

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

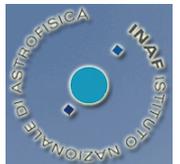
Piano Lauree Scientifiche

Laboratorio di Ottica e Spettroscopia



Antonio Maggio

Istituto Nazionale di Astrofisica
Osservatorio Astronomico di Palermo



Programma

- **Lezione interattiva I** (2/3/2011)
Test d'ingresso (autovalutazione). Cos'è la luce, come si propaga, come si forma un'immagine, cos'è un sistema ottico, come funziona e a che serve.
- **Laboratorio I** (11/3/2011)
Formazione di immagini con una lente convessa. Determinazione sperimentale della "legge delle lenti sottili".
- **Lezione interattiva II** (15/3/2011)
Discussione dei risultati della prima esperienza. Interferenza e diffrazione, modello ondulatorio della luce. La luce come strumento di misura.

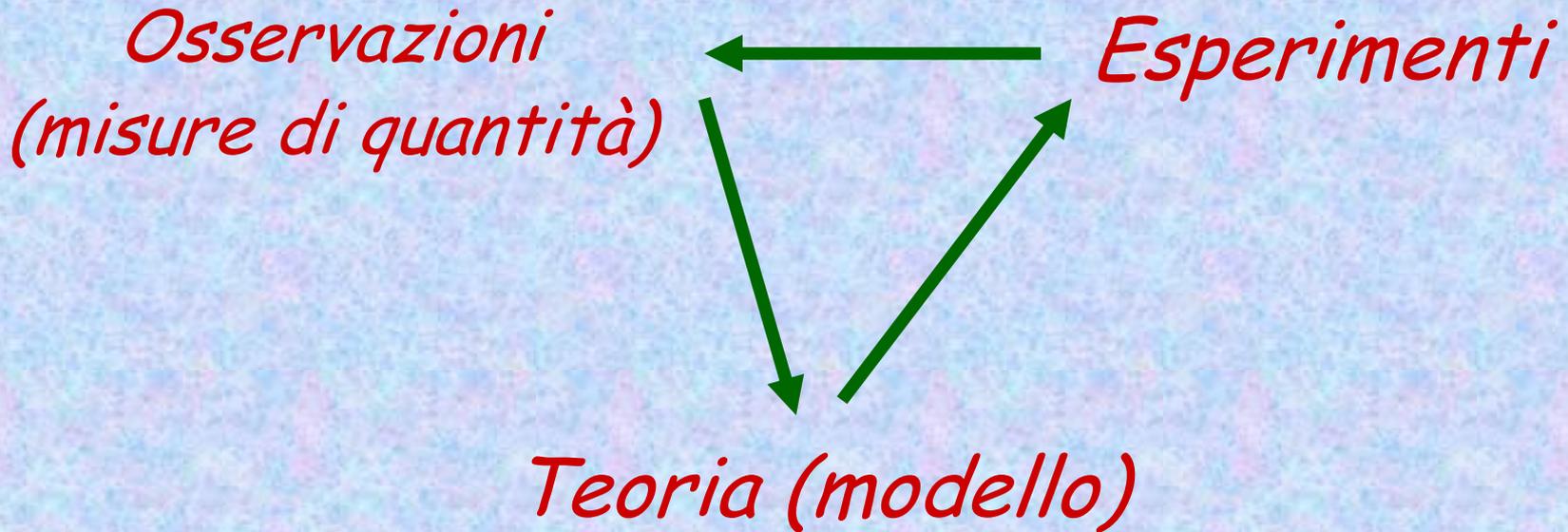
Programma

- **Laboratorio II** (24/3/2011)
Effetti di interferenza e diffrazione .
Misura di oggetti microscopici.
- **Lezione interattiva III** (31/3/2011)
Discussione dei risultati della seconda esperienza.
Sistemi a più lenti (telescopi rifrattori). Cos'è uno spettroscopio e a che serve.
- **Laboratorio III** (opzionale)
Analisi spettroscopica qualitativa della luce proveniente da sorgenti diverse.

Modelli, teorie, esperimenti

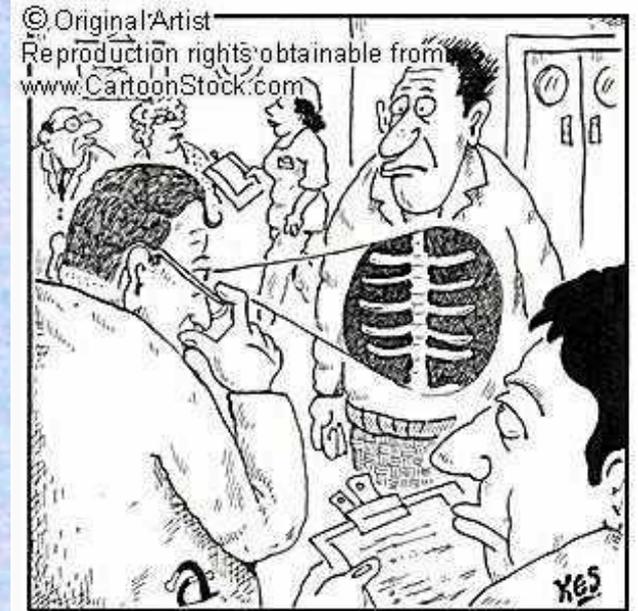
- La Fisica si occupa di trovare relazioni tra **quantità misurabili**
- La **teoria** ordina i fatti osservativi con un **modello**, un'**ipotesi**
- La teoria non deve solo spiegare i fatti osservati, ma deve anche **prevedere** il risultato di un **esperimento** ancora da compiere
- L'arbitro della **teoria (modello)** è l'esperimento
- Compito del fisico è quello di sviluppare teorie e modelli che siano **verificabili** (o meglio, **falsificabili**, secondo K. Popper)

Un circolo virtuoso



- Il punto di partenza può essere uno qualsiasi dei tre, ma il processo di crescita della conoscenza è sempre iterativo
 - Un esperimento può fornire misure di quantità che servono a costruire un modello
 - L'osservazione di un fenomeno imprevisto può richiedere una nuova teoria per spiegarlo
 - Una teoria necessita di esperimenti per corroborarla

Modelli e pregiudizi



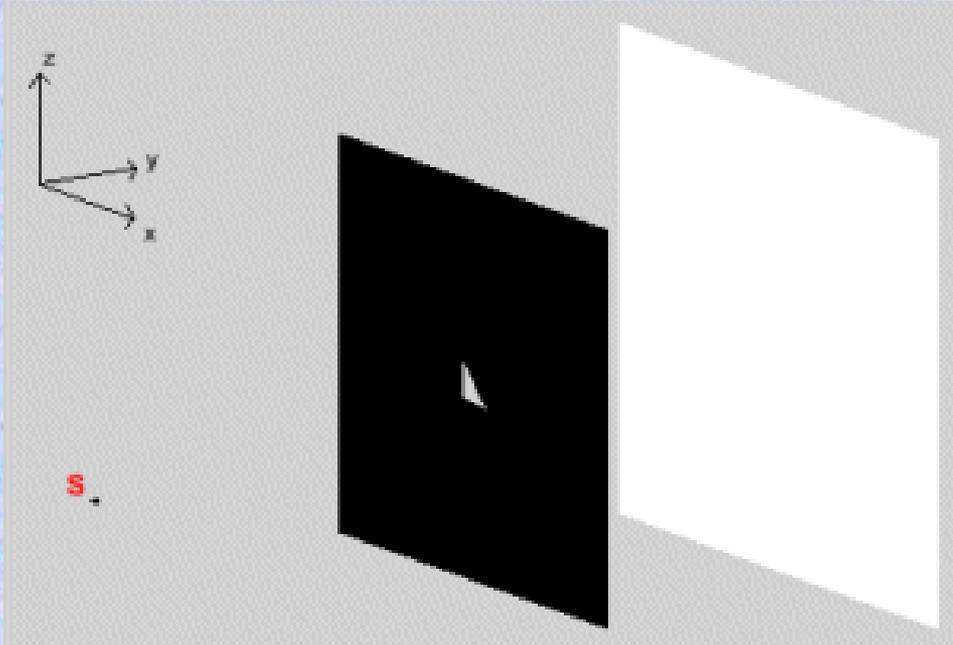
Whilst his cousin, Clark, fought for freedom, justice and the American way. Doctor Neville Kent, chose a more orthodox way of using his abilities for the good of mankind.

- Non illudetevi di poter fare a meno dei modelli!
 - Spesso li utilizzate senza rendervene conto, in modo acritico e non verificabile (v. esempio della visione a raggi X di Superman)
 - Alcuni modelli (errati e non verificabili) possono diventare pregiudizi difficili da estirpare (ad es. il modello della visione proposto dalla scuola pitagorica e poi sostenuto da Euclide)

Primo problema (necessità di un modello)

- **Esempio di ottica:**

In una stanza buia una sorgente luminosa puntiforme S si trova di fronte ad uno schermo bianco. Un cartoncino nero con una piccola apertura triangolare (dell'ordine del cm) è posto tra la sorgente e lo schermo, come mostra la figura.



1) Se si accende la sorgente quale forma ha la zona illuminata sullo schermo? Che tipo di modello possiamo utilizzare per descrivere la propagazione della luce?

Prima lezione

Sommario

- Preambolo su modelli, teorie, esperimenti
- Cos'è la luce e come si propaga
- Esperienze di ottica geometrica con un'apertura di grandi dimensioni, un foro stenopeico, una lente: quando si forma un'immagine e perché
- Esperienze con il banco ottico

Un modello euristico per la radiazione

- La **radiazione** (luce) è il mezzo più veloce scelto dalla natura per trasportare **energia** attraverso lo spazio
- Che vi sia energia associata alla radiazione lo dimostra il fatto che **la luce del Sole riscalda** (*termodinamica*)
- **La radiazione nel vuoto si propaga alla velocità della luce, c** (previsto dalla *teoria dell'elettromagnetismo di Maxwell* e dimostrabile con esperimenti)
- Che la velocità della luce sia **quella massima raggiungibile** discende dai postulati della *teoria della relatività ristretta* (A. Einstein)

Qualche domanda

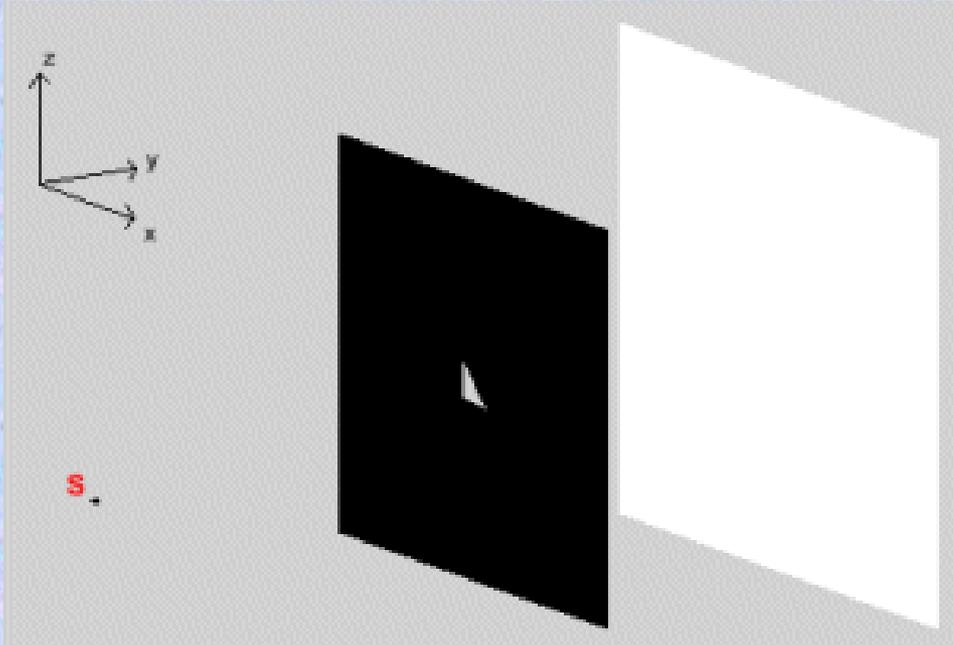
- La radiazione (luce) trasporta dunque energia, ma **come (in che forma)**?
- **In che direzione** si propaga la luce emessa da una sorgente luminosa?
- **Quanta** energia viene emessa da una sorgente luminosa? Quanta ne arriva ai nostri occhi, oppure su una pellicola fotografica?

Ci servono altri modelli da mettere alla prova con esperimenti...

Un modello per la propagazione della luce

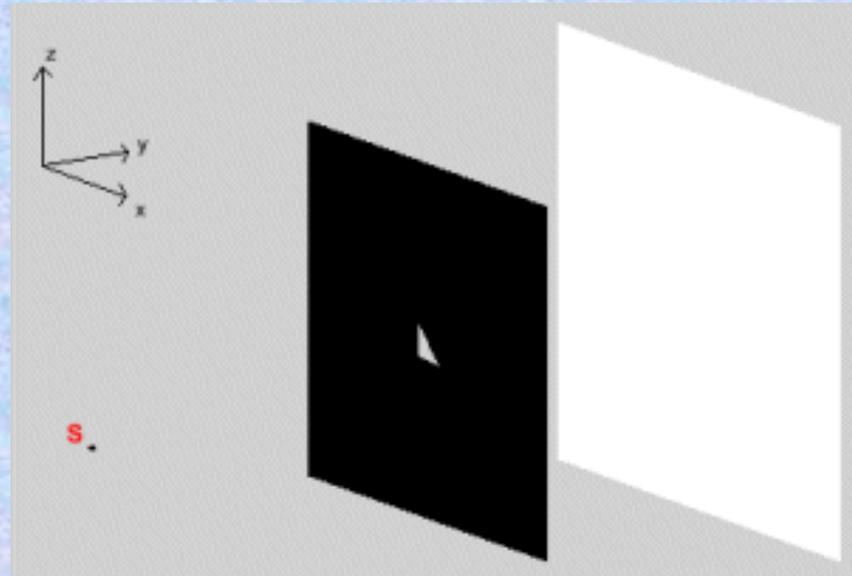
- **Esempio di ottica:**

In una stanza buia una sorgente luminosa puntiforme S si trova di fronte ad uno schermo bianco. Un cartoncino nero con una piccola apertura triangolare (dell'ordine del cm) è posto tra la sorgente e lo schermo, come mostra la figura.



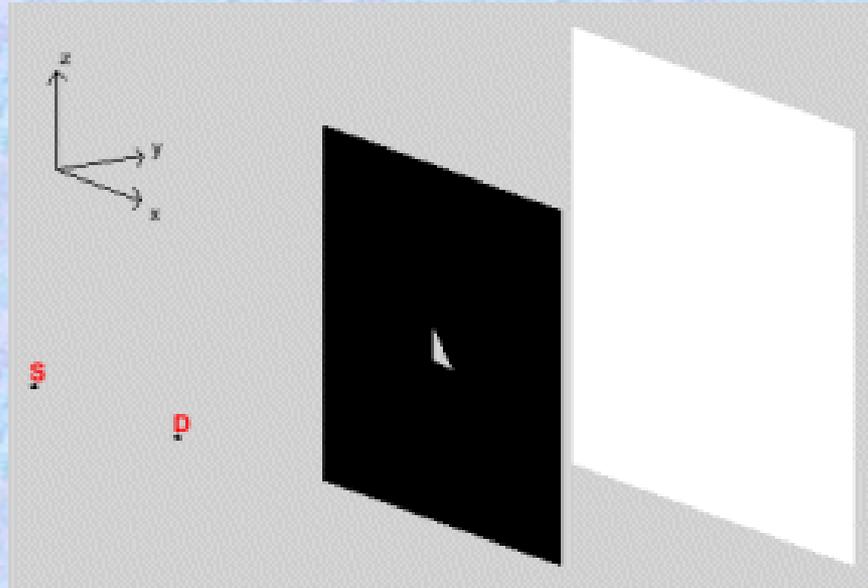
1) Se si accende la sorgente quale forma ha la zona illuminata sullo schermo? Che tipo di modello possiamo utilizzare per descrivere la propagazione della luce?

Prime esperienze di ottica geometrica



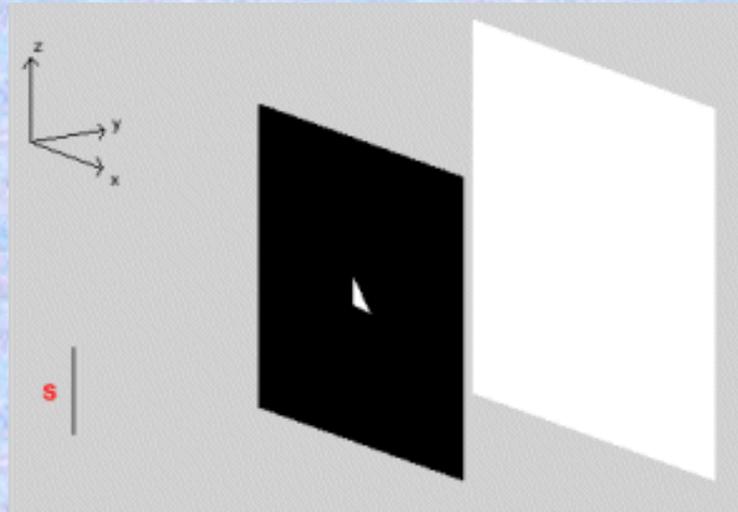
- 2) Se si allontana lo schermo cosa succede?
Variano sia le dimensioni della zona illuminata, sia la sua "brillantezza": la stessa quantità totale di "luce" si distribuisce su una superficie più grande (con quale dipendenza dalla distanza?)

Prime esperienze di ottica geometrica



- 3a) Cosa appare se si accendono due sorgenti?
*Metodo del tracciamento dei raggi (ray-tracing),
"moltiplicazione" delle immagini*
- 3b) Cosa succede se le sorgenti sono molto vicine?
*Sovrapposizione delle immagini, somma dei flussi
luminosi*

Prime esperienze di ottica geometrica



- 4) Come possiamo costruire geometricamente l'immagine, nel caso più generale di una sorgente schematizzabile come un segmento?
(Soluzione con il metodo di *ray-tracing*, ma serve un modello per descrivere la sorgente)

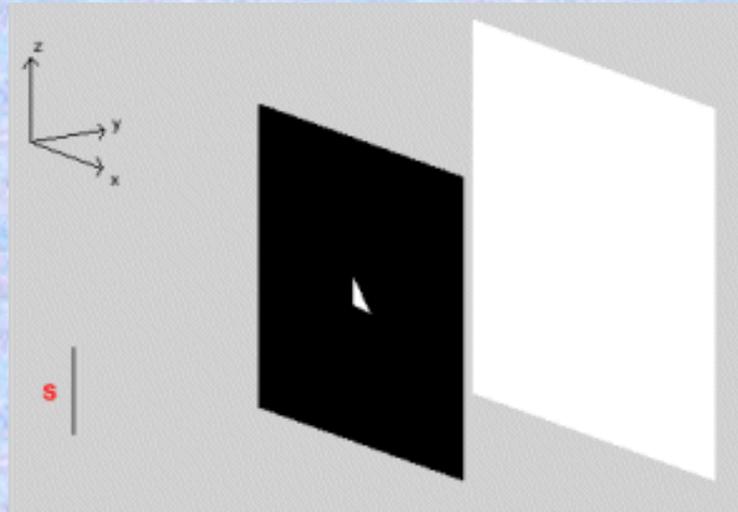
Trasporto di energia e di informazione

- La **radiazione** (luce) può essere usata per inviare segnali e quindi informazione
- Per trasferire un segnale occorre una **sorgente** di radiazione, quindi di energia, e un sistema di raccolta (un'**osservatore**, uno **strumento di ricezione**)
- Il **trasferimento di un segnale (informazione) implica quindi trasferimento di energia** (tramite radiazione nel nostro caso) e sua conversione in altra forma: per esempio, la luce provoca una reazione chimica in una pellicola fotografica oppure la generazione di un segnale elettrico nel rivelatore di una fotocamera digitale
- Vale il **principio di conservazione dell'energia** (*meccanica, termodinamica*): l'energia emessa dalla sorgente può essere diffusa nello spazio, può cambiare forma (ad es. quando la radiazione raggiunge l'osservatore), ma non può essere distrutta.

Qualche altra domanda

- La radiazione (un segnale luminoso) può trasportare **informazione**, ma **in che forma**?
- Suggestimenti: **intensità** della luce? **variazione** nel tempo e nello spazio? **colore**?

Uno strumento... con poca immaginazione



5) Se usassimo una candela come sorgente la vedremmo sullo schermo?

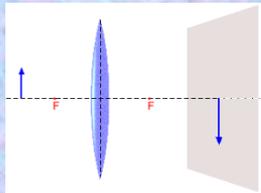
No, l'immagine è completamente sfocata

Esperienze con un foro stenopeico (*pinhole*)

- **Previsione:** Che tipo di immagine potrebbe essere proiettata su uno schermo se usassimo un piccolo foro al posto dell'apertura triangolare? (*applicazione del metodo di tracciamento dei raggi, previsione del flusso in base al rapporto tra area del foro e area dell'apertura*)
- **Verifica:** realizzazione di un "foroscopio" (*pinhole-scope*)
- Perché un foroscopio produce un'immagine? Perché l'immagine è capovolta?
Interpretazione: *corrispondenza biunivoca tra punti oggetto e punti immagine*
- **Altre domande/esercizi per il laboratorio:**
Cosa succede se allontaniamo lo schermo dal foro?
Cosa succede se variamo le dimensioni del foro?
Cosa succede se facciamo due fori?
- **Applicazione:** macchina fotografica a foro stenopeico

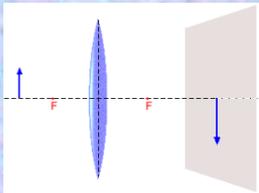
Primi risultati

- Per la costruzione geometrica di un'immagine possiamo usare il **modello a raggi**
- Per formare un'immagine abbiamo bisogno di un sistema ottico che crei una **corrispondenza biunivoca tra punti oggetto e punti immagine**
- Tale corrispondenza non è mai perfetta e ciò comporta un limite (*risoluzione angolare*) nella possibilità di distinguere dettagli
- Abbiamo bisogno di "raccogliere" più luce (energia) possibile, se vogliamo ottenere immagini "luminose" in breve tempo (*ovvero, aumentare la sensibilità dello strumento*)



Esperienze con una lente

- Prendiamo una *lente d'ingrandimento*
 - Se la usiamo in modo convenzionale la lente ci fornisce un'immagine ingrandita dell'oggetto, vista direttamente (il nostro occhio al posto dello schermo). E' possibile proiettare questa immagine su uno schermo?
(No, è una immagine virtuale. Serve l'occhio per vederla.)
 - Un altro modo di usarla è quello di concentrare la luce in un punto per "dare fuoco" a qualcosa
(La sorgente deve essere molto lontana; la distanza tra la lente e il "fuoco" si chiama lunghezza focale della lente)
 - Un'altra possibilità è quella di proiettare l'immagine di un oggetto posto a distanza maggiore della lunghezza focale
(L'immagine diventa reale, nitida, capovolta!)



Esperienze con una lente

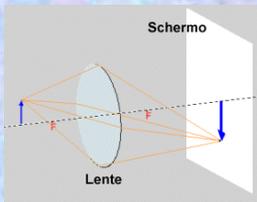
- **Esperimenti, interpretazioni, domande**

- Come fa una lente a formare un'immagine reale capovolta? Proviamo a usare un puntatore laser come strumento per il tracciamento dei raggi:

la luce viene deflessa quando attraversa il vetro della lente (fenomeno di rifrazione della luce)

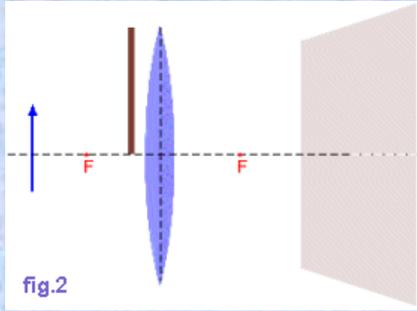
- Cosa succede se allontaniamo lo schermo? Cosa succede se allontaniamo la sorgente di luce? *C'è una relazione tra distanza della sorgente (oggetto) dalla lente, distanza dell'immagine (schermo) dalla lente e lunghezza focale*

Esperienza con misure in laboratorio

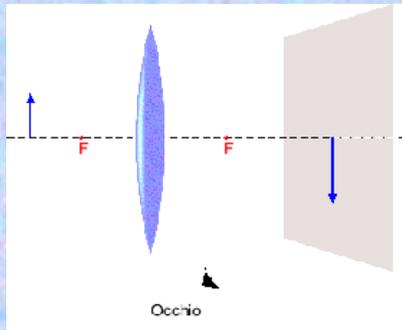


- Primo passo: determinare la lunghezza focale f della lente
- Secondo passo: posto un oggetto a distanza d_o (variabile) dalla lente, determinare a che distanza d_i bisogna mettere lo schermo dall'altra parte della lente per vedere un'immagine nitida dell'oggetto
- Terzo passo: Derivazione sperimentale della *legge delle lenti sottili per una lente convessa* (**Laboratorio I**: trovare qual è la relazione tra le quantità d_o , d_i ed f , al variare di d_i , dove d_o e d_i sono le distanze dell'oggetto e dell'immagine dalla lente)

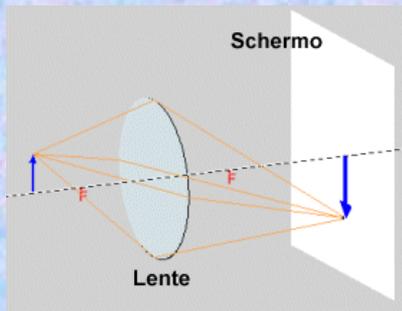
Esercizi di ottica con una lente



- Cosa succede all'immagine se si copre mezza lente?
- Si può vedere l'immagine se si toglie lo schermo? Se sì, da che posizione?
- Si forma un'immagine sullo schermo se si toglie la lente?



- **Fate le vostre previsioni e poi verifichiamo tramite nuove esperienze**

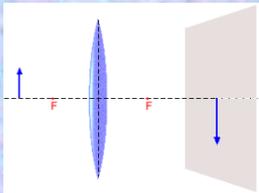


Sequenza degli esperimenti e dei concetti

| Esperienze | Interpretazione fisica e metodi d'analisi |
|---|--|
| <p>1. Un'apertura di grandi dimensioni fa passare molta luce, ma non genera un'immagine</p> | <ul style="list-style-type: none">• Il flusso di energia intercettato da uno schermo è proporzionale all'area dell'apertura e inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra l'apertura (sorgente secondaria) e lo schermo• Il metodo del tracciamento dei raggi (<i>ray tracing</i>) mostra che ad ogni punto della sorgente (oggetto) corrispondono diversi punti della regione illuminata |
| <p>2. Un foro stenopeico genera un'immagine, ma raccoglie poca luce (strumento ottico con <i>bassa sensibilità</i>); più piccolo è il foro migliore è la qualità dell'immagine (<i>migliore risoluzione spaziale</i>)</p> | <ul style="list-style-type: none">• Il foro consente soltanto poche direzioni di propagazione della radiazione; l'immagine può essere spiegata con il <i>modello a raggi (ottica geometrica)</i>• Un sistema ottico "efficiente" deve realizzare una corrispondenza biunivoca tra punti sorgente e punti immagine (<i>focalizzazione</i>) |

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">• La lente modifica la direzione di propagazione della radiazione. Questo effetto si chiama <i>rifrazione</i>• Immagini reali si possono formare su uno schermo (<i>rivelatore</i>) posto a una distanza dalla lente che dipende dalla distanza della sorgente. La distanza della sorgente dalla lente deve comunque essere maggiore della sua lunghezza focale, altrimenti l'immagine non si ottiene. |



Interpretazione fisica

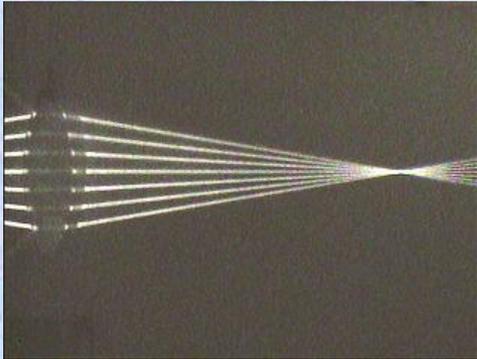
• Rifrazione della luce

- Perché la luce viene deflessa (rifratta) quando attraversa un vetro? La stessa cosa accade in un liquido (esperienza della matita nel bicchiere d'acqua che appare piegata).

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 (vedi avanti)

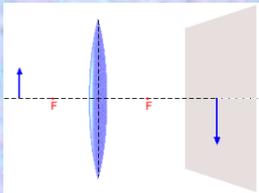
- **Esercizio:** derivazione della legge di Snell-Descartes come soluzione del problema del bagnino

Alcuni risultati e loro significato



- Le lenti con una superficie convessa riescono a focalizzare un'immagine tramite l'effetto di rifrazione
- I punti immagine e oggetto sono in corrispondenza biunivoca, ma solo se l'oggetto è a distanza maggiore di quella focale

- Le lenti hanno una forma tale da garantire che onde emesse da ogni punto della sorgente convergono in un punto corrispondente dell'immagine, dopo due deflessioni (alle due superfici di separazione aria-vetro e vetro-aria della lente)
- La rifrazione è quel fenomeno che si verifica quando la luce attraversa la superficie di separazione tra due mezzi, nei quali essa si propaga a velocità differente (si definisce indice di rifrazione la quantità $n=c/v$)



Esperienze con una lente

- **Altri esperimenti, altre domande**

- Che succede se l'oggetto (sorgente di luce) è a distanza minore della lunghezza focale? Perché l'occhio vede l'immagine virtuale?

*Ricordiamo che la luce trasporta un segnale: lo vediamo perché evidentemente la lente fa passare la luce e l'occhio (retina) la percepisce; **l'occhio riesce a focalizzare un'immagine che sullo schermo appare completamente sfocata**; l'occhio si comporta come una seconda lente?*

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)
- *Equazione delle lenti sottili* (derivabile sperimentalmente o tramite la tecnica dei raggi principali)