

# L'INGRANDIMENTO

## 1. LENTE CONVERGENTE

$$\left. \begin{array}{l} f > 0 \\ s > f \\ s' > 0 \end{array} \right\}$$

$$M = -\frac{s'}{s} = -\frac{|s'|}{|s|} < 0$$

$2f < s < \infty$
$-1 < M < 0$

$f < s < 2f$
$-\infty < M < -1$

$$\left. \begin{array}{l} f > 0 \\ s > 2f \quad \left(\frac{1}{s} < \frac{1}{2f}\right) \\ s' > 0 \end{array} \right\}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad \frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s'} < \frac{1}{2f}$$

$$\frac{1}{s'} > \frac{1}{2f} \quad s' < 2f \quad M = -\frac{|s'|}{|s|} > -1$$

(RIPICCIOLITA)

$$\left. \begin{array}{l} f > 0 \\ s < f \\ s' < 0 \end{array} \right\}$$

$$\frac{1}{|s|} + \frac{1}{-|s'|} > 0 \quad \frac{1}{|s|} > +\frac{1}{|s'|}$$

$$\frac{|s'|}{|s|} > 1 \quad M = -\frac{s'}{s} = \frac{|s'|}{|s|} > 1$$

$M > 1$
---------

$$M=1 \Rightarrow |s|=|s'| \quad s' < 0 \Rightarrow s' = -|s| \Rightarrow \frac{1}{|s|} + \frac{1}{-|s|} = \frac{1}{f} = 0$$

$$f \rightarrow \infty \quad R_1, R_2 \rightarrow \infty$$

## 2. LENTE DIVERGENTE

$$\left. \begin{array}{l} f < 0 \\ s > 0 \\ s' < 0 \end{array} \right\}$$

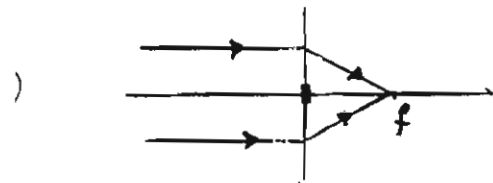
$$M = -\frac{-|s'|}{|s|} = \frac{|s'|}{|s|} > 0$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{-|s'|} < 0 \quad \frac{1}{s} < \frac{1}{|s'|}$$

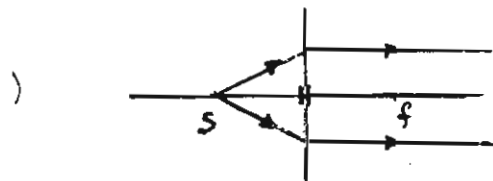
$$\frac{|s'|}{|s|} < 1 \quad M < 1$$

$0 < M < 1$
-------------

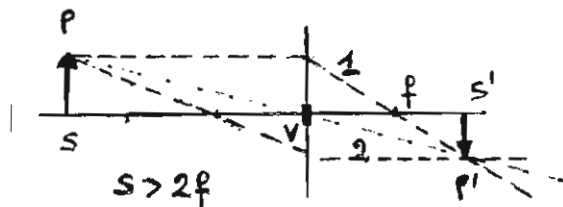
$f > 0$  lenti convergenti - Ingrandimento



$s = \infty \quad s' = f \quad f > 0 \Rightarrow s' > 0$   
**REALE**



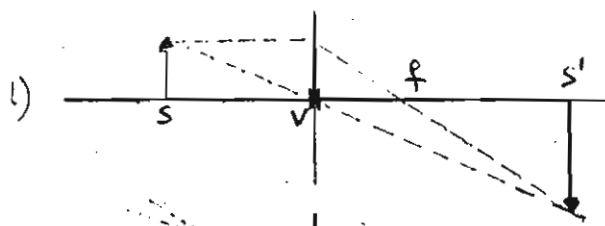
$s = f \quad s' = \infty$



1. raggio // asse ottico  $\Rightarrow$  fuoco (a) (b)
2. passaggio per il vertice: stessa direzione

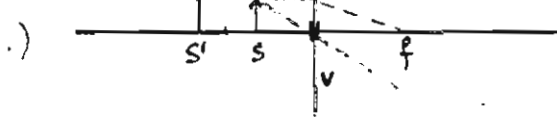
Ingrandimento  $M = -\frac{s'}{s} = \frac{h'}{h}$  (similitudine  $\triangle SPV - \triangle S'P'V$ )

qui:  $s > s'$  IMMAGINE REALE CAPOVOLTA RIMPICCIOLITA  $-1 < M < 0$



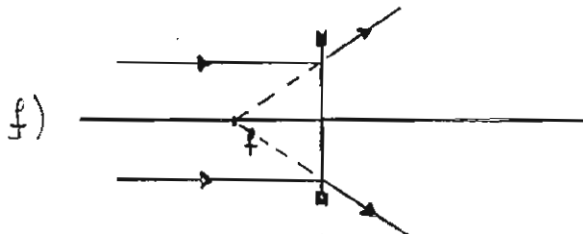
$f < s < 2f$  IMMAGINE REALE  
 CAPOVOLTA INGRANDITA  $-\infty < M < -1$

( $s = 2f$  : R.C. uguale)

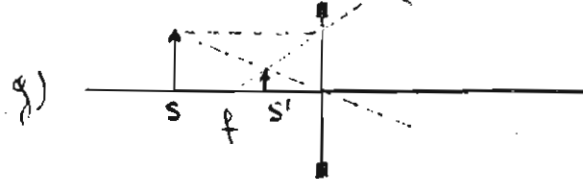


$s < f$  IMMAGINE VIRTUALE DIRITTA  $M > 1$   
 INGRANDITA  $|s'| > |s|$

$f < 0$  lente divergente - Ingrandimento



$s = \infty \quad s' = f \quad f < 0 \Rightarrow s' < 0$   
**VIRTUALE**



$\forall s$  IMMAGINE VIRTUALE DIRITTA  
 RIMPICCIOLITA  $0 < M < 1$

$|s'| < |f|$   
 $|s'| < s$

PONIAMO  $s > \frac{R}{2}$  ;  $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$   $\frac{1}{s'} = \frac{2}{R} - \frac{1}{s} > 0$  (REALE)

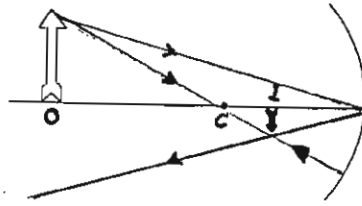
PONIAMO  $s < \frac{R}{2}$  ;  $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$   $\frac{1}{s'} = \frac{2}{R} - \frac{1}{s} < 0$

$s' < 0$  L'IMMAGINE E' VIRTUALE!

### SCHEMA RIASSUNTIVO

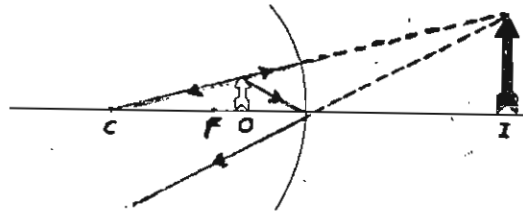
SPECCHIO  
CONCAVO

$s > \frac{R}{2}$   
 $s' > 0$



$f > 0$   
 $-\infty < M < 0$   
 $M = -1 \leftrightarrow s = s' = R$

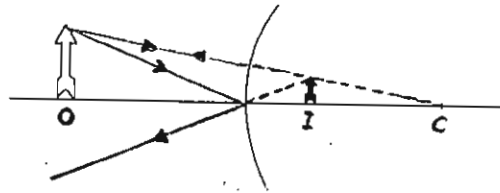
$s < \frac{R}{2}$   
 $s' < 0$



$f > 0$   
 $M > 1$

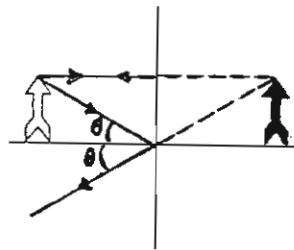
SPECCHIO  
CONVESSO

$s' < 0$



$f < 0$   
 $0 < M < 1$

SPECCHIO  
PIANO



$M = +1$

NB. PER LA COSTRUZIONE GRAFICA DELL'IMMAGINE SI PUO' ANCHE CONSIDERARE IL RAGGIO CHE PARTE DALL'OGGETTO, PASSA PER IL FUOCO ED E' RIFLESSO // ALL'ASSE OTTICO

Si necessita di una lamina a quarto d'onda di quarzo da usare con luce al sodio ( $\lambda=589 \text{ nm}$ ). Quale deve essere il suo spessore minimo?

$$n_s = 1.553$$

$$n_o = 1.544$$

$$e = \frac{\lambda}{4} \frac{1}{n_s - n_o} = \frac{589 \cdot 10^{-9} [\text{m}]}{4 (1.553 - 1.544)} = \frac{589 \cdot 10^{-9} [\text{m}]}{0.036}$$

$$= 1.6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$= 0.016 \text{ mm}$$

Un'onda luminosa di ampiezza  $E_0$  polarizzata linearmente incide su una lamina a quarto d'onda di calcite. Il piano di vibrazione forma un angolo di  $45^\circ$  rispetto all'asse ottico della lamina, assunto come asse  $y$ . La luce emergente è polarizzata circolarmente. In che verso ruoterà il vettore campo elettrico? Il verso di propagazione è uscente dal piano del foglio.

$$E_s = E_y = (E_H \cos \theta) \sin(kx + k_s d - \omega t)$$

$$E_o = E_z = (E_H \sin \theta) \sin(kx + k_o d - \omega t)$$

$$\phi_s - \phi_o = \Delta \phi \Rightarrow \frac{\pi}{2}$$

$$n_s = 1.486$$

$$n_o = 1.658$$

$$E_y = E_H \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(\phi_s)$$

$$k_s < k_o$$

$$E_z = E_H \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(\phi_s - \Delta \phi) \Rightarrow E_H \frac{1}{\sqrt{2}} \cos \phi$$

NELLA CALCITE L'ONDA ORDINARIA SI PROPAGA PIU' LENTAMENTE (E' IN RITARDO RISPETTO ALL'ONDA STRAORDINARIA)

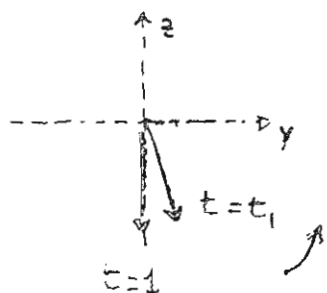
$$\text{POSTO } \phi_s = \omega t$$

$$\text{AL TEMPO } t=0 \quad E_y = E_s = 0$$

$$E_z = E_o = -E_H$$

$$\text{AL TEMPO } t = t_1 \quad E_y = E_H \sin \omega t_1 \approx E_H \omega t_1$$

$$E_z = -E_H \cos \omega t_1 \approx -E_H$$



VERSO DI ROTAZIONE  
ANTIORARIO

POLARIZZAZIONE  
CIRCOLARE  
SINISTRA

Un'onda piana luminosa di intensità  $I$  e lunghezza d'onda  $\lambda=0.5 \mu\text{m}$  incide su un analizzatore: si osserva che ruotando l'analizzatore l'intensità  $I_p$  non varia. Mostrare come l'aggiunta di una lamina quarto d'onda per la luce in esame, ad esempio di calcite, permetta di determinare lo stato di polarizzazione della luce.

RUOTANDO L'ANALIZZATORE  $I_p$  NON VARIA

ONDA NON  
POLARIZZATA  
①

ONDA POLARIZZATA  
CIRCOLARMENTE  
②

INSERENDO UNA LAMINA  $1/4$  D'ONDA PRIMA DELL'ANALIZZATORE

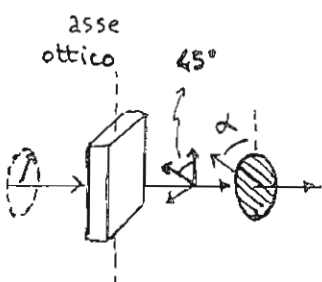
①  $\Rightarrow$  NON SI HA NESSUN EFFETTO RUOTANDO L'ANALIZZATORE

②  $\Rightarrow$  SE L'ONDA È POLARIZZATA CIRCOLARMENTE, DOPO AVER ATTRAVERSATO LA LAMINA HA POLARIZZAZIONE LINEARE (IL VETTORE CAMPO ELETTRICO FORMA UN ANGOLO DI  $45^\circ$  CON L'ASSE OTTICO DELLA LAMINA)  
L'INTENSITÀ TRASMESSA DALL'ANALIZZATORE SARÀ

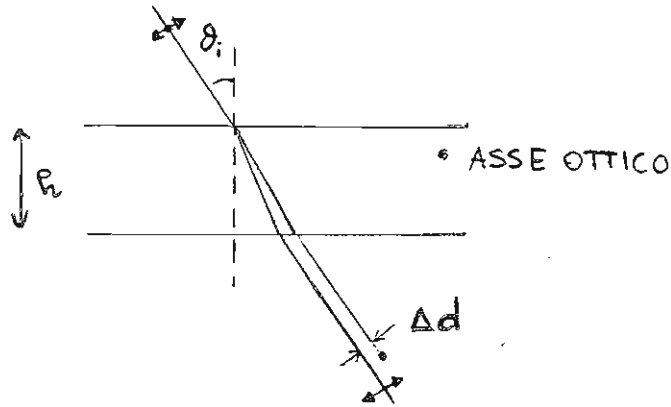
$$I_p(\alpha) = I \cos^2\left(\alpha \pm \frac{\pi}{4}\right)$$

$\alpha$  = ANGOLO FRA ASSE OTTICO DELL'ANALIZZATORE E ASSE OTTICO DELLA LAMINA

$$I_p = 0 \text{ per } \alpha = 3\pi/4; 7\pi/4 \quad \alpha = \pi/4; 5\pi/4$$



Un'onda luminosa piana non polarizzata di lunghezza d'onda  $\lambda=0.589 \mu\text{m}$  incide con un angolo di  $\theta_i=45^\circ$  su una lastra di calcite spessa  $h=2 \text{ cm}$ , tagliata con due facce parallele all'asse ottico. Il piano di incidenza è ortogonale all'asse ottico. Calcolare la separazione tra il raggio ordinario e il raggio straordinario all'uscita dalla lastra.



$$d_o = h \operatorname{sen} \theta_i \left( 1 - \frac{\cos \theta_i}{\sqrt{n_o^2 - \operatorname{sen}^2 \theta_i}} \right) = 0.75 \text{ cm}$$

$$d_s = h \operatorname{sen} \theta_i \left( 1 - \frac{\cos \theta_i}{\sqrt{n_s^2 - \operatorname{sen}^2 \theta_i}} \right) = 0.65 \text{ cm}$$

$$\Delta d = d_o - d_s = 0.10 \text{ cm} = 1 \text{ mm}$$

Calcolare lo spessore minimo della pellicola di una bolla di sapone ( $n=1.46$ ) perché si abbia interferenza costruttiva nella luce riflessa quando la pellicola è illuminata con luce di lunghezza d'onda nel vuoto pari a 600 nm.

Le celle solari (ad esempio realizzate in Silicio,  $n=3.5$ ) Silicio sono ricoperte da un sottile strato trasparente (ad esempio il monossido di Silicio,  $\text{SiO}_2$ ,  $n=1.45$ ) per rendere minime le perdite per riflessione dalla superficie. Determinare lo spessore minimo dello strato in grado di produrre riflessione minima ad una lunghezza d'onda di 550 nm (circa massimo potere emissivo solare).

Una lamina sottile cuneiforme di indice di rifrazione  $n$  è illuminata con luce monocromatica di lunghezza d'onda  $\lambda$ . Descrivere la figura di interferenza che si osserva in riflessione.

Un sistema di due fenditure è illuminato con luce verde di lunghezza d'onda  $\lambda=546$  nm (lampada ai vapori di mercurio). La distanza fra le fenditure è 0.12 mm e lo schermo sul quale appaiono le figure di interferenza è a 55 cm. Quale è la posizione angolare del primo minimo? Quale è la distanza sullo schermo fra due massimi consecutivi,  $m$  e  $m+1$ ?

In un dispositivo di Young con  $n=1$  si osserva che la distanza fra le due frange di ordine  $m=5$  ed  $m=-5$  è  $\Delta x_1=12$  mm quando la lunghezza d'onda è  $\lambda_1=600$  nm, mentre è  $\Delta x_1=8$  mm quando la lunghezza d'onda è  $\lambda_2$ . Calcolare  $\lambda_2$ .

In un dispositivo di Young la distanza fra le fenditure è  $d=0.5$  mm e lo schermo dista  $L=80$  cm dal piano delle fenditure. Se la lunghezza d'onda incidente è  $\lambda_0=400$  nm, calcolare la posizione dei massimi di interferenza quando l'esperimento è eseguito in aria ( $n=1$ ) e in acqua ( $n=1.33$ ).

In un esperimento di Young con luce ordinaria monocromatica di lunghezza d'onda  $\lambda$  si pone davanti a ciascuna fenditura un polarizzatore. Detto  $\alpha$  l'angolo fra gli assi dei polarizzatori e  $I_1$  l'intensità trasmessa da una singola fenditura, calcolare come varia l'intensità sullo schermo in funzione di  $\alpha$ . In particolare per  $\alpha=0$  e  $\alpha=\pi/2$  trovare i valori di  $I_{\min}$  e  $I_{\max}$ .

Uno schermo dista 1.2 m da due fenditure illuminate. La distanza fra le fenditure è 0.03 mm. La frangia chiara del secondo ordine ( $m=2$ ) si trova a 4.5 cm dalla frangia centrale. (a) Determinare la lunghezza d'onda della luce. (b) Calcolare la distanza fra frange chiare adiacenti.

Una luce di lunghezza d'onda 580 nm incide su una fenditura di larghezza 0.30 mm. Lo schermo d'osservazione è posto a 2 m dalla fenditura. Trovare le posizioni delle prime frange scure e la larghezza della frangia centrale chiara.

Un'onda luminosa di lunghezza d'onda  $\lambda = 0.59 \cdot 10^{-6}$  m attraversa una fenditura di larghezza  $a$ . La larghezza dell'immagine della fenditura, osservata nel piano focale di una lente di distanza focale  $f = 60$  cm, è  $\Delta x = 7.5$  mm. Calcolare il valore di  $a$ .

Una fenditura di larghezza  $a$  è illuminata con luce bianca. Per quale valore di  $a$  il primo minimo relativo alla luce rossa ( $\lambda = 650$  nm) si ottiene in corrispondenza di un angolo  $\theta = 15^\circ$ ? Quale è la lunghezza d'onda della luce che nello stessa posizione angolare ha il primo massimo di diffrazione (escluso il massimo centrale)?

Una lente convergente di 32 mm di diametro ha una lunghezza focale di  $f=24$  cm. (a) Quale è la distanza angolare che devono avere due oggetti puntiformi distanti perché sia soddisfatto il criterio di Rayleigh ( $\lambda=550$  nm). (b) Quanto sono distanti nel piano focale della lente i massimi di diffrazione?

Il telescopio di Hale a Monte Palomar ha un diametro di 200 pollici. Qual'è l'angolo limite di risoluzione ad una lunghezza d'onda di 600 nm?

Si usa la luce del sodio di lunghezza d'onda 589 nm per vedere un oggetto sotto un microscopio. Se l'apertura dell'obiettivo ha un diametro di 0.9 cm, (a) trovare l'angolo limite di risoluzione. (b) Usando luce visibile, qual è il limite massimo di risoluzione per questo microscopio? (c) Supponiamo che dell'acqua, con indice di rifrazione  $n=1.33$  riempia lo spazio fra oggetto e obiettivo: quale sarà il suo effetto sul potere risolutivo del microscopio?

Determinare quale è la distanza  $L$  dall'occhio umano alla quale di notte appaiono distinti i fari di un'automobile, separati fra loro di  $s=1.4$  m. Si assuma  $D=2$  mm e  $\lambda_0=0.55$   $\mu\text{m}$ .

Calcolare l'angolo limite di risoluzione per l'occhio assumendo un diametro della pupilla di 2 mm, una lunghezza d'onda di 500 nm in aria ed un indice di rifrazione per l'occhio pari a 1.33

Un reticolo di diffrazione contiene  $N=4000$  linee su una larghezza  $L=2$  cm; la larghezza delle fenditure è  $a=1 \mu\text{m}$ . La luce di lunghezza d'onda  $\lambda=0.5 \mu\text{m}$  trasmessa dal reticolo viene osservata nel piano focale di una lente con  $f=20$  cm. Calcolare la posizione delle frange osservate, la loro larghezza e la loro intensità relativamente all'intensità della frangia centrale.

Una lampada al sodio, contenente sodio gassoso eccitato con una scarica elettrica, emette due lunghezze d'onda molto vicine, di valori  $\lambda_1=0.589 \mu\text{m}$  e  $\lambda_2=0.5896 \mu\text{m}$ . Quante linee deve avere un reticolo affinché  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  siano appena risolvibili nello spettro del secondo ordine?

ES. 1

Un'onda elettromagnetica piana, di  $3.18 \text{ m}$  di lunghezza d'onda, viaggia nello spazio libero in direzione  $+x$  con il suo vettore campo elettrico  $E$ , di  $288 \text{ V/m}$  di ampiezza, parallelo all'asse  $y$ . (a) Qual è la frequenza dell'onda? (b) Quali sono la direzione e l'ampiezza del campo magnetico associato all'onda? (c) Se  $E = E_m \sin(kx - \omega t)$ , quanto valgono  $k$  e  $\omega$ ? (d) Determinare l'intensità dell'onda. (e) Se l'onda colpisce un foglio perfettamente assorbente di area  $1.85 \text{ m}^2$ , a che velocità viene trasferita quantità di moto al foglio e qual è la pressione di radiazione esercitata sul foglio?

ES. 2

Una radiazione di intensità  $I$  incide normalmente su un oggetto che ne assorbe una frazione  $f$  e ne riflette il resto. Qual è la pressione di radiazione?

Si consideri un laser a elio-neon del tipo che si trova spesso nei laboratori di fisica, capace di irraggiare  $5.00 \text{ mW}$  di potenza ad una lunghezza d'onda di  $633 \text{ nm}$ . Il fascio verrà focalizzato da una lente in una zona circolare il cui diametro efficace si può considerare di  $2.10$  lunghezze d'onda. Calcolare (a) l'intensità del fascio focalizzato, (b) la pressione di radiazione esercitata su una piccola sfera, perfettamente assorbente, il cui diametro è uguale a quello della zona su cui è focalizzato il fascio, (c) la forza esercitata su tale sfera e (d) l'accelerazione che ad essa viene impartita. Si assuma una densità della sfera di  $4.88 \text{ g/cm}^3$ .

ES 3

(a) Si dimostri che l'intensità media della radiazione solare che cade perpendicolarmente su una superficie appena fuori dall'atmosfera terrestre è di  $1.38 \text{ kW/m}^2$ . (b) Che pressione di radiazione viene esercitata su questa superficie, supponendo un assorbimento completo? (c) Confrontare questa con la pressione atmosferica al livello del mare, che è di  $101 \text{ kPa}$ .

La radiazione solare che colpisce la Terra ha una intensità di  $1.38 \text{ kW/m}^2$ . (a) Supponendo che la Terra si comporti come un disco piatto perpendicolare ai raggi solari e che tutta l'energia incidente venga assorbita, calcolare la forza che agisce sulla Terra dovuta alla pressione di radiazione. (b) Confrontarla con la forza dovuta all'attrazione gravitazionale del Sole calcolando il rapporto  $F_{\text{rad}}/F_{\text{grav}}$ .

ES 4

Una particella nel sistema solare si trova sottoposta alla azione combinata della attrazione gravitazionale del Sole e della forza della radiazione dovuta ai raggi del Sole. Si supponga che la particella sia una sfera di densità  $1.00 \text{ g/cm}^3$  e che la radiazione incidente venga assorbita. (a) Si dimostri che tutte le particelle il cui raggio è inferiore ad un certo raggio critico  $R_0$  verranno espulse dal sistema solare. (b) Si calcoli  $R_0$ . Si noti che  $R_0$  non dipende dalla distanza della particella dal Sole.

Che induttanza è necessario accoppiare ad un condensatore da 17 pF per costruire un circuito oscillante in grado di generare onde elettromagnetiche da 550 nm (cioè nel visibile)? Commentare la risposta.

Un aeroplano che si trova in volo a 11.3 km da un radiotrasmettitore riceve un segnale di  $7.83 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Si calcoli (a) l'ampiezza del campo elettrico del segnale nel punto in cui si trova l'aeroplano; (b) l'ampiezza del campo magnetico del segnale nel punto in cui si trova l'aeroplano; (c) la potenza totale irradiata dal trasmettitore, supponendo che esso irraggi uniformemente in tutte le direzioni.

Si consideri la possibilità di onde elettromagnetiche stazionarie:

$$E = E_m(\sin\omega t)(\sin kx),$$

$$B = B_m(\cos\omega t)(\cos kx).$$

(a) Si dimostri che queste soddisfano le equazioni 5 e 9 se  $E_m$  è opportunamente in relazione con  $B_m$  e se  $\omega$  è opportunamente in relazione con  $k$ . Quali sono queste relazioni? (b) Si determini il vettore (istantaneo) di Poynting. (c) Si dimostri che il flusso medio di potenza attraverso una superficie qualsiasi è nullo. (d) Si descriva il flusso di energia in questa situazione.

ES 6

La figura 19 rappresenta un condensatore a piatti paralleli sotto carica. (a) Si dimostri che il vettore di Poynting  $S$  è rivolto ovunque radialmente in verso entrante nel volume cilindrico. (b) Si dimostri che il ritmo con cui l'energia entra in questo volume, calcolata integrando il vettore di Poynting sulla superficie cilindrica di questo volume, è uguale al ritmo con cui aumenta l'energia elettrostatica immagazzinata; cioè

$$\int S \cdot dA = Ad \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \right),$$

dove  $Ad$  è il volume del condensatore e  $\frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$  è la densità di energia per tutti i punti all'interno di tale volume. Questa analisi mostra che, secondo il punto di vista del vettore di Poynting, l'energia immagazzinata in un condensatore non entra dai fili, ma attraverso lo spazio attorno ai fili e ai piatti.

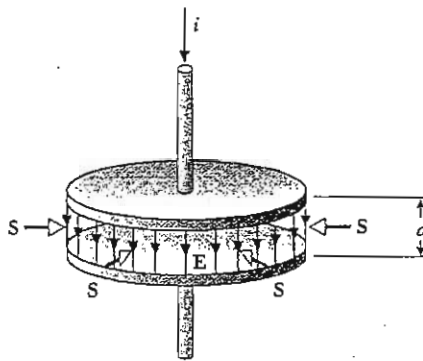


Figura 19

ES 6

Un cavo coassiale (raggio interno  $a$ , raggio esterno  $b$ ) viene usato come linea di trasmissione tra una batteria  $\mathcal{E}$  e un resistore  $R$ , come mostrato in figura 18. (a) Calcolare  $E$  e  $B$  per  $a < r < b$ . (b) Calcolare il vettore di Poynting  $S$  per  $a < r < b$ . (c) Integrando opportunamente il vettore di Poynting, si dimostri che la potenza totale che fluisce attraverso la sezione anulare  $a < r < b$  è  $\mathcal{E}^2/R$ . È ciò ragionevole? (d) Si dimostri che il verso di  $S$  è sempre dalla batteria al resistore, indipendentemente da come è collegata la batteria.

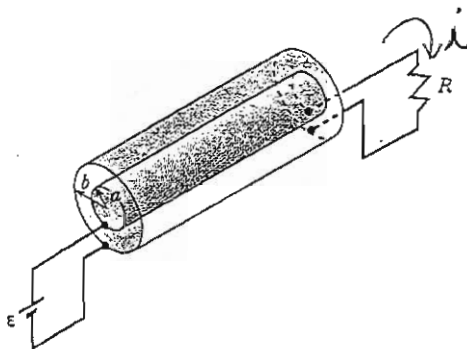
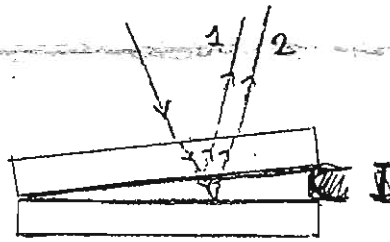
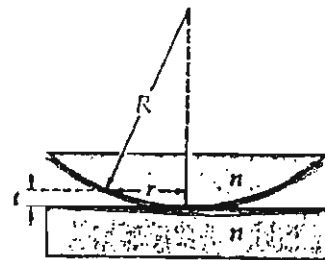


Figura 18



001 Un film d'aria a forma di cuneo è realizzato mettendo una striscetta di carta da un lato tra i bordi di due lastre piane di vetro. Su di esse incide luce di 500 nm di lunghezza d'onda, e si osservano frange d'interferenza per riflessione. Se l'angolo formato dalle lastre è  $3 \times 10^{-4}$  rad, quante frange d'interferenza per unità di lunghezza si osservano?

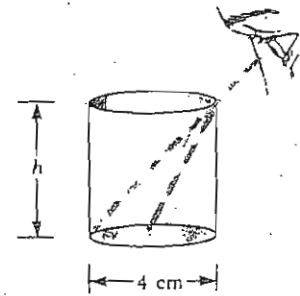
002 Un apparecchio per produrre gli anelli di Newton è costituito da una lente di vetro con raggio di curvatura  $R$  che poggia su una lastra di vetro piana, com'è mostrato nella figura 34.38. Abituamente entrambe le lastre di vetro hanno lo stesso indice di rifrazione  $n$ . Il film sottile è costituito da aria di spessore variabile. La figura viene osservata per luce riflessa. (a) Si mostri che per uno spessore  $t$  la condizione per una frangia d'interferenza brillante (costruttiva) è  $t = \frac{1}{2}(m + \frac{1}{2})\lambda$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$  (b) Si dimostri che, purché  $t/R \ll 1$ , il raggio  $r$  di una frangia circolare brillante è dato da  $r = \sqrt{(m + \frac{1}{2})\lambda R}$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$  (c) Come apparirebbe la figura trasmessa in confronto a quella riflessa? (d) Si usi  $R = 10$  m e un diametro di 4,0 cm per la lente. Quante frange brillanti si vedrebbero se l'apparecchio venisse illuminato con la luce gialla del sodio ( $\lambda = 590$  nm) e l'osservazione avvenisse per riflessione? (e) Quale sarebbe il diametro della sesta frangia brillante? (f) Se il vetro usato nell'apparecchio avesse l'indice di rifrazione  $n = 1,5$  e si ponesse acqua tra le due lastre di vetro, come cambierebbero le frange brillanti?



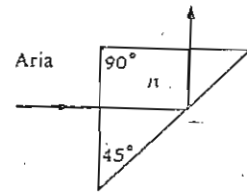
003 Un fascio di luce di 480 nm di lunghezza d'onda incide normalmente su 4 fenditure; ciascuna fenditura è larga  $2,0 \mu\text{m}$  e dista  $6,0 \mu\text{m}$  dalla successiva. (a) Si trovi l'angolo dal centro al primo minimo della figura di diffrazione di una singola fenditura. (b) Si trovino gli angoli di tutti i massimi d'interferenza che sono all'interno del massimo centrale di diffrazione. (c) Si trovi l'angolo tra il massimo centrale d'interferenza e il primo minimo d'interferenza. (d) Si tracci un grafico dell'intensità in funzione dell'angolo su uno schermo lontano.

- RR1 6. Si dimostri che un raggio luminoso trasmesso attraverso una lastra di vetro emerge parallelamente al raggio incidente, ma spostato rispetto ad esso. Per un angolo d'incidenza di  $60^\circ$ , indice di rifrazione del vetro  $n = 1,5$  e spessore della lastra 10 cm, si trovi lo spostamento misurato lungo la superficie del vetro, a partire dal punto in cui arriverebbe il raggio incidente se non ci fosse la lastra.

- RR2 Un bicchiere è largo 4 cm alla base, come mostrato in Fig. 16.30. Quando l'occhio di un osservatore è posto come mostrato in Figura, l'osservatore vede il contorno della base del bicchiere. Quando questo bicchiere è riempito di acqua, l'osservatore vede il centro della base del bicchiere. Trovare l'altezza del bicchiere.



- RR3 4. La luce incide normalmente su una faccia di un prisma il cui indice di rifrazione è  $n$  (fig. 32.38.). La luce viene riflessa totalmente dalla faccia obliqua. (a) Qual è il valore minimo che può avere  $n$ ? (b) Se si immerge il prisma in un liquido il cui indice di rifrazione è 1,15, c'è ancora riflessione totale, ma nell'acqua, il cui indice di rifrazione è 1,33, non c'è più riflessione totale. Si usi quest'informazione per porre limiti ai valori possibili di  $n$ .



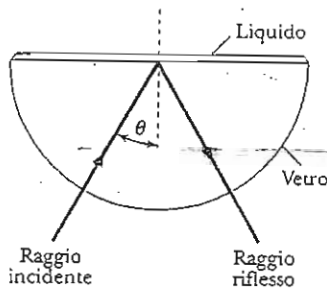
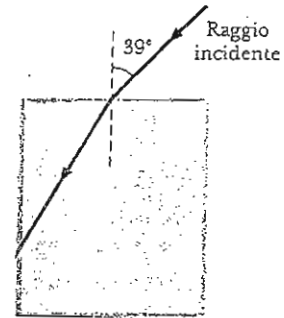
- RR4 5. Si indaghi sull'effetto che ha un sottile strato di acqua, posto su una superficie di vetro, sull'angolo critico di raggi luminosi provenienti dal vetro. Si prenda  $n = 1,5$  per il vetro e  $n = 1,33$  per l'acqua. (a) Qual è l'angolo critico per la riflessione totale alla superficie vetro-acqua? (b) Esiste un intervallo di angoli d'incidenza maggiori dell'angolo critico per la rifrazione vetro-aria, per i quali i raggi luminosi attraversano il vetro e arrivano nell'aria?

RR5

Una sorgente luminosa posta 1.5 m al di sotto della superficie di una piscina. Calcolare il raggio del cerchio attraverso il quale la luce emerge dalla superficie dell'acqua.

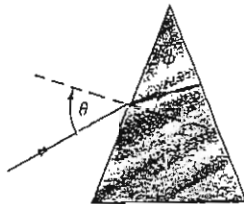
RR6

Un raggio di luce investe un blocco quadrato di vetro, come nella figura 40. Quanto deve valere, come minimo, l'indice di rifrazione del vetro perché sulla faccia verticale si abbia la riflessione totale?



RR7

Una goccia di liquido viene distribuita sul taglio di una lastra di vetro semicircolare come illustra la figura 39. (a) Discutere come è possibile determinare l'indice di rifrazione del liquido osservando la riflessione totale. Va determinato, essendo ignoto, pure l'indice di rifrazione del vetro. L'intervallo di indici di rifrazione che può essere misurato in questo modo è in qualche modo limitato? (b) In realtà qual è la praticità di questo metodo?



RR8

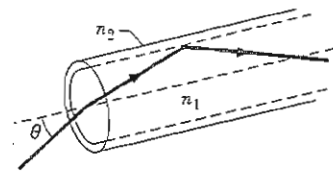
Un raggio di luce incide su di un prisma ed è rifratto alla prima superficie come mostrato in Fig. 16.34.  $\Phi$  rappresenti l'angolo al vertice del prisma e  $n$  sia il suo indice di rifrazione. Trovare in termini di  $n$  e  $\Phi$  il più piccolo valore permesso dell'angolo di incidenza alla prima superficie per cui il raggio rifratto subirà riflessione totale alla seconda superficie.

RR2

Un fibra ottica di tipo particolare è costituita da un'anima di vetro a indice di rifrazione  $n_1$  non variabile gradualmente, contornata da una guaina con indice di rifrazione  $n_2 < n_1$ . Si supponga che un raggio di luce penetri nella fibra provenendo dall'aria e formando un angolo  $\theta$  con il suo asse, come nella figura 41. (a) Si dimostri che il massimo valore di  $\theta$  che consente al raggio di propagarsi lungo la fibra è

$$\theta = \text{sen}^{-1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

(b) Si pongano ora i valori 1.58 e 1.53 per gli indici di rifrazione del vetro e del rivestimento rispettivamente, e si calcoli il valore di quest'angolo.



RR10

In una fibra ottica ( ) raggi diversi percorrono cammini differenti lungo la fibra, dando luogo a tempi di percorrenza diversi. Ciò provoca una dilatazione nel tempo di un impulso istantaneo di luce man mano che esso procede lungo la fibra, finendo per influire sulla qualità dell'informazione trasmessa. Nella progettazione delle fibre è d'obbligo pertanto rendere minimo il ritardo nel tempo. Si consideri un raggio che percorre la distanza  $L$  lungo l'asse della fibra e un altro che subisce una riflessione con angolo limite sul suo cammino verso la medesima destinazione del primo raggio.

(a) Mostrare che la differenza di tempo  $\Delta t$  tra i due istanti di arrivo è data da

$$\Delta t = \frac{L}{c} \frac{n_1}{n_2} (n_1 - n_2),$$

dove  $n_1$  è l'indice di rifrazione dell'anima ed  $n_2$  quello della guaina. (b) Calcolare  $\Delta t$  per la fibra del problema 48, ponendo  $L = 350$  km.

So 1

4. Un'asta di vetro lunga 96 cm con un indice di rifrazione di 1,6 ha le sue estremità molate a forma di superfici sferiche convesse con raggi di curvatura di 8 cm e 16 cm. Un oggetto puntiforme è posto in aria sull'asse, a 20 cm dall'estremità con raggio da 8 cm. (a) Si trovi la distanza dell'immagine dovuta alla rifrazione dalla prima superficie. (b) Si trovi l'immagine finale dovuta alla rifrazione da entrambe le superfici. (c) L'immagine finale è reale o virtuale?

So 2

5. Si ripeta il problema 4 per un oggetto puntiforme in aria a 20 cm dall'estremità con raggio da 16 cm.

So 3

Un oggetto è 36 cm a sinistra di una lente biconvessa di indice di rifrazione 1.5. La superficie di sinistra della lente ha un raggio di curvatura di 20 cm. Si vuol modellare quella di destra in modo tale che si formi un'immagine reale 72 cm a destra della lente. Qual è il raggio di curvatura richiesto per la seconda superficie?

So 4

Trovare le distanze (in termini di  $f$ ) di un oggetto da una lente sottile convergente di focale  $f$  se (a) l'immagine è reale e la distanza dell'immagine è quattro volte la focale; (b) l'immagine è virtuale e la distanza dell'immagine è tre volte la focale. (c) Calcolare l'ingrandimento nei due casi (a) e (b).

So 5

17. Si dimostri che una piccola variazione  $dn$  dell'indice di rifrazione del materiale di una lente produce un piccolo cambiamento della distanza focale  $df$ , dato approssimativamente da

$$\frac{df}{f} = -\frac{dn}{n-1}$$

Si usi questo risultato per trovare la distanza focale di una lente sottile per la luce blu, per la quale  $n = 1,53$ , se la distanza focale per la luce rossa, per la quale  $n = 1,47$ , è 20 cm.

S06 Un appassionato di filatelia esamina dei dettagli di stampa usando una lente convessa di focale 10 cm come lente d'ingrandimento. La lente è tenuta vicino all'occhio e la distanza tra l'oggetto e la lente è regolata in modo tale che l'immagine virtuale si formi al punto prossimo normale (25 cm). Calcolare l'ingrandimento che ci si aspetta.

S07 Una lente convergente di focale 20 cm dista 50 cm da una lente convergente di focale 5 cm. (a) Trovare la posizione finale dell'immagine di un oggetto posto a 40 cm davanti alla prima lente convergente. (b) Se l'altezza dell'oggetto è 2 cm, qual è l'altezza dell'immagine finale? È reale o virtuale? (c) Se le due lenti sono poste a contatto, qual è la distanza focale della combinazione? (d) Determinare la posizione dell'immagine di un oggetto posto a 5 cm davanti le due lenti in contatto.

S08 La distanza tra l'oculare e l'obiettivo in un certo microscopio composto è 23 cm. La focale dell'oculare è 2.5 cm e quella dell'obiettivo è 1.2 cm. Qual è l'ingrandimento complessivo del microscopio? (Si assumo che l'immagine finale si formi a 25 cm dall'occhio).

S09 11. Se si pone una sorgente luminosa brillante a 30 cm da una lente, c'è un'immagine diritta a 7,5 cm da essa. C'è anche una tenue immagine capovolta a 6 cm davanti alla lente dovuta alla riflessione dalla sua prima superficie. Se si ruota la lente di  $180^\circ$  attorno a un suo diametro, quest'immagine più debole capovolta è a 10 cm davanti alla lente. Si trovi l'indice di rifrazione della lente.

$\Rightarrow$  Specchio +  
lente

P01 Le equazioni del campo magnetico per un'onda elettromagnetica nel vuoto sono:  $B_x = B \sin(ky + \omega t)$ , e  $B_y = B_z = 0$ .  
(a) Qual è la direzione di propagazione? (b) Si scrivano le equazioni del campo elettrico. (c) L'onda è polarizzata? Se lo è, in che direzione?

P02 Un fascio di luce non polarizzata, avente intensità  $12.2 \text{ mW/m}^2$  incide normalmente su una lamina polarizzante. (a) Trovare il valore massimo dell'ampiezza del campo elettrico del fascio trasmesso. (b) Calcolare la pressione di radiazione esercitata sulla lamina polarizzante.

P03 Tre lastre polarizzanti si trovano accatastate. La prima e l'ultima sono incrociate tra di loro; l'asse di quella in mezzo forma un angolo di  $45^\circ$  con entrambe le altre due. Che frazione dell'intensità di un raggio incidente non polarizzato viene trasmessa dalla catasta?

P04 Sulla spiaggia di una determinata località e in un dato giorno verso il tramonto, la componente orizzontale del vettore campo elettrico è 2.3 volte maggiore della componente verticale. Un bagnante sta in piedi vicino a riva e inforca a un certo punto occhiali Polaroid, che estinguono la componente orizzontale del campo elettrico. (a) Che frazione di energia luminosa ricevono i suoi occhi rispetto a quella ricevuta senza occhiali? (b) Il bagnante, sempre con gli occhiali, si sdraia adesso su un fianco, assumendo una posizione col capo perfettamente orizzontale. Che frazione di energia luminosa riceve ora, rispetto a quella ricevuta senza occhiali?

P05 (a) A quale angolo di incidenza sarà completamente polarizzata la luce riflessa dall'acqua? (b) Questo angolo dipende dalla lunghezza d'onda della luce?

P06 Quando una luce rossa nel vuoto incide su una lastra di vetro con angolo pari all'angolo di Brewster, l'angolo di rifrazione risulta di  $31.8^\circ$ . Quanto valgono (a) l'indice di rifrazione del vetro e (b) l'angolo di Brewster?

P07 Quale dovrebbe essere l'effetto di una lamina a mezz'onda (cioè una lamina di spessore doppio di una lamina a quarto d'onda) su (a) luce polarizzata linearmente (supporre che il piano di vibrazione formi un angolo di  $45^\circ$  con l'asse ottico della lamina). (b) luce polarizzata circolarmente e (c) luce non polarizzata?

P08

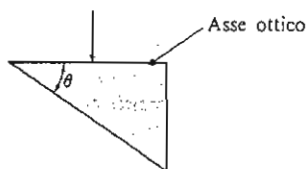
L'angolo di Brewster per una certa sostanza è  $60^\circ$ . (a) Qual è l'angolo di rifrazione della luce che incide con questo angolo? (b) Qual è l'indice di rifrazione di questa sostanza?

P09

Due lamine di polaroid hanno le loro direzioni di trasmissione incrociate così che non passa luce. Si inserisce una terza lamina tra le due in modo che la sua direzione di trasmissione formi un angolo  $\theta$  con quella della prima lamina. Sulla prima lamina incide luce non polarizzata d'intensità  $I_0$ . Si trovi l'intensità trasmessa attraverso le tre lamine se (a)  $\theta = 45^\circ$ ; (b)  $\theta = 30^\circ$ .

P10

Un prisma viene realizzato con calcite tagliata in modo che la sua faccia superiore contenga l'asse ottico. Il raggio incidente non è polarizzato e incide normalmente sulla superficie (fig. 32.39.). (a) Quale dev'essere l'angolo  $\theta$  del prisma perché il raggio ordinario sia totalmente riflesso? (b) Si dimostri che il raggio straordinario non sarà totalmente riflesso, di modo che la luce emergente sarà polarizzata linearmente.



P11

Gli indici di rifrazione dati per il raggio ordinario e per quello straordinario nella calcite si riferiscono alla luce verde ( $\lambda = 540 \text{ nm}$ ). (a) Qual è il minimo spessore di una lamina quarto d'onda? (b) Qual è il minimo spessore di una lamina mezz'onda? (c) Ci si deve aspettare che queste siano lamine quarto d'onda e mezz'onda per la luce rossa? Perché o perché no?