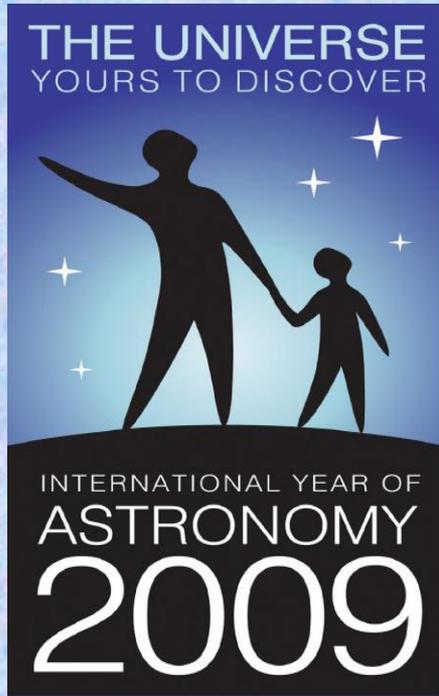


Università degli Studi di Palermo
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea in Fisica
Progetto Lauree Scientifiche



Laboratorio di
Ottica, Spettroscopia, Astrofisica

Antonio Maggio
Istituto Nazionale di Astrofisica
Osservatorio Astronomico di Palermo

Laboratorio di Ottica, Spettroscopia, Astrofisica

Terza lezione

Guardare lontano
(applicazioni di ottica geometrica)

Antonio Maggio

Istituto Nazionale di Astrofisica
Osservatorio Astronomico di Palermo

Riassunto 2^a lezione

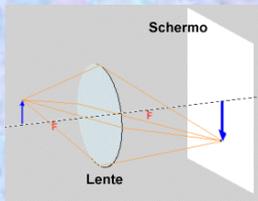
- Fronti d'onda, raggi, fotoni
- L'equazione delle lenti sottili
- La **rifrazione** e il principio di Fermat
- Esempi di **sistemi ottici** che è possibile studiare come applicazioni dei concetti di ottica geometrica: lenti correttive (occhiali), sistema lente+occhio, sistemi con 2 lenti convesse, il *Sunspotter*

Sommario 3^a lezione

- Riassunto dei principi di ottica incontrati finora
- Il funzionamento dell'occhio
- Qualche esercizio e altre applicazioni pratiche dell'ottica geometrica (ancora il *Sunspotter*)

Sequenza degli esperimenti e dei concetti

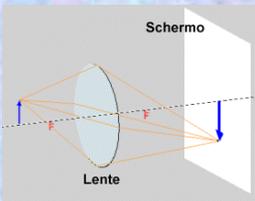
Esperienze	Interpretazione fisica e metodi d'analisi
<p>3. Una <i>lente convessa</i> raccoglie molta luce e genera un'immagine nitida, proiettabile solo in certe condizioni (vedi sotto)</p>	<ul style="list-style-type: none">• La lente modifica il <i>fronte d'onda</i> della radiazione e quindi la sua direzione di propagazione. Questo effetto si chiama <i>rifrazione</i>• La luce si propaga più lentamente in un mezzo (ad es. vetro) che nel vuoto (o nell'aria) e segue il cammino di minimo tempo (<i>Principio di Fermat</i>)• L'angolo di incidenza della radiazione sulla lente e quello di uscita sono legati al rapporto tra gli <i>indici di rifrazione</i> nell'aria e nel vetro tramite la <i>legge di Snell-Descartes</i>
<p>4. Le immagini reali si formano a una distanza dalla lente che dipende dalla distanza della sorgente</p>	<ul style="list-style-type: none">• Per ottenere una <i>immagine reale</i>, la sorgente deve essere a distanza maggiore della <i>lunghezza focale</i> altrimenti l'immagine è <i>virtuale</i> (non proiettabile ma visibile con l'occhio)• <i>Equazione delle lenti sottili</i> (derivabile sperimentalmente o tramite la tecnica dei raggi principali)



Esperienza con misure

- Derivazione sperimentale (tramite misure al banco ottico) della **equazione delle lenti sottili** per una lente convessa

(Esercizio per casa: trovate qual è la relazione tra le quantità $d_o - f$ e $d_i - f$, al variare di d_i , dove d_o e d_i sono le distanze dell'oggetto e dell'immagine dalla lente)



Equazione delle lenti sottili

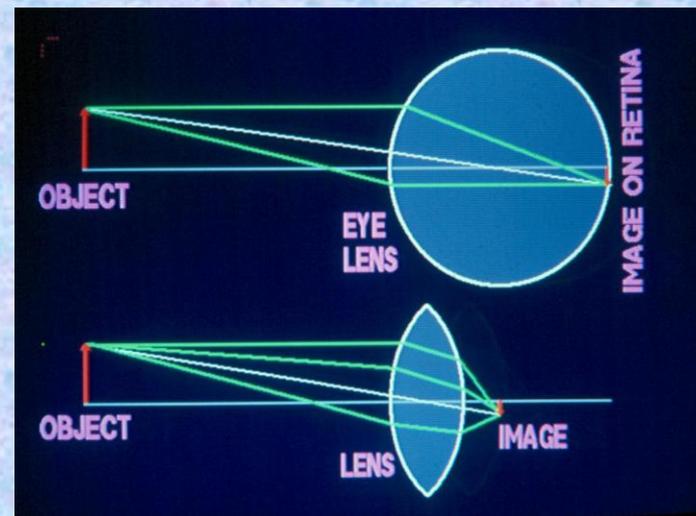
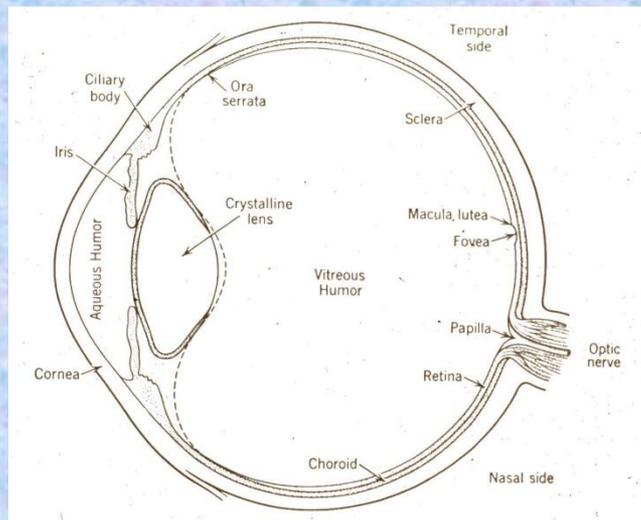
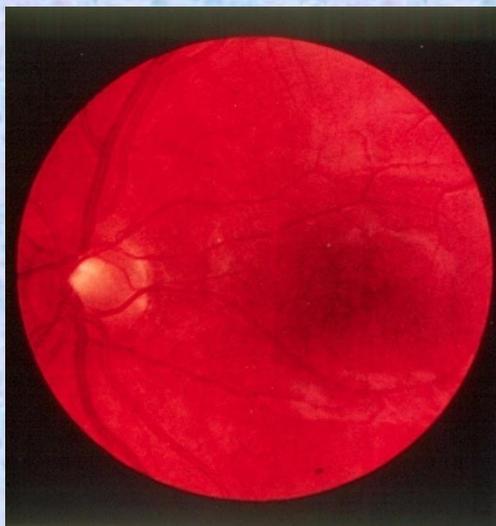
- Per una lente convessa vale la relazione $d_i - f = f^2 / d_o - f$ dove d_o e d_i sono le distanze dell'oggetto e dell'immagine dalla lente di lunghezza focale f
- Tale relazione si può riscrivere così $1/d_o + 1/d_i = 1/f$
- **Esercizio:** dimostrare geometricamente la relazione con la *tecnica dei raggi principali*
- **Esercizio:** fissata $L = d_o + d_i$, dimostrate che ci sono due posizioni in cui si può piazzare la lente per formare un'immagine

Sequenza di esperimenti e concetti

Esperienze	Interpretazione fisica e metodi d'analisi
<p>5. Le lenti correttive per miopia hanno un comportamento diverso da quello delle lenti d'ingrandimento .</p>	<ul style="list-style-type: none">• Le <i>lenti concave</i> proiettano solo immagini virtuali• La capacità di focalizzazione di una lente dipende quindi da caratteristiche fisiche (<i>indice di rifrazione</i>) e da fattori geometrici (<i>curvatura</i>)
<p>6a. L'immagine virtuale prodotta da una <i>lente concava (divergente)</i> può essere "convertita" in una immagine reale da una seconda <i>lente convessa (convergente)</i></p>	<ul style="list-style-type: none">• Un sistema ottico costituito da più lenti modifica il <i>fronte d'onda</i> della radiazione tramite effetti di rifrazione multipli• La posizione, orientamento e dimensione delle immagini intermedia e finale prodotte da un sistema di due (o più) lenti possono essere previsti tramite l'<i>equazione delle lenti sottili</i>
<p>6b. L'occhio riesce a focalizzare sulla retina l'immagine virtuale prodotta da una lente correttiva per miopia</p>	<ul style="list-style-type: none">• <i>L'occhio si comporta come una lente convessa</i>• L'occhio è formato da sostanze con indice di rifrazione maggiore di quello dell'aria e con una geometria appropriata per la formazione di un'immagine reale sulla retina (rivelatore)

Funzionamento dell'occhio

- L'occhio funziona come una lente convessa (*fisiologia dell'occhio e suo modello fisico*)



- **Interrogativo:** perché l'immagine appare dritta invece che rovesciata? (*E' opera del cervello, ma come dimostrarlo?*)

Funzionamento dell'occhio

- **Test/Previsione:** come apparirebbe l'ombra di un oggetto posto a distanza $d < f$ dall'occhio?
- **Verifica:** immagine di uno spillo illuminato da una sorgente puntiforme (foro su cartoncino nero)



Formule e definizioni

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

(d_o e d_i distanze oggetto e immagine dalla lente, f lunghezza focale, m ingrandimento, h dimensione dell'oggetto o dell'immagine, t tempo di percorrenza, L lunghezza percorso, v velocità della luce in un mezzo, θ_1 angolo di ingresso, θ_2 angolo di uscita, c velocità della luce nel vuoto)

Applicazione a strumenti ottici

Definizioni

- **Apertura di una lente (o di diaframma):**
numero $F = f / D$
- **Scala dell'immagine sul piano focale (dimensione dell'immagine di un oggetto che sottende un certo angolo di vista, prodotta da un sistema ottico):**

$$h = \theta f \quad [\text{m}]$$

(f lunghezza focale, D diametro della lente, θ angolo in radianti sotteso dall'oggetto, h dimensione dell'immagine sul rivelatore)

- **Energia raccolta:**
flusso \times area \times tempo di esposizione
 $[\text{joule m}^{-2} \text{s}^{-1}] \times [\text{m}^2] \times [\text{s}]$

Sequenza degli esperimenti e dei concetti

Esperienze	Interpretazione fisica e metodi d'analisi
<p>7. Con due lenti (<i>oculare</i> e <i>obiiettivo</i>) convesse di focale diversa si può costruire un <i>telescopio rifrattore</i> (kepleriano). Esempio: il <i>Sunspotter</i></p>	<ul style="list-style-type: none">• L'immagine prodotta dal <i>Sunspotter</i> è reale (proiettabile sullo schermo) in quanto la 2^a lente (oculare) è posta a distanza maggiore della somma delle lunghezze focali della 1^a e della 2^o lente ($> f_1 + f_2$)• Tramite considerazioni geometriche si può calcolare la dimensione dell'immagine del Sole sullo schermo

Un esercizio di ottica geometrica



• *Il Sunspotter*

- Un sistema ottico equivalente a due lenti convesse e 3 specchi: [schermata](#)
- Obiettivo da 700 mm di lunghezza focale, diametro 61,7 mm. Oculare da 12,5 mm di focale, diametro 10 mm
- **Esercizio:** sapendo che lo schermo è posto a 175 mm di distanza dall'oculare, calcolare la dimensione dell'immagine del Sole (raggio del Sole = 7×10^8 m, distanza del Sole = 1.5×10^{11} m)