

# Laboratorio di Ottica e Spettroscopia

Terza lezione

Tutto quello che avreste sempre  
volutto sapere sull'ottica  
geometrica e non avete mai avuto  
il coraggio di chiedere

Antonio Maggio e Luigi Scelsi

Istituto Nazionale di Astrofisica  
Osservatorio Astronomico di Palermo

# Sommario 3<sup>a</sup> lezione

## Prima parte

- Riassunto dei principi di ottica incontrati finora
- Discussione dei risultati dell'esperienza (legge delle lenti sottili)

## Seconda parte (Laboratorio II)

- Qualche esercizio di *ottica geometrica* (modello "a raggi")
- Studio delle caratteristiche delle macchine fotografiche a pellicola e digitali come applicazione dell'ottica geometrica

# Riassunto esperienze precedenti

- *Apertura di grandi dimensioni*: molta luce, ma niente immagini
- *Foro stenopeico*: formazione di un'immagine ma debolmente luminosa (bassa sensibilità)
- *Lente concava* (convergente): formazione di un'immagine luminosa se l'oggetto (*sorgente*) e lo schermo (*rivelatore*) sono posti *a specifiche distanze dalla lente*, come determinato dall'esperienza in laboratorio

# Sequenza degli esperimenti e dei concetti

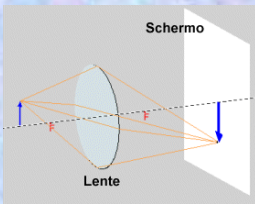
Esperienze	Interpretazione fisica e metodi d'analisi
<p>3. Una <i>lente convessa</i> raccoglie molta luce e genera un'immagine nitida, proiettabile solo in certe condizioni</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• La lente modifica la direzione di propagazione della radiazione. Questo effetto si chiama <i>rifrazione</i></li><li>• La capacità di focalizzazione di una lente dipende da caratteristiche fisiche (<i>materiale della lente</i>) e da fattori geometrici (<i>forma della lente</i>)</li></ul>



# Sequenza degli esperimenti e dei concetti

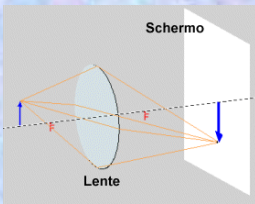
4. Le immagini reali si formano a una distanza dalla lente che dipende dalla distanza della sorgente

- Per ottenere una *immagine reale*, la sorgente deve essere a distanza maggiore della *lunghezza focale* altrimenti l'immagine è *virtuale* (non proiettabile ma visibile con l'occhio, come nell'uso comune di una lente d'ingrandimento)
- L'immagine reale si forma su uno schermo (*rivelatore*) posto a una distanza dalla lente che dipende dalla distanza della sorgente. Tale dipendenza si chiama
- *Equazione delle lenti sottili*, derivabile sperimentalmente (Laboratorio I) oppure con un'approccio puramente geometrico (tecnica dei "raggi principali").



# Equazione delle lenti sottili

- Per una lente convessa esiste una relazione tra  $d_o, d_i$  ed  $f$  (dove  $d_o$  e  $d_i$  sono le distanze dell'oggetto e dell'immagine da una lente di lunghezza focale  $f$  )
- Discutiamo i risultati dell'esperienza in laboratorio...
- Equazione delle lenti sottili:  $1/d_o + 1/d_i = 1/f$



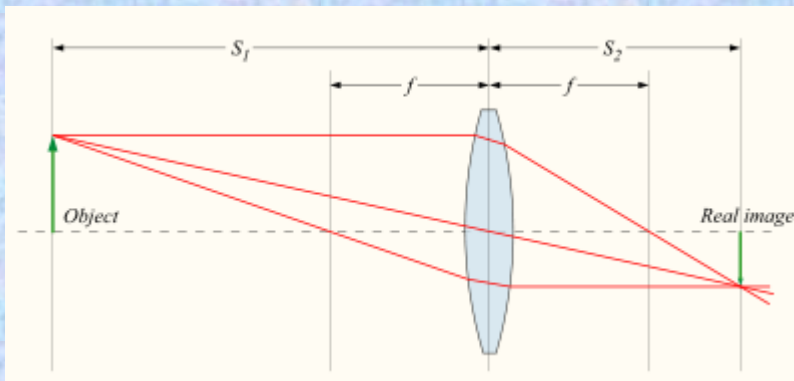
# Equazione delle lenti sottili

- Tale relazione si può ricavare anche geometricamente tramite la *tecnica dei raggi principali*
- **Esercizio:** dimostrare che la relazione trovata tramite le misure in laboratorio è equivalente a quella che si può trovare geometricamente; calcolare l'ingrandimento  $m = h_i / h_o$
- **Esercizio:** data una lente di lunghezza focale  $f$  e fissata una distanza  $L = d_o + d_i$ , dimostrare che ci sono due posizioni in cui si può piazzare la lente per formare un'immagine; trovare  $d_o$  e  $d_i$  assumendo  $f = 20 \text{ cm}$  ed  $L = 100 \text{ cm}$

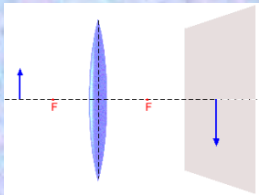


# Propagazione della luce attraverso una lente (ottica geometrica)

- **Equazione delle lenti sottili:**  $1/d_o + 1/d_i = 1/f$
- **Ingrandimento:**  $h_i = m h_o$  con  $m = - d_i / d_o$   
( $d_o$  e  $d_i$  distanze oggetto e immagine dalla lente,  $f$  lunghezza focale,  $m$  ingrandimento,  $h_o$  dimensione dell'oggetto,  $h_i$  dimensione dell'immagine)
- Derivazione geometrica per esercizio







# Interpretazione fisica

- **Rifrazione della luce**

- Questo fenomeno è dovuto alla variazione della velocità della luce quando passa da un mezzo ad un altro. Vale il principio di Fermat: *il percorso della luce è quello che permette di raggiungere il punto di arrivo nel minor tempo possibile*. Da tale principio deriva la legge di Snell-Descartes

$$\text{sen } \theta_1 / \text{sen } \theta_2 = v_1 / v_2$$

- **Esercizio**: derivazione della legge di Snell-Descartes come soluzione del problema del bagnino

# Sequenza degli esperimenti e dei concetti

Esperienze	Interpretazione fisica e metodi d'analisi
<p>5. Quando la radiazione passa da un mezzo ad un altro (ad es. dall'aria al vetro) cambia la sua direzione di propagazione</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Questo effetto si chiama <i>rifrazione</i></li><li>• La rifrazione si deve al fatto che la luce si propaga nel vetro a velocità minore che nell'aria e quindi devia dalla direzione di propagazione in linea retta per soddisfare il Principio di Fermat</li><li>• La capacità di focalizzazione di una lente dipende quindi da caratteristiche fisiche (<i>indice di rifrazione</i>) e da fattori geometrici (<i>curvatura</i>)</li></ul>

# Propagazione della luce attraverso una lente

## Modello fisico

- **Principio di Fermat:**  $t = L / v$  deve essere minimo
- **Legge di Snell-Descartes:**  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$
- **Indice di rifrazione:**  $n = c / v$

( $t$  tempo di percorrenza,  $L$  lunghezza percorso,  $v$  velocità della luce in un mezzo,  $\theta_1$  angolo di ingresso,  $\theta_2$  angolo di uscita,  $c$  velocità della luce nel vuoto)

## Modello geometrico

- **Equazione delle lenti sottili:**  $1/d_o + 1/d_i = 1/f$
- **Ingrandimento:**  $m = - d_i / d_o$  ( $h_i = m h_o$ )

( $d_o$  e  $d_i$  distanze oggetto e immagine dalla lente,  $f$  lunghezza focale,  $m$  ingrandimento,  $h$  dimensione dell'oggetto o dell'immagine)



# Applicazione a strumenti ottici

## Definizioni

- **Energia raccolta:**  
flusso  $\times$  area  $\times$  tempo di esposizione  
[joule  $m^{-2} s^{-1}$ ]  $\times$  [ $m^2$ ]  $\times$  [s]  
dove  $area = \pi D^2/4$
- **Apertura di una lente (o di diaframma) di diametro  $D$ :**  
numero  $F = f / D$
- **Potere diottrico (numero di diottrie):**  
 $1/f$  [f in metri]

# Un'applicazione

- **Obiettivi di macchine fotografiche**
  - Caratterizzati da lunghezza focale, **f**, e **apertura  $F = f / D$** , dove **D** è il diametro del foro da cui entra la luce. Esempio: obiettivo 28 mm F/8 significa  $D = 28/8$  mm
  - La sequenza dei numeri F indicati convenzionalmente sugli obiettivi fotografici è 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16 (la quantità di luce raccolta raddoppia a ogni passo poichè l'area è proporzionale a  $D^2$  e quindi a  $F^{-2}$ )

# Un'applicazione

## • *Esercizio*

- In una macchina fotografica classica (non digitale) ogni fotogramma della pellicola (rivelatore) ha dimensioni  $24 \times 36 \text{ mm}^2$ .
- Quale può essere la dimensione massima di un oggetto posto a 20 m di distanza per essere fotografato per intero con un obiettivo da 28 mm di lunghezza focale?
- Come cambia questa dimensione se usiamo un obiettivo da 50 mm di focale?
- Di quanto si deve spostare la lente per mettere a fuoco un oggetto posto a 3 m invece che a 20 m di distanza?



# Macchine fotografiche digitali

- Obiettivi con Lunghezza focale molto più piccola (5-10 mm)
- Come cambia la dimensione dell'immagine rispetto al caso di una macchina fotografica classica? Come cambia la quantità di luce raccolta dall'obiettivo?

## • *Esercizio*

- Calcolare la dimensione del rivelatore (CCD) provando a fotografare un oggetto di dimensioni note a distanza nota
- Conoscendo il numero di pixel nell'immagine, calcolare la distanza minima tra due oggetti tale che essi siano visualizzati in 2 pixel adiacenti (risoluzione spaziale)