{h} + \frac{1}{h'-h} \simeq 0 \qquad n = -\frac{h}{h'-h} = \frac{100}{100-32{,}5} = 1{,}48$$

12/12/08

15.8.

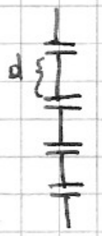
$I = ?$

$\Delta\phi = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3}{2}\pi, 2\pi, \frac{5}{2}\pi \qquad I = 4 I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)$



$$\frac{\Delta\phi}{2\pi} = \frac{d \operatorname{sen}\theta}{\lambda} \qquad \frac{\Delta\phi}{2} = \frac{\pi d \operatorname{sen}\theta}{\lambda} \simeq \frac{\pi d x}{L\lambda}$$

15.27 — RETICOLO



Dispersione angolare del reticolo in $\theta = 15{,}7°$.

$$D = \frac{\Delta\theta_{max}}{\Delta\lambda} = \frac{m}{d\cos\theta_m}$$ ottenuta differenziando $d\,\text{sen}\theta = \pm m\lambda$
$$\downarrow$$
$$d\cos\theta\, d\theta = m\, d\lambda$$

$\lambda = 550$ nM

$d = 2{,}11\ \mu m$

$$= \frac{1}{2{,}11\cdot 10^{-6}\cdot \cos 15°7} = 4{,}9\cdot 10^{5}\ m^{-1}$$ variazione di λ variando θ.

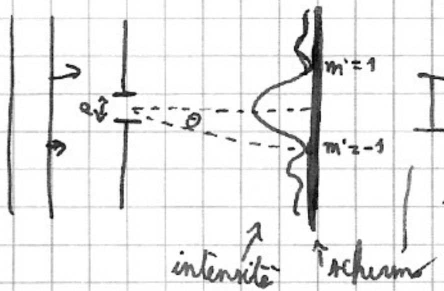
Posizioni angolari interferenza primo ordine?

$$d\,\text{sen}\theta = \pm \overset{=1}{m}\lambda \qquad \theta = \text{arcsen}\frac{\lambda}{d} = 15{,}7°$$

$$\Delta\theta_{1/2} = \frac{\lambda}{N d \cos\theta_m}$$

16/01/2009

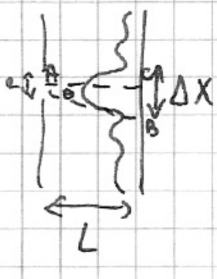
16.3. P. 433



$$I = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{intensità max.}}}{I_c} \cdot \frac{\text{sen}^2\beta}{\beta^2} \qquad \beta = \frac{\pi a}{\lambda}\,\text{sen}\,\theta$$

$a\,\text{sen}\,\theta = \pm m'\lambda$ $(m' = 1, 2, ..)$ minimi secondari

derivando $a\,\text{sen}\theta = \pm\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$ $(m = 1, 2, 3, ...)$ massimi secondari



$\Delta X = 5{,}4$ mm

$\lambda = 584$ nm

$L = 1{,}31$ m

$a = ?$

$$\frac{1}{2}\Delta X = BC = L\cdot tg\,\theta \qquad \text{sen}\theta \simeq tg\theta \simeq \theta \text{ per } \theta \text{ piccolo}$$

$$\theta = \text{arctg}\frac{\Delta X}{2L} = 2{,}06\cdot 10^{-3}\ \text{rad} \qquad a = \frac{\lambda}{\text{sen}\theta} = 0{,}28\cdot 10^{-3}\ m$$

$a\,\text{sen}\theta = m'\lambda$ con $\text{sen}\theta \approx \theta$ e $m' = 1$ $\quad \theta \simeq \frac{\lambda}{a}$

$$\Delta X = \frac{2L\lambda}{a} \qquad a = \frac{2L\lambda}{\Delta X} = 2\cdot 1{,}31\cdot 584\cdot 10^{-9}\cdot \frac{1}{5{,}4\cdot 10^{-3}} = 0{,}28\cdot 10^{-3}\ m$$

16.6

Non vale $tg\theta \simeq sen\theta \simeq \theta$.

$a = 2\ \mu m = 2\cdot10^{-6}\ m$

$\lambda = 550\ nm = 550\cdot10^{-9}\ m$

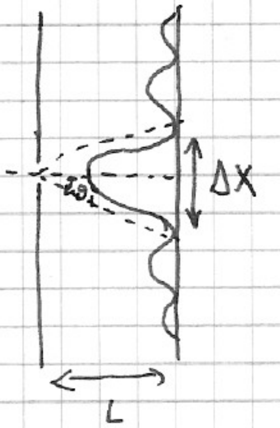
$a\ sen\theta_1 = \underset{m'=1}{\lambda}$

$\theta_1 = arcsen\ \frac{\lambda}{a} = arcsen\ \frac{550\cdot10^{-9}}{2\cdot10^{-6}} =$

$2\theta_1 = ?$ $\Delta x = ?$

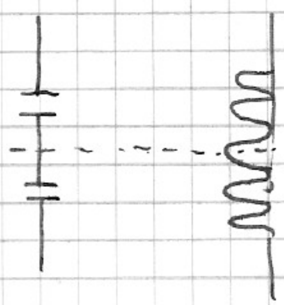
$\simeq 0,28\ rad.$ $2\theta_1 = 2\cdot0,28 = 0,56\ rad$

$L = 1m$

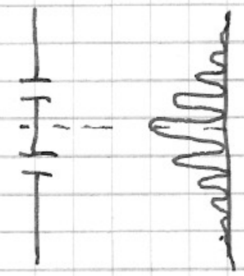


$\Delta X = 2L\ tg\,\theta_1 = 2\cdot tg(0,28) = 0,58\ m$

INTERFERENZA



se aumento la larghezza delle fenditure →



$$I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)\frac{sen^2\beta}{\beta^2}$$

intensità del massimo di diffrazione con una sola fenditura

$$\phi = \frac{2\pi d}{\lambda}sen\theta \qquad \beta = \frac{\pi a}{\lambda}sen\theta$$

16.17

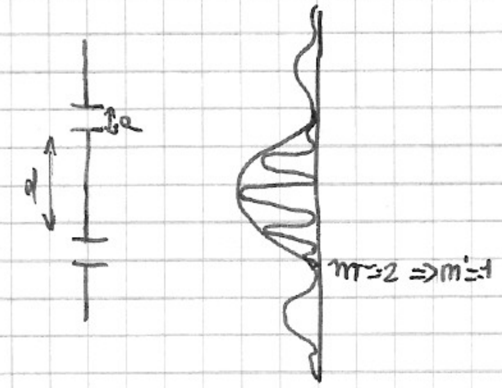
$\frac{d}{a} = ?$ affinché

$m = 2$ interferenza

$m' = 1$ diffrazione

$=$

$\frac{2\lambda}{d} = \frac{\lambda}{a} \rightarrow \frac{d}{a} = 2$

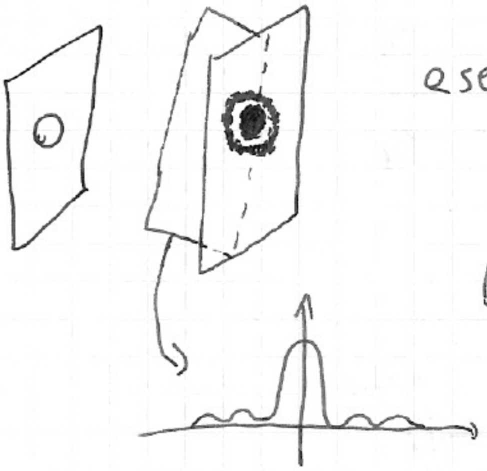


$d\,sen\theta = \pm m\lambda \quad (m = 0,1,2,\dots)$

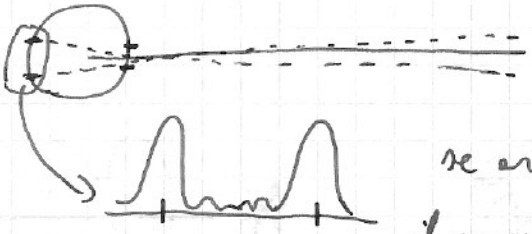
$a\,sen\theta = \pm m'\lambda \quad (m' = 1,2,\dots)$

$$\begin{cases} d\,sen\theta_i = 2\lambda \\ a\,sen\theta_d = \lambda \end{cases}$$

imponendo $sen\theta_i = sen\theta_d$



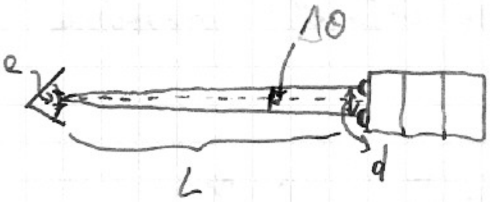
$a \operatorname{sen}\theta = \underline{\underline{1{,}22}}\,\lambda$ CONDIZIONE DI MINIMO



se avvicino di più i punti il massimo della figura di un punto coincide con il minimo dell'altra → i due punti non sono risolubili (RELEY)

$\Delta\theta_R = 1{,}22 \cdot \frac{\lambda}{a}$ se $\Delta\theta < \Delta\theta_R$ i punti non sono discriminabili.

16.22



$\Delta\theta > \Delta\theta_R = 1{,}22 \cdot \frac{\lambda}{a}$

$d = 2L \cdot tg\left(\frac{1}{2}\Delta\theta\right) \simeq 2L \cdot \frac{1}{2}\Delta\theta \simeq L \cdot \Delta\theta \qquad \Delta\theta_R = \frac{d}{L}$

$\frac{d}{L} = 1{,}22 \cdot \frac{\lambda}{a} \qquad L = \frac{d \cdot a}{1{,}22\lambda}$ condizione affinché l'osservatore riesca a vedere i due fari separati.

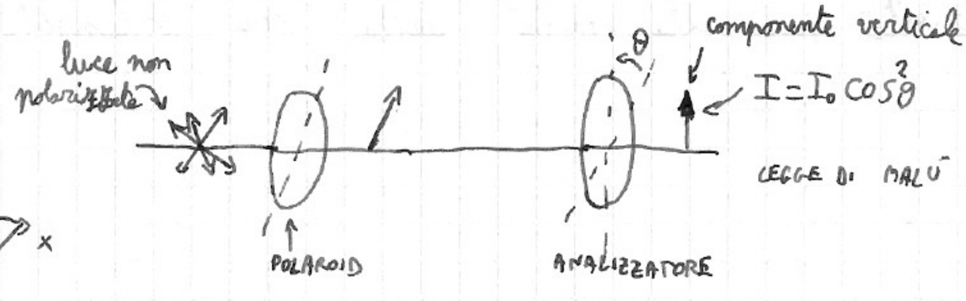
se $d = 1m$

$a = 5 \cdot 10^{-3} m$

$\lambda = 550\ nm$

$L = \frac{1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{1{,}22 \cdot 550 \cdot 10^{-9}} = 7{,}45\ Km$!!! limite superiore

POLARIZZAZIONE

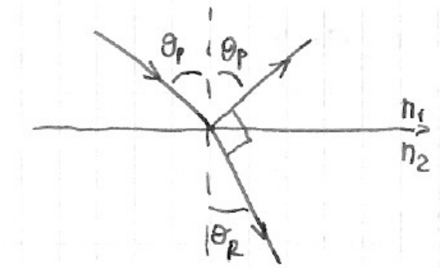


POLARIZZAZIONE LINEARE

$$P = \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{\parallel} + I_{\perp}}$$

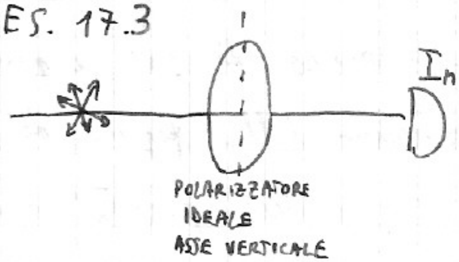
GRADO DI POLARIZZAZIONE

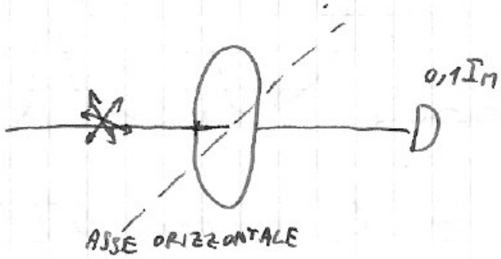
ALTRO MODO DI POLARIZZAZIONE



questo vale se $tg\,\theta_P = \frac{n_2}{n_1}$

ES. 17.3





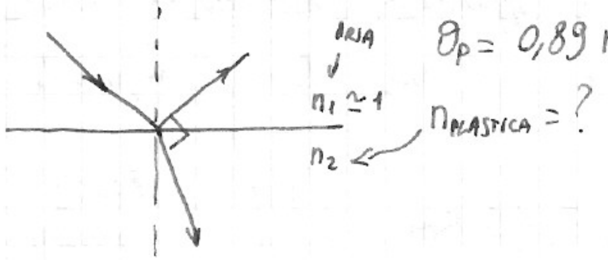
Se la luce fosse completamente non polarizzata, $I_M = 0{,}1 I_M$.

La luce è quindi parzialmente polarizzata.

Se la luce fosse completamente polarizzata, avrei intensità massima in una sola direzione e 0 altrove.

$$P = \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{\parallel} + I_{\perp}} = \frac{I_M - 0{,}1\, I_M}{I_M + 0{,}1\, I_M} = \frac{0{,}9}{1{,}1} I_M = 0{,}82\, I_M = 82\%$$

17.7



$\theta_P = 0{,}89$ rad

$n_{PLASTICA} = tg\,\theta_P = tg\, 0{,}89 = 1{,}23$

La luce completamente non polarizzata emerge dal polarizzatore con un'intensità pari alla metà della sua intensità.