Politecnico di Bari
L3 in Ingegneria Informatica e dell'Automazione
Fisica dell'Elettromagnetismo e dell'Ottica
2 febbraio 2023 – ore 08.30 - Aule A e C

tempo svolgimento 75 minuti

Per conseguire la piena valutazione di ciascuna prova è indispensabile indicare ordinatamente ed in modo esauriente tutti i passaggi necessari a ricavare le formule e calcolare le quantità richieste. Si considera superata la prova se si consegue una votazione almeno pari a 18/30. È obbligatorio rispondere ad almeno UN QUESITO TEORICO. In caso di svolgimento della prova sufficiente, ma non esaustivo, il docente si riserva la possibilità di effettuare un colloquio individuale per definire l'esito dell'esame.

Problema 1 *[voto 8/30]*
Un granello di polvere di forma sferica e densità $\rho=2.7x10^3\ kg/m^3$ si muove nello spazio. Assumiamo che tale granello assorba $\eta=30\%$ della radiazione solare ($\mathcal{P}_{sole}=3.96x10^{26}\ W$) che lo investe e che sia soggetto alla sola forza gravitazionale del sole. Calcolare il valore r del raggio del granello al di sotto del quale il granello stesso di polvere è spinto fuori del sistema solare. ($M_{sole}=2.0x10^{30}\ kg$, $\gamma=6.67x10^{-11}\ Nm^2/kg^2$).

Problema 2 *[voto 8/30]*
Abbiamo un sistema ottico costituito da una lente convergente ($f=5\ cm$) posta a $d=5\ cm$ da un diottro sferico convesso ($R=5\ cm$) il cui indice di rifrazione è $n=1.6$. Costruire l'immagine di un oggetto posto a distanza $p=7.5\ cm$ dalla lente e calcolare l'ingrandimento complessivo, in valore assoluto, del sistema.

Problema 3 *[voto 8/30]*
In un dispositivo di Young le fenditure sono poste a distanza $d=0.4\ mm$. Lo schermo su cui si osserva la figura di interferenza prodotta da un fascio di luce la cui lunghezza d'onda è $\lambda=600\ nm$ è distante $D=2\ m$ dal piano delle fenditure. Chiudendo una delle due fenditure l'intensità che si osserva sullo schermo è $I_0=10\ W/m^2$, determinare l'intensità misurata sullo schermo in un punto posto a distanza $\Delta x=5.4\ mm$ dal centro dello schermo.

Quesito 1 *[voto 2/30]*
Che cosa descrive il ***vettore di Poynting S***? (argomentare la risposta)

Quesito 2 *[voto 2/30]*
Nel caso della figura di diffrazione prodotta da una fenditura rettilinea indefinita cosa succede se:

a) si raddoppia la lunghezza d'onda λ della luce;
b) si raddoppia la larghezza d della fenditura;
c) si raddoppiano λ e d?

Quesito 3 *[voto 2/30]*
Una lente sottile convergente che si trova ad una determinata distanza da un oggetto viene ulteriormente avvicinata all'oggetto stesso. Come cambia l'immagine dell'oggetto? Cosa succede se la lente è divergente? (argomentare la risposta)

SOLUZIONI dei problemi

Problema n.1

Assumiamo che il granello si trovi ad una generica distanza ***R*** dal sole, poiché l'emissione è isotropa, questa si distribuirà su una sfera di raggio ***R***. L'intensità della radiazione sarà:

$$I = \frac{\mathcal{P}_{sole}}{4\pi R^2}$$

Calcoliamo ora la pressione di radiazione. Ricordiamo che quando la radiazione è completamente riflessa la pressione è:

$$p_{rifl} = \frac{2I}{c}$$

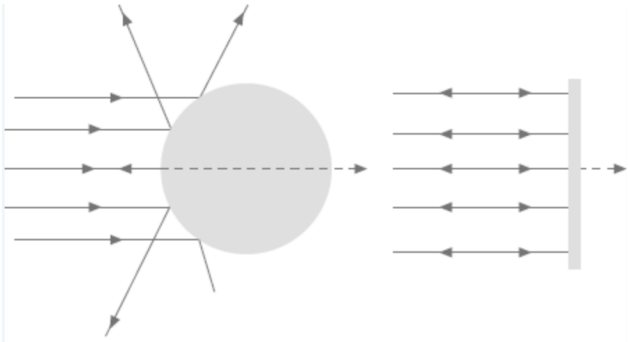
Mentre se la radiazione è assorbita si ha:

$$p_{ass} = \frac{I}{c}$$

Nel nostro caso una parte ***(1-η)*** è riflessa, mentre $\boldsymbol{\eta}$ è assorbita. Abbiamo quindi:

$$p_{tot} = p_{rifl} + p_{ass} = (1-\eta)\frac{2I}{c} + \eta\frac{I}{c} = (2-\eta)\frac{I}{c}$$

E la forza, dovuta alla pressione di radiazione, che il granello subisce e che lo spinge lontano dal sole sarà (vedi figura):



$$F_{rad} = (2-\eta)\frac{I}{c}\pi r^2 = (2-\eta)\frac{\mathcal{P}_{sole}}{4\pi c R^2}\pi r^2$$

Essendo ***r*** il raggio del granello di sabbia.
La forza con cui il granello è attratto dal sole è quella gravitazionale. Detta ***m*** la massa del granello di polvere e ricordando che abbiamo chiamato ***r*** il suo raggio, abbiamo:

$$F_{gr} = \gamma\frac{mM_{sole}}{R^2} = \gamma\frac{M_{sole}}{R^2}\rho\frac{4}{3}\pi r^3 = \gamma\rho\frac{4M_{sole}}{3R^2}\pi r^3$$

Il granello riuscirà a sfuggire all'attrazione del sole se la forza $\boldsymbol{F_{rad}}$ supera la forza $\boldsymbol{F_{gr}}$, quindi:

$$F_{rad} > F_{gr} \quad \Longrightarrow \quad (2-\eta)\frac{\mathcal{P}_{sole}}{4\pi c R^2}\pi r^2 > \gamma\rho\frac{4M_{sole}}{3R^2}\pi r^3$$

Da cui, osservando che ***R*** si semplifica e che quindi il processo è indipendente dalla distanza dal sole:

$$(2-\eta)\frac{\mathcal{P}_{sole}}{4\pi c} > \gamma\rho\frac{4M_{sole}}{3}r \quad \Longrightarrow \quad r < (2-\eta)\frac{3\mathcal{P}_{sole}}{16\pi\gamma\rho c M_{sole}} \quad \Longrightarrow \quad \boldsymbol{r < 0.37\,\mu m}$$

Problema n.2

Determiniamo innanzi tutto l'immagine prodotta dalla lente:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

da cui:

$$q=\frac{pf}{p-f}=\mathbf{15\ cm}$$

L'immagine si forma 15 cm dopo la lente, quindi oltre la superficie diottrica. Siamo quindi in presenza di un oggetto virtuale. Determiniamo la posizione del nuovo oggetto rispetto al vertice della superficie diottrica (intersezione fra superficie e asse ottico del sistema):

$$p_d=d-q=\mathbf{-10\ cm}$$

L'equazione del diottro è:

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

Che nel nostro caso diventa:

$$\frac{1}{p_d}+\frac{n}{q_d}=\frac{n-1}{R}\quad\Rightarrow\quad\frac{1}{d-q}+\frac{n}{q_d}=\frac{n-1}{R}$$

Da cui:

$$q_d=\frac{nR(d-q)}{(n-1)(d-q)-R}=\mathbf{7.27\ cm}$$

L'ingrandimento totale è il prodotto dell'ingrandimento della lente per quello del diottro. In valore assoluto abbiamo:

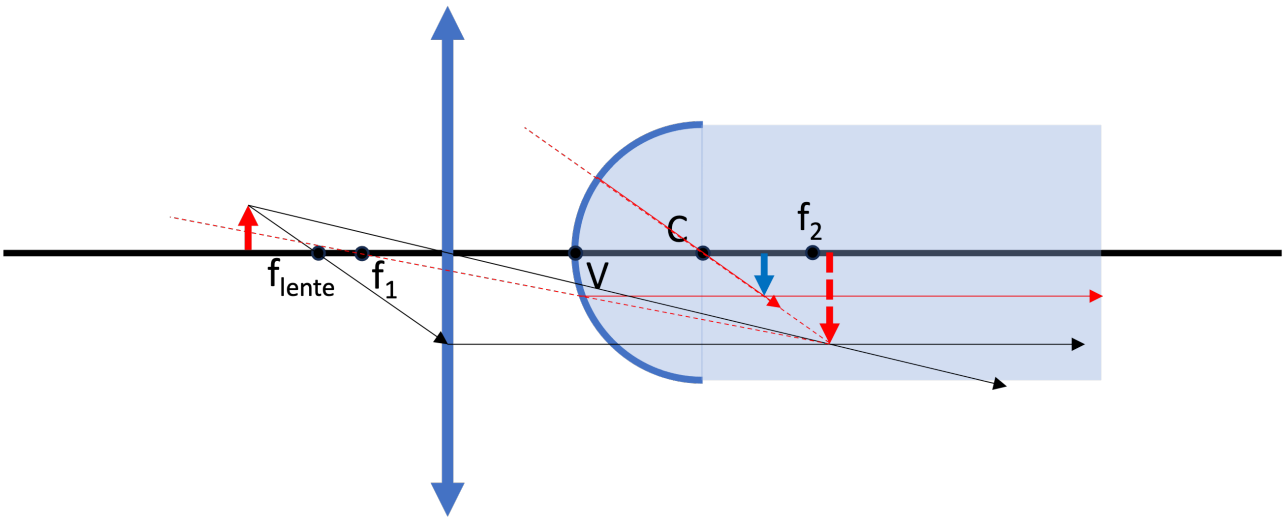
$$I=|I_{lente}I_{diottro}|=\frac{q}{p}\cdot\frac{n_1q_d}{n_2p_d}=\frac{q}{p}\cdot\frac{q_d}{n(d-q)}=\mathbf{0.91}$$

La costruzione dell'immagine è mostrata in figura. I raggi relativi alla lente sono in nero, mentre quelli relativi al diottro sono in rosso. Ai soli fini della rappresentazione grafica, non necessari per la risoluzione del problema, calcoliamo i due fuochi del diottro:

$$f_1=\frac{n_1}{n_2-n_1}R=\frac{1}{n-1}R=8.33\ cm$$

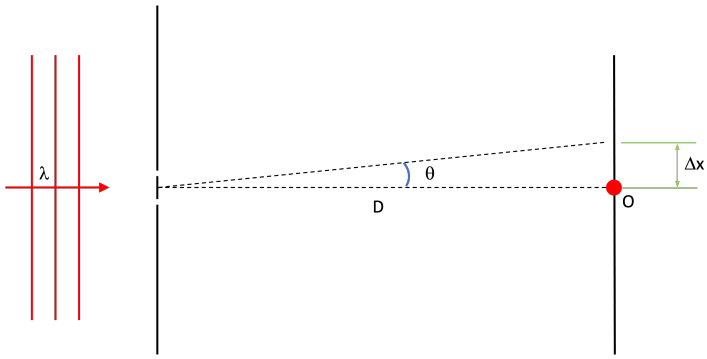
e:

$$f_2=\frac{n_2}{n_2-n_1}R=\frac{n}{n-1}R=13.33\ cm$$



Problema n.3

Con riferimento alla figura abbiamo che:



$$I = 4I_0 cos^2 \frac{\Delta\phi}{2}$$

E la differenza di fase è data da:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \,\text{sen}\,\theta$$

Da cui:

$$I = 4I_0 cos^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} d \,\text{sen}\,\theta\right)$$

Dal momento che lo schermo è molto lontano:

$$\text{sen}\,\theta \approx \tan\theta \approx \frac{\Delta x}{D}$$

E quindi:

$$I = 4I_0 cos^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} d \frac{\Delta x}{D}\right) = \mathbf{26.2}\ \frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{m^2}}$$