

Percorso sulla luce classe II D Docente: Pascucci Tania

Diario di bordo

Premessa: Durante le vacanze di Natale avevo dato per consegna alla classe la lettura di una ventina di pagine ad opera di Vasco Ronchi¹ sulla storia della luce, a partire dalla prime teorie greche fino alla moderna concezione di luce come radiazione elettromagnetica o in alternativa, sciame di fotoni. Avevo raccomandato di soffermarsi soprattutto sulla prima parte, in cui Ronchi spiega, in base alla sua esperienza personale, che per capire davvero i concetti della Fisica moderna, occorre fare un tuffo nel passato e vedere come queste idee si sono sviluppate nel corso della storia della scienza. La classe è abituata a questo tipo di approccio, in quanto l'anno precedente le era stato proposto un modulo sulle forze², di tipo costruttivista, che partendo dall'idea di forza intesa come sforzo muscolare (primitiva idea animista della forza), arrivava, attraverso appunto una costruzione condivisa, al moderno concetto di forza inteso come interazione. Per costruire il concetto di forza, si faceva ricorso anche alle tappe storiche che si erano susseguite nel suo sviluppo, dai platonici a Keplero e Newton. Sono convinta che un metodo di questo tipo funzioni e pertanto anche il percorso sulla luce procederà in modo analogo.

Al ritorno delle vacanze di Natale, circa un mese prima dall'avvio vero e proprio del percorso sulla luce, ho chiesto alla classe le loro impressioni sulla lettura.

La lettura, a parte per un gruppo sostenuto di studenti particolarmente dotati e motivati, è risultata piuttosto difficile. Molti di loro comunque hanno mostrato, attraverso i loro interventi, di aver capito le indicazioni di Ronchi sull'importanza della Scienza antica. A questo punto ho detto alla classe di non preoccuparsi perché le pagine particolarmente significative si sarebbero rilette e discusse in classe durante lo svolgimento del percorso.

Martedì 12 febbraio 2008

Patto formativo

Condivisione dello schema corretto sorgente-oggetto ricevitore

Lezione **Ha senso fisico la domanda che cos'è la luce?**

Vi ricordate l'anno scorso quando ci siamo posti una domanda simile: che cos'è la gravità? Siamo riusciti a dare una risposta definitiva?

La classe, nella sua quasi totalità, si ricordava della lettura del brano di Galileo tratto dal "dialogo sui massimi sistemi" e di alcune discussioni già fatte sul fatto che la Fisica, e più in generale la Scienza, si occupa di interpretare la realtà e di costruire modelli attraverso i quali riuscire a spiegare e prevedere certi fenomeni naturali. Anche il concetto di forza, in ultima analisi, risulta creato dall'intelligenza e dall'immaginazione umana ed anche se attraverso di esso si riesce ad interpretare una molteplicità di fenomeni, esso è ben lungi dall'essere assoluto e definitivo.

Quindi la domanda ben posta è **quale modello posso trovare (in questa prima fase il modello più semplice possibile) che riesca a spiegare la maggior parte dei fenomeni luminosi che si possono osservare?**

Contesto di senso: Estraggo dalla borsa un puntatore laser ed invio il fascio su una parete, che si illumina con un puntino rosso; ripeto l'operazione con una torcia elettrica, anche se il risultato viene accolto dalla classe con meno stupore; si invitano i ragazzi ad esprimere a parole che cosa è successo.

Cini (con il quale, per una sua personale curiosità, avevo già parlato nei giorni scorsi del fenomeno della propagazione e della visione): "la luce proveniente dal LASER si muove in linea retta, colpisce il muro, si sparpaglia dappertutto e quindi una parte di essa arriva anche al nostro occhio e quindi la possiamo vedere"

Insegnante: "C'è luce tra il LASER e il punto in cui ha colpito il muro?". Molti dicono di sì, che c'è anche se non si vede, ma qualche studente afferma di no. Estraggo dalla borsa un colino (acchiappa luce) per il the e lo pongo tra la sorgente e il muro, facendolo scorrere per tutto il raggio, mostrando come anche nel colino si formi il puntino luminoso.

La luce quindi c'è anche se non si vede Ripeto la stessa operazione anche con la torcia elettrica.

Insegnante: I dispositivi, come il laser, le torce, il sole, che emettono luce si dicono sorgenti. "Se il muro non ci fosse che cosa succederebbe?"

Campana: "La luce continuerebbe a muoversi (**la propagazione della luce sembra quasi un dato di fatto**) in linea retta fino a che non trova qualcos' altro su cui sbattere"

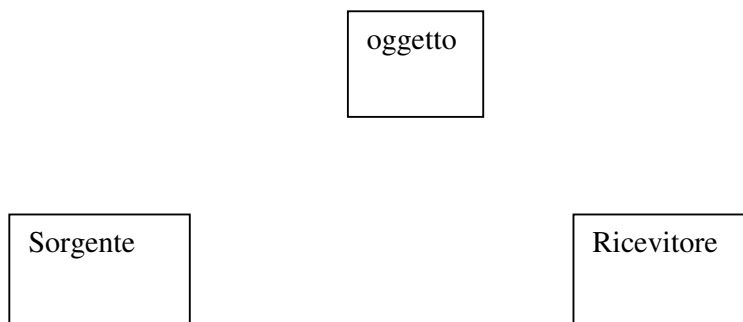
L'insegnante proietta il fascio laser contro la porta, poi apre la porta per verificare le affermazioni di Campana.

"Quindi possiamo dire che la luce si propaga in linea retta fin tanto che non incontra un ostacolo"

Quali sono altre prove che evidenziano una propagazione rettilinea?

Cioppa: "la formazione delle ombre". Ci soffermiamo ad analizzare le ombre che si riescono a formare in classe, ma anche quelle presenti nel libro di Fisica PSSC, in cui ci sono delle foto particolarmente significative. Il passaggio di luce attraverso dei piccoli tubicini (che nello specifico sono l'involucro delle penne a sfera) serve a rafforzare ulteriormente l'idea che la luce sembra propagarsi in linea retta. Questa discussione ci permette di introdurre i primi elementi del modello geometrico della luce. La luce **è come se** fosse costituita da un insieme di raggi rettilinei, che fuoriescono dalla sorgente luminosa e si propagano nello spazio fin quando non incontrano un ostacolo. A questo punto introduciamo il meccanismo della visione (ricezione dei raggi).

Disegno alla lavagna i seguenti blocchi:



Spiego che con il termine ricevitore si può pensare in un primo momento al nostro occhio. Si invitano gli studenti a ricopiare i blocchi sul quaderno e a collegarli con delle frecce. Disegno alla lavagna prima lo schema non corretto (con il ricevitore-occhio che acchiappa, con la freccia, sia la sorgente che l'oggetto). Nonostante quello che è stato già detto e nonostante la parola ricevitore contenga in qualche modo l'orientazione che deve avere la freccia, per alcuni studenti lo schema sembra plausibile. Si fa notare che, secondo questo schema la luce esce dalla sorgente, colpisce un oggetto, mentre dall'occhio esce qualcosa che cattura sia l'immagine della sorgente che dell'oggetto.

Dall'occhio quindi esce o entra qualcosa? Mi ricordo che nel libro di Ronchi c'è un punto in cui Alhazen, arabo dell' XI secolo che dette un grande contributo alla teoria della visione, rileva che guardando il sole e poi chiudendo il gli occhi si continua a

vedere il disco luminoso per molto tempo, segno che qualcosa dall'esterno ha impressionato il nostro occhio. Faccio quindi questo esempio alla classe (riservandomi di parlare di Alhazen successivamente; credo che però sia importantissimo sottolineare il carattere multi-etnico del sapere scientifico) e quindi concordiamo che è ragionevole che le frecce vadano dall'oggetto e dalla sorgente verso l'occhio.

E' il momento di far notare alla classe che il semplice schema che abbiamo appena condiviso è frutto di un lavoro del pensiero umano durato dal IV secolo A.C. fino appunto all'XI secolo. Leggiamo a questo proposito le prime pagine dell'opera di Vasco Ronchi, soffermandosi sulla teoria dei simulacri (sembra che tale teoria persista nel pensiero spontaneo quando si va a studiare la formazione delle immagini dovuta ad una lente³). I ragazzi la trovano divertente e bizzarra, ma i loro commenti lasciano capire che effettivamente non hanno idea alcuna di come l'occhio, così piccolo, possa formare l'immagine di oggetti grandi come ad esempio una montagna. Si lascia la teoria dei simulacri per approdare ad una teoria geometrica, quella dei raggi visuali (vedi fig.1), sottolineando come questa abbia avuto spunto dalla teoria sulla prospettiva. Non manco di sottolineare come coloro i quali hanno disegnato male lo schema a blocchi si trovino in buonissima compagnia, visto che la teoria dei raggi visuali fu sostenuta da Euclide (che per un ragazzo di Liceo è una sorta di mostro sacro) e ha resistito per più di mille anni. Confesso alla classe che, nonostante sia laureata in Fisica, specializzata in Ottica, ogni tanto ragiono per raggi visuali pure io. Gli schemi di senso comune sono resistenti e ben radicati: ne sono un esempio tutta una serie di modi di dire che commentiamo insieme:

- **ti lancio uno sguardo, un'occhiata**
- **ti fulmino con gli occhi, con lo sguardo**
- **ferma lo sguardo su**

Propongo a chi ne ha voglia, di indagare su questa idea nei cartoni animati. C'è tutta una letteratura sulla Fisica ingenua dei cartoni animati e mi sembra di ricordarne qualcuno in cui di notte, gli occhi del personaggio, agivano come fari. Chissà se qualche volenteroso si prenderà carico di questo compito!

Nell'ultima parte della lezione è stata analizzata sperimentalmente la diffusione del fascio laser da parte della polvere di gesso, in cui il fascetto si è naturalmente reso ben visibile. Questo ci condurrà ad analizzare nelle prossime lezioni il problema della riflessione e della diffusione; quest'ultima gioca un ruolo cruciale nel processo relativo alla visione.

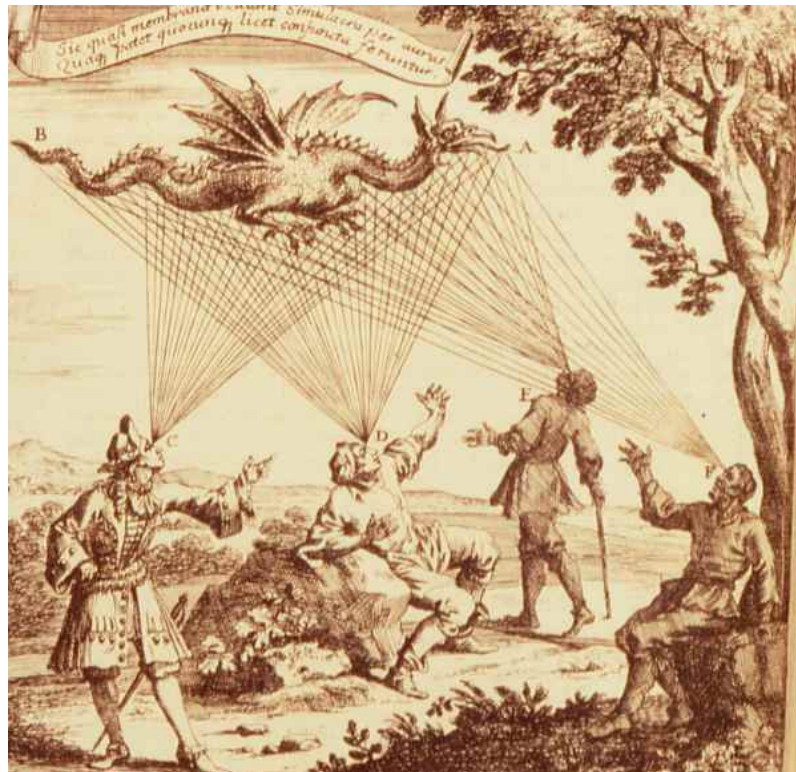


Fig.1: la teoria dei raggi visuali



Fig. 2: la fisica ingenua nei cartoni animati.

Il lezione Martedì 19 febbraio:

La diffusione della luce

La formazione delle ombre

Schematizzazione di un punto sorgente e di una sorgente estesa

Una prima distinzione tra lux e lumen

Il Cioppa ha fatto una ricerca su internet sulla Fisica sbagliata dei cartoni animati, ma non è riuscito a trovare niente che abbia a che vedere con i raggi visuali. Dico di insistere (mi metterò alla ricerca anch'io).

Facciamo il punto della situazione. Ci siamo proposti di individuare un semplice modello di luce che riesca a spiegare gran parte dei fenomeni quotidiani e contestualmente vedere come la vedevano i primi pensatori in proposito. Insisto ancora sullo schema sorgente-oggetto-ricevitore. Le sorgenti di luce vengono, nel nostro modello, schematizzate come oggetti che emettono raggi rettilinei. Chiedo alla classe: **come facciamo a vedere gli oggetti?** Milani: gli oggetti vengono colpiti dalla luce ed essi la rimandano ai nostri occhi. Continuiamo a leggere il testo di Ronchi in cui viene fatta la distinzione tra il termine lux, che rappresenta la condizione del vedere, e il lumen, entità fisica che rappresenta la luce, osservando che l'idea di lumen viene introdotta da Alhazen, il quale riesce a dare una corretta schematizzazione di punto-sorgente e sorgente estesa (vedi fig.3).

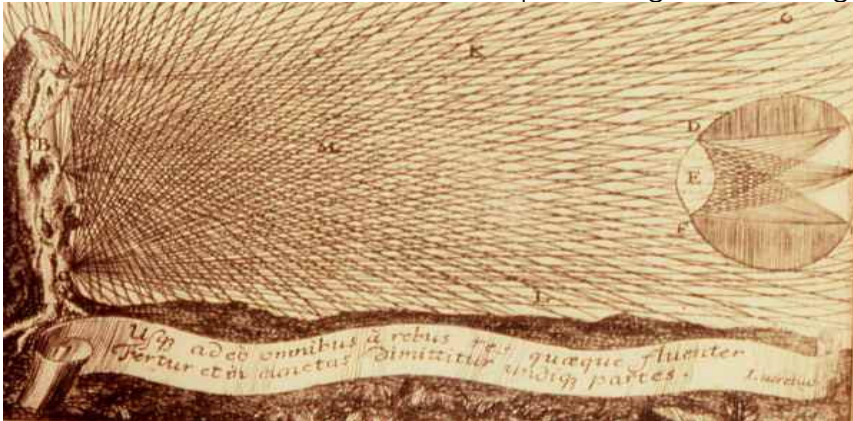


Fig.3: l'ottica secondo Al-Hazen

Prima di continuare sottolineo come il contributo alla comprensione dei fenomeni fisici sia il risultato dell'intelligenza umana nella sua globalità (i greci, gli arabi, gli europei con Keplero, Newton etc); credo che sia importante, far capire che anche civiltà molto lontane dalla nostra, abbiano dato un contributo fondamentale alle Scienze e in generale al Sapere. Forse per i ragazzi di oggi tutto questo non è per niente scontato. Disegno alla lavagna un punto sorgente, dal quale partono raggi in tutte le direzioni. Propongo di pensare a qualche sorgente reale che può essere schematizzata come puntiforme. Mi rispondono: il Sole, una lampadina, una torcia (il Cioppa dice che le torce emettono un fascio direzionale perché gli altri raggi vengono bloccati: ci ritorneremo in seguito). Chiedo: che cos'è l'ombra? Molti rispondono che è assenza di luce. Disegno alla lavagna la proiezione di un'ombra di un oggetto da parte di una sorgente puntiforme, facendo notare che l'assenza di luce non è solo in un piano: **l'ombra è perciò un volume**. Chiedo come si possa schematizzare una sorgente estesa. Quasi in coro mi danno la risposta corretta: considerandola formata da tanti punti sorgente, che, sottolineo io, emettono in tutte le direzioni. Faccio vedere, alla lavagna, come con delle sorgenti estese si generi ombra e penombra. I ragazzi sono abbastanza recettivi, perché hanno parlato di questo argomento a Disegno (trasversalità). A questo punto si comincia a parlare di oggetti come di sorgenti secondarie. Prendo il puntatore laser e analizziamo il comportamento di corpi trasparenti (che lasciano passare la luce), come il vetro, e corpi che la riflettono quasi totalmente (ho portato uno specchietto). Notiamo come sulla superficie dello specchio lo "spot" luminoso sia quasi impercettibile, al contrario di quello che succede negli altri corpi. Senza la pretesa di esaminare quantitativamente la legge della riflessione (per questo è prevista una successiva lezione in laboratorio) analizziamo la posizione del raggio riflesso rispetto a quello incidente ed osserviamo che giacciono nello stesso piano. A questo punto enuncio le due leggi della riflessione e le scrivo alla lavagna (i ragazzi mostrano di essere contenti di essere giunti ad una formula quantitativa, sintesi di

una serie di osservazioni sperimentali che hanno appassionato la classe). Sottolineo come queste leggi abbiano validità per luce incidente su superfici riflettenti. **Ma che cosa succede se faccio incidere il fascio su un foglio bianco? Perché stavolta lo spot luminoso è così ben visibile?**

Chiaramente quasi tutti hanno capito che l'esser visibile significa che arriva ai nostri occhi. Propongo di salvare la legge della riflessione (che, se valesse solo per determinate superfici non avrebbe diritto di chiamarsi legge) proponendo il modello di superficie scabra, con la normale che ha direzione diversa in ogni punto. In tale situazione, un fascetto di luce, che per quanto sottile sarà sempre fatto di tanti raggi, si comporterà in modo tale che i suoi raggi saranno riflessi secondo tante direzioni; qualche raggio riesce a giungere anche al nostro occhio e noi pertanto vedremo lo spot. Chiamo questo fenomeno "diffusione", sottolineando come sia importante la diffusione nel meccanismo della visione. **Tutti i corpi che vediamo diffondono parte della luce che gli arriva, anche il colore blu del cielo è un effetto della diffusione da parte delle molecole di aria.**

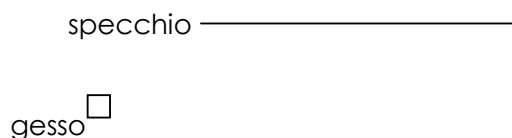
Nell'ultima parte della lezione facciamo un po' una digressione sulle sorgenti laser, che tanto appassionano gli studenti (e non solo). Spiego il significato dell'acronimo (light amplification by stimulated emission radiation) ponendo l'accento, per pura curiosità, sul fatto che la proprietà che viene sfruttata per il funzionamento di un laser era stata prevista teoricamente da Einstein nei primi del '900, mentre per arrivare alla costruzione del primo laser dobbiamo aspettare fino agli anni '60, ad opera di un gruppo di scienziati in cui erano presenti anche degli italiani (ad esempio Fortunato Tito Arecchi). Chiudo preannunciando alla classe un test sugli schemi di senso comune che i ragazzi eseguiranno il giorno successivo.

Mercoledì 20 Febbraio

Test sulle rappresentazioni mentali

Prime considerazioni sul fenomeno della riflessione

III lezione. Somministro ai ragazzi il test sulle rappresentazioni mentali e la classe decide collettivamente di farlo in forma anonima. Mi sembrano ben concentrati e contestano bonariamente, come è loro solito, l'ambiguità di alcune domande. Sembrano davvero molto interessati all'argomento luce e già in possesso di un buon controllo dei propri schemi mentali. Il test ho deciso di correggerlo con calma. Il Cini mi comunica che si sta mettendo alla ricerca di cartoni animati che evidenziano lo schema dei raggi visuali (gli occhi usati di notte come fari). La Catarsi vuole sapere, nel rispondere alla domanda 1) se c'è nebbia quella notte (mi sembra una domanda molto sensata). In tanti, nel rispondere alle domande, vorrebbero discuterne un po' con me. Il Paoletti, alla domanda se c'è luce in una certa Zona illuminata dai fari della macchina vorrebbe rispondere "dipende se ha avuto il tempo di arrivarci". Butto lì un "si vocifera che la luce abbia una velocità piuttosto elevata", però mi rendo conto che in fondo ha ragione (che la luce abbia una velocità elevatissima è un dogma per i ragazzi e per lo meno il Paoletti ha mostrato di ragionare in termini di interazioni non istantanee). Peccato che il Cioppa è assente. Mentre fanno il test posiziono uno specchio coperto sulla cattedra davanti a Iacoponi e pongo un gesso in questa posizione



Iacoponi

Alla fine del test pongo alla domanda alla classe "Iacoponi riuscirà a vedere il gesso allo specchio?".

Iacoponi: sì.

Tognoni (a sinistra di Iacoponi): "no, sono io che riuscirò a vedere il gesso, seppure di scorcio".

Insegnante: "che significa di scorcio?"

Tognoni "nel senso che non lo vedrò proprio tutto"

Cini: "no, non lo vede Iacoponi".

Cola: "ma dov'è la sorgente?"

Insegnante: "La sorgente è il gesso."

Cola: "E' vero."

Toncelli: "io riuscirò a vedere il gesso (è vero, si trova a destra di Iacoponi), mentre Iacoponi no".

Cini, che si trova all'ultimo banco, avanza verso la cattedra e dice: "E' vero, lo vede solo chi si trova nella posizione di Toncelli"

Insegnante. "E dove lo vede?"

Cini "sopra lo specchio" e tocca il foglio che copre lo specchio.

Insegnante "proprio attaccato allo specchio come una figurina?" Ridiamo insieme.

Toncelli: "Lo vedo in posizione simmetrica", non specificando simmetrica rispetto a cosa, ma è chiaro che ha capito. Posiziono la mano più o meno dove si dovrebbe trovare l'immagine del gesso e Toncelli afferma "sì, proprio lì". Che la classe si sia collettivamente accordata (o accodata?) sulla risposta di Toncelli lo dimostra il fatto che si è quasi totalmente trasferita in zona Toncelli e Mariani, che si trovano in una posizione corretta per ricevere l'immagine del gesso. Scopro lo specchio e tutti si accucciano per posizionarsi all'altezza dello specchio (è uno specchietto) e li vedo, dalla mia posizione privilegiata, sorridere di contentezza nel vedere il gesso (come se avessero visto chissà che cosa) e rido di gusto con loro proponendo di farsi una foto nella loro posizione corretta. La lezione è finita e mi sento soddisfatta con tutta la mia classe.

Propongo di continuare a pensare a frasi comuni che presuppongono l'ipotesi dei raggi visuali. Io ho trovato "catturare un'immagine, avere uno sguardo penetrante". Il Cini mi dice che anche il dire "ti guardo", presuppone un atteggiamento attivo dell'occhio. Dice che piuttosto si dovrebbe dire La Catarsi concorda subito con l'affermazione di Cini. Effettivamente è molto corretta. Non ci avevo mai pensato in modo così radicale. Ma fortunatamente non è la prima volta che i miei studenti hanno pensieri più sottili dei miei. Sto sperimentando con un approccio davvero efficace da tanti punti di vista e quanto si può fare con così pochi mezzi:

un laserino da quattro euro, una torcia, uno specchietto, fogli, gessi, tutto ciò che ci circonda e il libro di Ronchi che ci ammonisce continuamente di quanto sia importante confrontarsi con il pensiero dei nostri antenati!

Venerdì 22 Febbraio: IV lezione

Storia della luce

La teoria dei simulacri

La teoria dei raggi visuali e le ipotesi di Alhazen messe a confronto

Il fenomeno della riflessione e gli specchi

Facciamo il punto della situazione, ricordando le riflessioni fatte la lezione precedente sulla formazione delle immagini in uno specchio piano. Devo formalizzare quanto abbiamo fatto. Leggiamo insieme la parte del libro di Ronchi in cui Alhazen propone il modello di sorgente puntiforme ed estesa, attraverso il quale riesce a spiegare (anche se arriverà ad un certo punto ad una apparente contraddizione) la formazione delle immagini da parte dell'occhio. Ma ci dobbiamo interrompere perché per una buona comprensione occorre sapere un po' di teoria delle lenti. Mostro alla lavagna la formazione dell'immagine di un punto sorgente da parte di uno specchio piano, sfruttando le due leggi della riflessione. Lo faccio anche per un oggetto esteso. La classe mostra di comprendere le costruzioni geometriche, ma mi devo ricordare di puntualizzare sempre l'ipotesi che le **sorgenti puntiformi emettono in tutte le direzioni (cioè l'ipotesi di Alhazen) e per le costruzioni geometriche si selezionano alcuni raggi particolari. Questo è ciò che per esempio si dimenticano tutti i libri di testo.** Propongo poi di determinare praticamente, con lo specchietto, la posizione precisa dell'immagine di un pennarello (più lungo dello specchio) posizionando un pennarello identico al primo, in modo che l'immagine e il pennarello reale si sovrappongano perfettamente (esperimento simile ad uno descritto nel testo del PSSC⁴). La classe, guidata dal volenteroso Cini, si adopra per eseguire l'esperienza e il risultato ottenuto è abbastanza suggestivo. Anche senza misure quantitative (che verranno effettuate successivamente in una seduta di laboratorio) si vede che l'immagine si trova effettivamente dove è prevista teoricamente. Ricompongo la classe e comincio a parlare di specchi curvi, aiutandomi con delle foto del PSSC, in cui lo specchio curvo viene visto come situazione limite di una serie di specchi piani orientati in modo diverso. Definisco lo specchio sferico e avverto la classe che verranno eseguiti dei calcoli approssimati (approssimazioni di Gauss) ovvero :

- 1) Piccoli angoli di apertura dello specchio
- 2) Raggi parassiali.

Dimostro, in base a queste approssimazioni, l'esistenza del fuoco in uno specchio sferico, cioè di un punto in cui convergono i raggi paralleli all'asse ottico. Nelle approssimazioni fatte il fuoco si trova all'incirca nel punto medio del segmento di estremi il centro e il vertice dello specchio. Non manco di sottolineare come il nostro modello sia ultra semplificato: nella pratica il fuoco corrisponderà non tanto ad un punto quanto ad una zona. Parliamo anche di specchi parabolici e di antenne paraboliche e viene fuori che la luce è un'onda elettromagnetica. **Ma che cosa è un 'onda elettromagnetica?** Fin tanto che non potremo dare una risposta adeguata a questa domanda, dire che la luce è un'onda elettromagnetica non significa niente. Ci ritorneremo quindi in seguito. Nei prossimi giorni ricaverò l'equazione dei punti coniugati per gli specchi sferici (aspetto ancora un po' perché ho bisogno che i ragazzi abbiano fatto, con l'insegnante di Matematica, il teorema della bisettrice) e contestualmente li farò riflettere sulle immagini formate da un ramaiolo da cucina!

Martedì 28 febbraio V lezione.

Formazione delle immagini negli specchi

Equazione dei punti coniugati

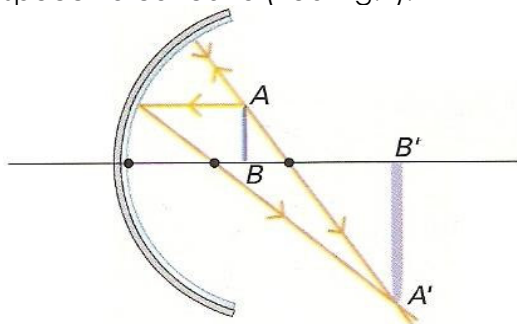
Avevo assegnato qualche esercizio di costruzione dell'immagine di punti sorgente da parte di uno specchio piano che ha creato qualche problema alla classe, così la prima parte della lezione viene impiegata per rieseguirli alla lavagna. C'è bisogno di gessi colorati, per non confondersi tra raggi, normali e specchi. Mostro la formazione delle tre immagini di un punto sorgente da parte di due specchi piani perpendicolari tra di loro. Propongo alla classe che per casa costruiscano tutte le immagini di un punto sorgente, situato sul piano bisettore di due specchi piani formanti tra di loro un angolo di 60° . È un esercizio che ho trovato sul Tipler⁵ e non è per niente banale. Ho intenzione, in questa fase, di coinvolgere l'insegnante di storia dell'arte; della correzione di questi esercizi ce ne occuperemo insieme. Contestualmente abbiamo ricercato "sperimentalmente" le immagini con due specchietti in classe. Abbiamo poi affrontato il problema della formazione delle immagini quando gli specchi sono paralleli (le immagini in questo caso sono infinite). Una sala di Villa Mimbelli a Livorno ha proprio due pareti opposte ricoperte da due grandi specchi. Abbiamo deciso, io con l'insegnante di Storia dell'arte, che forse vale la pena di portare la classe a sperimentare questa situazione. Il Cini si sta divertendo a proiettare sul muro i raggi del sole che incidono sul mio specchietto, chiamando immagine del sole lo spot luminoso che si osserva sul muro. Ragioniamo quindi insieme, osservando che ciò che noi vediamo non è l'immagine del sole, che è virtuale e si trova dall'altra parte dello specchio, bensì il risultato della diffusione, sul muro, dei raggi che il sole invia verso la terra e che vengono raccolti e riflessi dallo specchio. Mi sembra che il modo di pensare di Cini in questo momento si avvicini molto all'idea dei simulacri, che si staccano dall'oggetto (in questo caso il sole, e che si ricompongono sul muro. Osservazioni su questo tipo di rappresentazioni mentali vengono riportate anche nel testo di Arons³, anche se riguardano più che altro la formazione delle immagini con le lenti. Riprendo l'argomento specchi sferici e in generale curvi e mi accingo a determinare **l'equazione** dei punti coniugati, sempre nell'ipotesi che valgano le approssimazioni di Gauss. Mi metto nella situazione in cui il punto immagine è reale, ossia pongo la sorgente a distanza dal vertice maggiore della distanza focale. La classe sembra seguire il procedimento geometrico-matematico adottato. Sottolineo la differenza sostanziale tra l'immagine **virtuale** di uno specchio piano e l'immagine **reale** (i raggi possono essere raccolti in uno schermo). Scambio tra di loro il punto oggetto e quello immagine, introducendo pertanto il ben noto **principio di invertibilità del cammino luminoso**. La lezione sta prendendo una piega molto "canonica", d'altra parte ritengo ancora importante che alla fine delle nostre riflessioni qualitative, si debba formalizzare e quantificare ciò su cui abbiamo riflettuto e sperimentato. Tanto più che siamo in un Liceo Scientifico. Faccio quindi vedere come la legge dei punti coniugati sia coerente con la convergenza dei raggi paralleli all'asse ottico (punto sorgente all'infinito e quindi $p \rightarrow \infty$ cosicché $q=f$). Tiro a questo punto fuori il ramaiolo da cucina e lo faccio girare per la classe, invitando la classe a seguire con lo sguardo l'immagine prodotta da un loro dito in avvicinamento verso il vertice (forse dovrei dire raccogliendo con i miei occhi i raggi che l'immagine reale del dito manda verso di me). L'effetto ramaiolo non suscita in loro un grande entusiasmo, ma in ogni modo voglio che notino che per lo meno è capovolta e in una posizione molto diversa rispetto a quella prodotta da uno specchio piano. Se non ci si avvicina troppo all'ipotetico fuoco del ramaiolo (per il quale comunque, faccio notare, ben difficilmente saranno soddisfatte le approssimazioni di Gauss) l'immagine è reale, può essere raccolta da uno schermo, mentre avvicinandosi sempre di più allo specchio, l'immagine si raddrizza (non prima di passare da una zona in cui ciò che avviene è piuttosto oscuro). Suona la campanella; assegno qualche esercizio (abbastanza banale) e mi propongo domani di formalizzare queste osservazioni, nonché di introdurre il problema dell'ingrandimento.

Mercoledì 28 febbraio VI lezione

Formazione delle immagini negli specchi sferici

Le leggi della riflessione e le supposizioni di Euclide

Prima di cominciare, gli studenti mi chiedono chiarimenti sulla costruzione che ho assegnato loro per venerdì prossimo. Sapevo che non era per niente banale e non so cosa aspettarmi dalle loro produzioni. Comunque la cosa sembra interessarli, visto che hanno provato a valutare il numero di immagini che si vengono a formare (specchi piani formanti tra loro un angolo di 60°). Mi raccomando cura e precisione nell'esecuzione. Nel frattempo mostro alla classe la situazione sperimentale, con un semplice specchietto da borsa, di ciò che succede al variare dell'angolo al numero delle immagini di una gomma da cancellare, e devo dire che le immagini multiple sono davvero molto suggestive. Il Cini mi chiede il laser perché vuole verificare che il raggio riflesso da due specchi formanti un angolo di 90° è sempre parallelo a quello incidente. Proviamo insieme ma ci accorgiamo che per avere una buona visione dell'effetto occorre diffondere il fascio e in classe manca pure la cimosà. Lo rassicuro dicendogli che in laboratorio potremo sbizzarrirci ancora di più con gli esperimenti (ci andremo, per la prima volta, venerdì prossimo: le esperienze di ottica non erano più nel "programma dell'Enriques" da tanto tempo). Riscrivo alla lavagna l'equazione dei punti coniugati, mettendo in risalto la simmetria dei ruoli di p e q . Ci sono nella classe diverse menti che sanno apprezzare e comprendere l'eleganza matematica di certe equazioni. Comincio a fare la costruzione dell'immagine di un oggetto esteso da parte di uno specchio concavo (vedi fig.4).



L'oggetto è posto fra il centro e il fuoco dello specchio: l'immagine è reale, capovolta, più grande.

Fig.4: immagine reale ingrandita, formata da uno specchio concavo.

Ricordo che una sorgente estesa va considerata come un insieme di sorgenti puntiformi che emettono in tutte le direzioni, ma la classe ne sembra già ben consapevole. Sottolineo come, per semplicità e chiarezza, si selezionino alcuni raggi particolari e mi propongo di stimolarli a selezionarli loro stessi, anche a loro piacimento, purché si cerchi di essere abbastanza precisi nell'esecuzione grafica (mi convinco sempre di più che sto involontariamente potenziando anche le loro abilità grafiche). Il capovolgimento dell'immagine crea un certo disorientamento anche in Cini, che di solito è il più disponibile ad abbracciare nuove idee. Ricordo comunque l'immagine del dito e di noi stessi di ieri nel ramaiolo. Passo a definire l'ingrandimento lineare (decido di non attribuirgli alcun segno, come del resto fa anche il loro libro di testo) e dimostro la formula $I = \left| \frac{q}{p} \right|$.

Considero successivamente il caso $p < f$ (immagine virtuale), sollecitandoli a vedere come effettivamente in questo caso si riottenga un'immagine che ha caratteristiche analoghe

(collocazione spaziale, non capovolgimento) a quella formata dagli specchi piani. Affronto infine il problema degli specchi convessi e attribuisco un segno alla distanza focale e a q (a seconda che si tratti di un'immagine reale o virtuale). In questo modo si chiarisce la presenza del valore assoluto nella formula dell'ingrandimento. Non faccio nemmeno un esercizio, perché quasi tutti hanno come unico scopo quello di manipolare la formula dei punti coniugati: **si tratta di puro addestramento matematico e da qualche tempo l'ho abolito nelle mie lezioni di Fisica**. Induco invece a pensare ad un fascio di raggi paralleli come ad un punto sorgente all'infinito e faccio notare come la formula dei punti coniugati preveda che l'immagine reale di tale punto sia localizzata nel fuoco. Insisto ancora sull'invertibilità del cammino luminoso e decido, per riagganciarmi al discorso storico di leggere e poi dettare alla classe le **supposizioni di Euclide sui raggi visuali**.

Supposizione 1

Presuppongasi adunque che i raggi ch'escano dall'occhio, sieno portati per retta linea, e per qualche intervallo sieno l'uno dall'altro lontani.

Supposizione II

La figura compresa da' raggi visuali è un cono la cui punta è nell'occhio e la basa è nell'estremità della cosa veduta.

Supposizione III

Quelle cose si veggono, alle quali arrivano i raggi visuali.

Theorema primo

I raggi visuali si riflettono ad angoli pari, tanto negli specchi piani, come anco ne' rotondi et ne' concavi.⁴

Commentiamo brevemente (sta per suonare la campanella) tali assunzioni e il teorema (quest'ultimo viene subito riconosciuto come la legge della riflessione). Sembrerebbe si fossero ben distaccati da queste concezioni (sarà proprio vero?). Assegno a casa il compito di pensare a come deve essere collocato uno specchio piano alto la metà di noi affinché ci si possa rispecchiare completamente (non è banale).

Venerdì 29 febbraio VII lezione

Laboratorio: esperienze con gli specchi piani e sferici

La classe mi deve consegnare l'esercizio relativo alla formazione dell'immagine da parte di due specchi che formano tra loro un angolo di 60° . Non tutti sono riusciti a svolgere l'esercizio, alcuni si sono mostrati molto precisi nell'esecuzione. Li redarguisco quanto basta e poi ci spostiamo verso il laboratorio, dove sono previste una serie di esperienze con specchi piani e sferici. L'esperienza con gli specchi piani è del tutto simile a quella del pennarello effettuata in classe, ma è comunque istruttiva perché viene effettuata a piccoli gruppi e ognuno ha modo di vedere quanto delicata sia la ricerca della posizione dell'immagine, per lo meno se si vuole raggiungere un risultato abbastanza suggestivo. L'esperienza successiva è la ricerca e misura del fuoco di uno specchio sferico. Come sorgente all'infinito viene preso un riferimento qualsiasi situato nel giardino e oltre la scuola (un albero, una ciminiera, la finestra di una casa). Si va a raccogliere l'immagine su uno

schermo diffondente, che secondo il nostro modello, dovrebbe trovarsi in corrispondenza del fuoco dello specchio. Molti studenti sono stupiti dei seguenti fatti:

-che l'immagine sia capovolta, eppure la avevano già osservato con il ramaiolo e avevano mostrato di comprendere la costruzione geometrica dell'immagine.

- che l'immagine sia colorata (probabilmente si stanno confondendo con le ombre e si aspettavano qualcosa in bianco e nero).
- Che sia così piccola eppure dettagliata (chissà se stanno pensando in termini di teoria dei simulacri, e considerino l'immagine come una figurina che si è staccata e rimpiccolita nel cammino come le scorze degli antichi greci).

Sono tutti molto entusiasti, qualcuno come il Cini quasi esuberante, ma stanno sperimentando, ragionando, facendo congetture. Un gruppo ha uno specchio diverso dagli altri, con grosso raggio di curvatura (1 m ?). Il loro apparato si presta meno bene per misure quantitative ma si possono effettuare prove più suggestive. Per esempio passa qualche studente dietro lo schermo e su di esso vi si vede proiettata l'immagine rovesciata. E' tutto molto divertente. Propongo di osservare l'immagine del loro dito capovolto e ingrandito quando lo avvicinano allo specchio. Quasi tutti vogliono provare nello specchione. La stanza di laboratorio per fortuna è abbastanza grande e loro, anche se non sono immobili, si comportano bene (a parte il Cini, che ora che mi ricordo, ha tentato bonariamente di spostare un intero banco ottico da un tavolo ad un altro; dovrò farglielo notare).

Il bravo Mauro Perossini, il nostro ITP da due anni, spiega a tutti che adesso dovranno sperimentare l'esistenza dei tre tipi di immagini che si possono formare con il loro specchio concavo, ovvero di verificare, la formula dei punti coniugati. La sorgente che i ragazzi dovranno utilizzare è una candela. Anche questa esperienza viene effettuata con solerzia ed entusiasmo dai vari gruppi; vedo il Cioppa ed altri (manca la Catarsi) molto presi anche per ciò che riguarda la verifica quantitativa delle misure (affette da grandi errori, anche sistematici, dovuti alla posizione dei cavalieri sui rudimentali banchi ottici), mentre i più si dilettono nell'osservazione, che è scientifica, si pongono delle domande e cercano delle risposte. Il gruppo con lo specchione è il più fortunato in questo senso. Avvicinando la sorgente al fuoco, l'immagine, si ingrandisce e si allontana a dismisura, andiamo a proiettarla sul muro, aiutandoci con un foglio di carta bianca. Cini si chiede in che posizione dovrebbe mettere gli occhi per vederla direttamente, senza la mediazione della carta che diffonde (mi sembra, come domanda a se stesso, una grande domanda, visto che Arons la fa ai suoi studenti negli esperimenti con le lenti). Si risponde da solo come prevede Arons, il Cini li per li metterebbe direttamente gli occhi nella posizione del foglio. Gli faccio notare che io, per guardarlo in quel momento, non sto poggiando gli occhi su di lui e lo stesso lui non ha fatto prima con l'immagine del ditone. Mi accorgo che ha capito la mia obiezione. Il Cini è quello che in genere è il più veloce e disponibile a riorganizzarsi il pensiero, ma ancora sta lottando con i suoi schemi di senso comune. Deduco che in quasi tutte le teste della classe c'è ancora molta confusione. Ora che scrivo mi sto convincendo, riflettendo anche sul mio pensiero, che le concezioni difformi in Ottica forse sono davvero le più difficili da sradicare. Forse è per questo che si è spesa anche così tanta letteratura. La classe continua a sperimentare; anche le piccole immagini reali che si formano in prossimità del fuoco quando la candela è lontana appassionano gli studenti, quasi ipnotizzati dall'ondeggiare dell'immagine della fiamma, incredibilmente eppur prevedibilmente dal punto di vista matematico, capovolta. E' il momento di avvicinare ancora di più la sorgente allo specchio, di oltrepassare il fuoco, di vedere l'immagine virtuale, ingrandita e dritta al di là dello specchio. E' a questo punto che succede una cosa veramente strana: nello specchio. In un ampio intervallo di posizioni, che all'incirca va dal centro al fuoco dello specchio, qualcuno si accorge che si riesce a vedere contemporaneamente un'immagine reale ingrandita

(che all'incirca si forma sul muro) e un'immagine virtuale, anch'essa ingrandita al di là dello specchio. Che cosa sta succedendo. Come è possibile? Qualcuno afferma che è totalmente sbagliata la misura precedente della distanza focale. Ma anche se così fosse, la teoria e le costruzioni che abbiamo effettuato non prevedono la formazione di due immagini contemporaneamente! La teoria forse è sbagliata? O forse ci sono due fuochi? La campanella è ormai suonata da qualche minuto (non si sente dal laboratorio). Decidiamo di rifletterci ed eventualmente di tornare a lavorarci sopra (quando per esempio faremo la formazione dell'immagine con le lenti). Domani, anche se non li vedo, vado a trovarli per assegnargli qualche esercizio sugli specchi. Nonostante la maggior parte degli esercizi sui testi sia di tipo puramente matematico-addestrativo (un po' di Matematica comunque a dei ragazzi di Liceo Scientifico fa bene), dopo questa lezione credo che i ragazzi affronteranno l'esecuzione con maggior consapevolezza (almeno lo spero).



Studenti in laboratorio alle prese con la formazione delle immagini negli specchi sferici

Martedì 4 marzo

Esercitazione collettiva sulla formazione delle immagini sugli specchi

Costruzioni geometriche

Ieri non ho avuto tempo di assegnare gli esercizi. Decido di chiamare alla lavagna la Catarsi, molto brava ma in questi ultimi tempi ha fatto diverse assenze e voglio vedere a che punto è la sua consapevolezza (e di riflesso, quella dell'intera classe) nella costruzione delle immagini in uno specchio curvo. La lezione dovrebbe prendere una piega tradizionale, ma oramai nella classe si è creata un'atmosfera di curiosità che è difficile da frenare. Qualcuno mi consegna in ritardo la costruzione assegnata qualche giorno fa. Tiro fuori i due soliti specchietti e li faccio girare, per farli riflettere sulle immagini che si formano quando l'angolo tra i due specchi è 90° . Toncelli mi parla di un illusionista che con un gioco di specchi ha fatto sparire la statua della libertà, Cini

mi chiede dello specchio del laboratorio che potrebbe avere due fuochi e mi racconta di un errore di fisica legato all'ottica in un cartone animato dei puffi (legato all'ingrandimento in uno specchio convesso, che nel cartone risultava >1). Domani ci porterà un po' di materiale che ha scaricato da internet e fornirà a tutti qualche indirizzo a cui connettersi. Magari possiamo anche andare in aula di informatica con tutta la classe. Paoletti tira fuori l'annosa questione sulla veridicità delle foto scattate durante il primo atterraggio sulla luna, sottolineando che sono le ombre proiettate sul terreno lunare che sono in contraddizione (ma non mi ricordo perché). Riporto la classe all'attenzione sulla lavagna. L'esercizio che deve eseguire la Catarsi alla lavagna (la classe è bonariamente obbligata a dare il suo contributo attivamente; un esercizio alla lavagna è sempre un esempio di cooperazione tra pari, guidata e mediata dall'insegnante) riguarda invece uno specchio concavo e mentre la studentessa sta eseguendo la costruzione (con non poche difficoltà nel tracciamento dei raggi, delle normali ecc, delle tangenti che tangenti non sono etc), mi ricordo che un tempo possedevo un accendino "solare", uno specchio concavo in cui sul fuoco veniva opportunamente posizionata la sigaretta e lo descrivo alla classe. Il Cioppa esulta, ma io prendo spunto da quest'esempio per insistere sul fatto che il fuoco in realtà corrisponde ad una zona focale in cui comunque la densità di energia luminosa è molto grande. Dovrò prima o poi cominciare a trattare il problema dell'intensità della luce. Discutiamo ancora sulla differenza tra le immagini reali e virtuali (la classe sembra in generale saper distinguere bene, la Catarsi però non è stata in laboratorio e fa più fatica del solito). L'esperienza in laboratorio è stata illuminante per molti aspetti. Torna il problema del segno dell'ingrandimento: è Milani a riproporlo. Riconcordiamo di attenerci alla convenzione del libro di testo (qualcuno non si ricordava più di questa decisione). Passiamo ad analizzare il problema di uno specchio convesso. L'esercizio è molto simile, il tracciamento dei raggi crea però ancora più difficoltà. Lo schema di sorgente puntiforme ed estesa è ben assodato (sembrerebbe) ma la costruzione del raggio riflesso, soprattutto per raggi non particolari, è molto dura anche per la Catarsi, che ha in genere notevoli capacità (sembra comunque non stia attraversando un buon momento). **Devo quindi insistere molto sulla costruzione geometrica, la mera manipolazione della legge dei punti coniugati è poco significativa.** Campana e Cioppa mi dicono che forse hanno risolto (ma confessano molto intuitivamente) che hanno capito dove deve essere collocato lo specchio alto la metà di un individuo. Domani discuteremo insieme la soluzione alla lavagna. Vorrei far vedere la rifrazione del fascio laser nell'acqua, ma non ho un recipiente trasparente in classe. Mi chiedono informazioni sui laser ed io accenno al fatto che la frazione di luce che esce sottoforma di raggio ben definito è una piccola frazione di quella che è contenuta all'interno della cavità, assimilabile alla zona tra due specchi piani e paralleli, di cui uno debolmente trasmittente. Le cavità, che nel nostro caso è microscopica, può anche essere molto grande, tale da inserirci una mano, che però rimane intatta perché interrompe il cammino luminoso e disattiva l'effetto laser (che naturalmente i miei studenti non hanno idea di come funzioni; e probabilmente, a meno che non facciano Fisica o per lo meno un'ingegneria di un certo indirizzo, non sapranno mai). D'altra parte lo sanno che stanno ragionando in termini e con strumenti concettuali poco più che euclidei. Ma forse sanno che, come la civiltà umana abbia impiegato più di duemila anni per arrivare alla comprensione scientifica attuale di ciò che va sotto il nome di luce, anche loro stanno seguendo un percorso, anzi sono i protagonisti e spesso lo portano dove vogliono. Spero che la mia mediazione possa contribuire a fare in modo che la tecnologia in cui i miei studenti sono perennemente immersi sia una risorsa per le loro menti, promuova rapide riorganizzazioni del pensiero, che abbiano però come requisito un certo grado di coerenza logica. **Devono imparare a**

non accettare una visione dogmatica della scienza, perché Scienza significa capire. E capire si può.

Mercoledì 5 Marzo

Storia della luce:Alhazen e i limiti della sua teoria

La rifrazione

Il mercoledì è di solito per la classe il giorno peggiore: li vedo alla quinta e ora e pertanto siamo tutti molto stanchi. E' più difficile riuscire a catturare l'attenzione della classe, che pur restando disponibile al dialogo educativo, è molto più agitata e si fa fatica a tenerli tutti a freno. Gli esercizi che avevo assegnato erano piuttosto semplici e non abbiamo dovuto tornarci sopra. Comunico che dobbiamo cominciare a preoccuparci di un nuovo aspetto della luce: il fenomeno della rifrazione, che si manifesta quando la luce passa da un mezzo ad un altro. Molti di loro hanno già letto qualcosa sul libro di testo (e ciò è molto positivo: significa che in qualche modo la loro curiosità è stata efficacemente stimolata). Prima ancora di introdurre il nuovo argomento per via "sperimentale", continuiamo la nostra lettura del libro di Ronchi:viene descritta l'ipotesi di Alhazen di suddividere un oggetto in tanti elementi puntiformi, ognuno dei quali invia la sua "immagine" in tutte le direzioni. Questo ingegnoso modello permette di spiegare come ogni punto dell'oggetto possa "entrare" nella pupilla senza nessuna necessità di contrarsi, andando ad impressionare un punto del "sensorio", cioè della superficie sensibile dell'occhio. In questo modo vengono impressionati diversi punti del sensorio e così si ricompone dentro l'occhio, la struttura dell'oggetto osservato. Noto che alla classe questa idea, oltre a piacere esteticamente, sembra anche estremamente convincente. Ma a questo punto Ronchi illustra l'apparente contraddizione che si pone di fronte al pensatore arabo: se la figura veniva a ricomporsi sul fondo dell'occhio, **essa avrebbe dovuto essere necessariamente capovolta! E questo per Alhazen era inammissibile** (vedi fig.5).

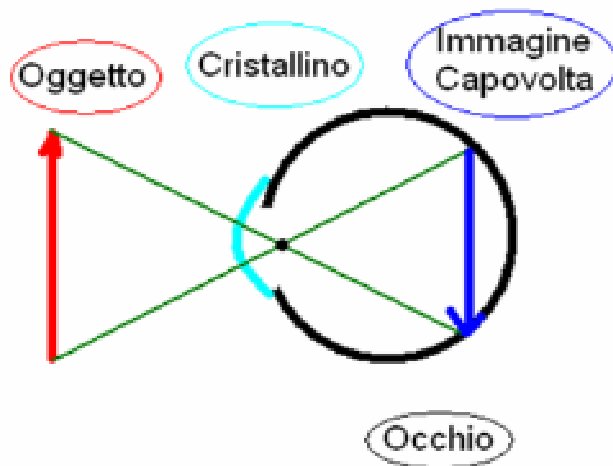


Fig. 5: la difficoltà incontrata da Al-Hazen

Disegno alla lavagna lo schema corrispondente (che è il principio della camera oscura) e propongo, per chi ne abbia voglia, di effettuare a casa un'esperienza domestica⁴, con il proiettore di diapositive, privato dell'obiettivo, inserendo tra il proiettore e lo schermo un cartoncino in cui sia praticato un piccolo foro, in modo che la luce che illumina la diapositiva passi attraverso il forellino. In questo modo è possibile osservare che sullo schermo appare l'immagine della diapositiva capovolta, nitida a

qualsiasi distanza e con dimensioni che crescono con la distanza. Il Cini osserva che ha letto nel libro che se il foro è piccolo la luce si sparpaglia (fenomeno della diffrazione, non interpretabile con il modello geometrico, che il libro di testo inserisce nelle prime pagine, **tanto per confondere un po' le idee!** Aggiungo quindi che il fenomeno descritto nel libro si osserva quando il foro è davvero molto piccolo (dell'ordine del diametro di un capello e anche meno) e che quindi nell'esperimento che sto loro proponendo può essere trascurato.

Finiamo la lettura di Ronchi analizzando la spiegazione che Alhazen dà per evitare che l'immagine risulti capovolta: egli ipotizza che il sensorio si trovi prima del punto di intersezione delle traiettorie dei raggi, laddove avviene il rovesciamento dell'immagine, ipotesi che si rivela errata e che ha tolto all'Alhazen il merito di aver dato la chiave del meccanismo della visione. Sottolineo che io, se mi metto nei panni di Alhazen, comprendo le sue enormi perplessità nell'aver scoperto l'immagine rovesciata (anche loro sono rimasti stupefatti che le immagini reali formate dagli specchi concavi fossero capovolte). In ogni modo, concordiamo con Ronchi che il contributo di Alhazen è stato di grandissimo valore:

- egli ha distrutto completamente la teoria dei raggi visuali (quella teoria che ancora forse permea le menti dei miei studenti)
- si afferma il concetto di **lumen** fisico come entità provocatrice della **lux**
- Nasce l'esigenza di dare una struttura a questo lumen.

Dal canto suo Alhazen suppone che il lumen sia costituito da piccoli proiettili, dotati di altissima velocità, capaci di riflettersi e di rifrangersi, descrivendo delle esperienze meccaniche macroscopiche per giustificare le proprietà del lumen.

E' giunto il momento di parlare di rifrazione. Tiro fuori la mia strumentazione domestico-artigianale, oggi corredata da un blocco di plexi-glass trasparente. Faccio incidere il fascio laser su di esso, diffondendolo su un foglio di carta bianca (nello specifico il retro di una circolare: sento qualcuno che dice che finalmente anche le circolari servono a qualcosa! Non raccolgo la polemica ma sostanzialmente concordo) facendo notare come il fascio si divida in due parti: un raggio di più debole intensità riflesso ed uno di intensità maggiore trasmesso all'interno del blocco. Anche senza un goniometro si osserva come il raggio trasmesso abbia una direzione diversa rispetto a quella del raggio incidente. In particolare tende ad avvicinarsi alla normale nel punto di incidenza. Se invece si fa partire il raggio di luce dal blocco, si osserva che al di sopra di un certo angolo di incidenza, si ha riflessione totale, ovvero il fascio rimane intrappolato all'interno del blocco (è il principio di funzionamento delle fibre ottiche). L'effetto è molto suggestivo, certo molto di più di quello che si ha guardando un disegno sul libro o sulla lavagna (i ganzooo e i boiaaaa si sprecano).

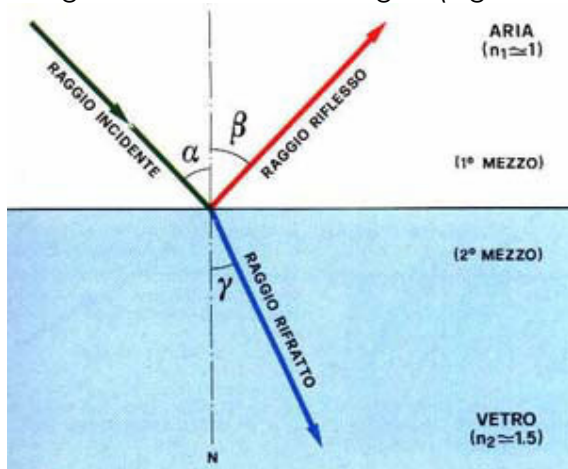


Fig.6: la rifrazione della luce

E' il momento di formalizzare quanto detto. Disegno alla lavagna la superficie di separazione tra due mezzi (es aria e vetro), il raggio incidente, quello riflesso e quello rifratto. L'analisi quantitativa sperimentale (che verrà effettuata in un secondo tempo in laboratorio), mostra che per piccoli valori dell'angolo di incidenza (dell'ordine di pochi gradi), si possa assumere una relazione di proporzionalità tra l'angolo di incidenza e quello di rifrazione (sottolineo il contributo di Cartesio alla deduzione della legge): $i = kr$, mentre per ampiezze maggiori la relazione di proporzionalità non è più verificata. Proprio Cartesio stabilì quale fosse il legame tra i e r , formulando la sua famosa legge: $\frac{\sin i}{\sin r} = k = n_{21}$; ciò che risulta costante e viene chiamato indice di

rifrazione del secondo mezzo rispetto al primo n_{21} è il rapporto tra seni degli angoli i e r . Faccio notare, attraverso prove con la calcolatrice, come effettivamente per angoli piccoli, questa legge possa essere sostituita con $i=kr$, visto che il seno può essere approssimato con l'angolo corrispondente (purché esso sia espresso in radianti). Ai miei studenti piace molto effettuare prove con la calcolatrice! Mentre proseguiranno gli studi avranno modo di comprendere meglio quello che voglio dirgli. A questo punto sfruttiamo il principio di invertibilità del cammino luminoso, per mostrare l'esistenza dell'angolo limite nel mezzo più rifrangente (ossia quello in cui il raggio tende ad avvicinarsi alla normale), che corrisponde ad un angolo nell'altro mezzo di 90° . Superato il valore dell'angolo limite si ottiene il curioso fenomeno della riflessione totale; la superficie di separazione si comporta come fosse uno specchio per i raggi incidenti. Ciò che prevede la legge di Cartesio-Snell è confermato in natura. Ma perché nella legge compaiono proprio i seni degli angoli? E questo indice di rifrazione che cos'è di preciso? Faccio notare che un meccanismo analogo a quello che abbiamo visto per la luce valga per la trasmissione dei segnali elettromagnetici tra due punti della terra molto distanti tra loro. Il segnale inviato dal trasmettitore viene riflesso dalla ionosfera e rinviato verso il ricevitore. Ma allora la luce è davvero un'onda elettromagnetica? **Ma che cos'è un'onda elettromagnetica?** Si può parlare di cose di cui non sappiamo quasi nulla? Spiego alla classe come la penso io. Voler comprendere tutto su un dato argomento è impossibile, non ci si riesce nemmeno dopo tanti anni di duro studio e riflessioni. L'importante è riuscire a capire quanto davvero si sa perché si è capito autonomamente e quanto invece si crede di sapere, perché qualcuno ce l'ha detto dogmaticamente, o lo abbiamo letto, o peggio ancora lo abbiamo sentito alla televisione. E in fondo se mi chiedono che cos'è un'onda elettromagnetica la definizione più precisa e completa è **la soluzione di un'equazione differenziale!** Se riuscirò un giorno a trovare una definizione significativa, non divulgativa o informativa, adatta a ragazzi di 15 anni, allora varrà la pena di costruire questo concetto insieme a loro.

Martedì 11 marzo

Considerazioni e riflessioni sul test d'ingresso

Ci sono stati dei problemi nella classe, che non riguardano me personalmente né tanto meno la mia materia, ma inevitabilmente devo spendere un po' di tempo a colloquiare con loro di argomenti extra-curricolari. Lo faccio in un modo particolare, decidendo di farmi fare un resoconto da Cioppa, rappresentante di classe, peraltro assente al test sulle rappresentazioni mentali. Siccome l'ho riguardato attentamente (e ho avuto delle belle sorprese), voglio discuterne un po' con tutta la classe tramite il

Cioppa, che così avrà modo di riflettere anche lui su questi argomenti. Riporterò qui solo ciò che riguarda l'argomento luce, ma il problema che è sorto rischia di cambiare l'atmosfera: forse si è rotto qualcosa. Il fatto che più mi ha sorpreso nel correggere il test, consegnato in forma anonima, è che non sono riuscita a ritrovarci le caratteristiche di ogni singolo studente; non c'è qualche elaborato fatto in modo particolarmente migliore di altri, come invece sarebbe successo con un test di tipo tradizionale; quasi tutti invece mostrano in certi casi di aver apparentemente elaborato degli schemi coerenti con il modello accreditato (come ad esempio per il processo di diffusione o per le ombre), mentre in altri prevalgono concezioni difformi. Il linguaggio è ancora impreciso, ma non artefatto. Ognuno cerca di esprimere il proprio pensiero, anche se qualcuno un po' più svogliatamente di altri. Ci sono comunque dei test totalmente intrisi di schemi di senso comune **Mi chiedo davvero che senso abbia affrontare un argomento alla maniera dei libri di testo.** Quando riusciremo a capire che ignorare le difficoltà dei nostri studenti annulla totalmente l'efficacia del nostro lavoro? L'esser convinta di questo mi aiuta a superare la fatica di aver tentato altre vie, più scientifiche anche nella metodologia, ma che richiedono uno sforzo ed una preparazione pedagogica ed epistemologica che forse ancora troppi colleghi ignorano sia così necessaria.

Il Cioppa ha le idee abbastanza chiare e si esprime con buona proprietà di linguaggio. Sembra che molti, più o meno esplicitamente, pensino che per la visione di un oggetto sia necessario che all'occhio provengano anche i raggi della sorgente, cioè hanno in qualche modo preso alla lettera lo schema sorgente-oggetto-ricevitore. C'è chi pensa che la luce della candela rimanga abbastanza localizzata attorno ad essa, che una luce più intensa annulli l'effetto di una più debole, alla domanda sullo Specchio anche il Cioppa sbaglia, pensando di vedere, mettendosi in una posizione opportuna, di vedere un puntino luminoso sullo specchio. Discutiamo ampiamente; tutti adesso sembrano convinti. Ma sarà vero? Decido di riprendere l'argomento rifrazione, anche perché alcuni studenti mi avevano chiesto di riprendere la legge di Snell, non avendo capito bene che cosa sia l'indice di rifrazione (mi sembra normale). Per ora questi numeri non sono altro che costanti di proporzionalità in una legge dei seni ricavabile empiricamente (e lo faremo anche noi in una prossima seduta di laboratorio). Sottolineo però come questi numeri siano indicatori di una interazione tra la luce e la materia (e nel caso specifico con materiali trasparenti). Non ho tempo di aggiungere altro perché è suonata la campanella. Assegno alcuni semplici esercizi.

Mercoledì 12 marzo

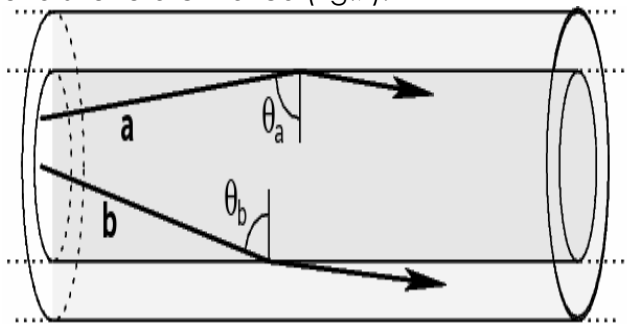
La rifrangenza dei materiali

Funzionamento qualitativo di una fibra ottica

Primi cenni sul problema dei colori

Gli esercizi assegnati non hanno creato nessun tipo di problema. Devo interrogare il Grassi, perché altrimenti non possiedo un voto ufficiale per la valutazione interperiodale. Lo faccio velocemente per dovere d'ufficio. Poi continuo la nostra discussione sulla rifrazione. Cataloghiamo i materiali in base alla loro rifrangenza, ovvero alla loro capacità di deviare un fascio di luce rispetto alla direzione che aveva prima di incontrare tale materiale. Commentiamo e confrontiamo i valori degli indici di rifrazione dei materiali trasparenti, come l'acqua, il vetro, la glicerina ecc. Definisco correttamente l'angolo limite e calcoliamo l'angolo limite del vetro ordinario (42°). Ciò mi permette di introdurre i prismi a riflessione totale mostrando come questa sia perfettamente prevedibile con il modello geometrico adottato. I ragazzi sono piuttosto attenti. Sciara mi chiede che cosa succede se il fascio colpisce il prisma sullo spigolo (è l'unico punto in cui non risulta ben definita la normale). Negli esempi che faccio,

spesso ho bisogno di arricchire il modello, introducendo concetti quali di energia e di intensità di energia. Dovrò prima o poi farlo con il rigore necessario. Per ora mi limito a mostrare gli evidenti limiti di un modello puramente geometrico (che ad esempio non riesce a rispondere precisamente alla domanda di Sciara, che ho tentato di rassicurare invitandolo a pensare al raggio sottile, ma di spessore finito), che comunque ci ha condotto ad una discreta comprensione di discreto numero di fenomeni fisici, anche strettamente collegati alla tecnologia più avanzata, perché ho intenzione di introdurre i primi elementi della teoria della propagazione guidata in fibra ottica. Qualcuno parla vagamente del fenomeno della dispersione e quindi entriamo nel nodo concettuale dei colori, che finora avevo consapevolmente invitato. Devo dire che su questo argomento conto molto su un'interazione positiva con l'insegnante di storia dell'arte, che dovrebbe aver lavorato bene sugli aspetti percettivi. Spiego allora come la luce del sole e di molte altre sorgenti (ma non ad esempio del laser, che rappresenta in questo una preziosa eccezione) sia in realtà fatta di tante componenti (Cioppa suggerisce la parola entità e gliela concedo) che noi percepiamo, quando giungono al nostro occhio, come colori. Ogni componente manifesta un diverso modo di interagire con un materiale come il vetro e questa modalità si manifesta attraverso un diverso indice di rifrazione; il risultato è il fenomeno della dispersione, così bello da vedere (ma così di disturbo ad esempio nei fenomeni di trasmissione di segnali ottici). Salta fuori anche la copertina del disco "The dark side of the moon"; mi chiedono dove si possa acquistare un prisma (evidentemente hanno deciso di non accontentarsi di vederlo in laboratorio); accenno alla mia esperienza personale, quando preparavo la tesi di Ottica, come studentessa di Fisica a Firenze, di aver ordinato delle lenti in un'officina artigianale, alle porte della città. Non credo che a Livorno ci possa essere qualcosa di simile. Voglio spiegare come funziona una fibra ottica, ora che hanno compreso il meccanismo della riflessione totale. Introduco gli elementi essenziali (nucleo e mantello, introducendo anche la terminologia inglese core e cladding) e faccio vedere come sia possibile intrappolare un raggio di luce in una struttura cilindrica (fig.7).



*Riflessione totale interna (a) e rifrazione esterna (b)
per due fasci luminosi in una fibra ottica.*

Fig.7: propagazione guidata in una fibra ottica.

Ho intenzione di introdurre anche il concetto di apertura numerica, ma solo dopo avergli fatto vedere (meno male che c'è la diffusione) come sia divertente intrappolare la luce dentro una struttura piccola come una fibra ottica. Tornare a divertirsi con la Scienza. Questo è quello che voglio fare con i miei studenti; questo è ciò che è possibile fare a tutte le età, condividendo un modello interpretativo adatto alla loro età evolutiva. Lo schema geometrico è proponibile, nella sua essenzialità, anche nella scuola di base. Raggi che rimbalzano da un lato all'altro sono lo schema di base della propagazione in fibra ottica. Mi spiace un po' non poterli

accompagnare a Milano (e nemmeno a Firenze), in uno dei percorsi sulla luce, dove li avrei visti davvero sbizzarrirsi. Ma i fatti successi mi obbligano a decidere per il non accompagnarli, ho spiegato alla classe come, dopo ciò che è successo, ritenessi aberrante condurli in un viaggio d'istruzione. Naturalmente ho spiegato il significato ottico di aberrazione sferica, che si verifica ogni qual volta le condizioni si allontanano dalle approssimazioni di Gauss. E' un argomento che ci tornerà comodo quando affronteremo il comportamento delle lenti. Credo sia arrivato anche il momento di riprendere la lettura di Vasco Ronchi. Ma le verifiche incombono. So che i ragazzi alla fine non si sentiranno sufficientemente preparati se non passiamo un po' di tempo a risolvere problemi insieme. Non è una fase puramente addestrativa. Ragioniamo e non solo di matematica. Vengono fuori molto spesso frasi del tipo "cosa succederebbe se...", che di solito sono molto stimolanti anche per me.

Venerdì 14 Marzo

La rifrazione in laboratorio: analisi quantitativa

Oggi siamo stati in laboratorio. Avevo concordato con Mauro Perossini qualcosa sulla rifrazione. Sono stata più che accontentata, ma anche la classe è rimasta totalmente entusiasta. Nell'aula di laboratorio in cui facciamo esperienze sulla luce era stato approntato un banco su cui montato vi erano:

- una sorgente luminosa (lampadina),
- doppia fenditura con filtri per colorare i pennelli luminosi
- schermo verticale diffondente con goniometro per la misura degli angoli e supporto rotante per contenere vari componenti ottici. Il tutto, già interessante di per se, ripreso da una telecamera digitale e proiettato sul muro, per essere al meglio fruibile dagli studenti.

I ragazzi sono ben attenti: dovranno anche raccogliere su una tabella, misure degli angoli di incidenza e rifrazione per un blocco di plexiglass di forma semicilindrica (queste misure saranno corredate da foto), per misurare l'indice di rifrazione del materiale, nonché verificare la Legge di Snell.

L'effetto sul muro è davvero suggestivo (riusciremo a farlo vedere ai corsisti?). Si comincia da uno specchio piano (ma devono scoprirlo i studenti di che cosa si tratta). Si passa agli specchi sferici, il concavo, in cui viene individuata la zona focale. Ciò mi permette di reintrodurre le approssimazioni di Gauss e il fenomeno dell'aberrazione quando queste non sono molto soddisfatte. Si fa vedere come un fascio di raggi non paralleli all'asse ottico converga in un'altra zona, e introduco il concetto di piano focale. Nei fuochi non principali il fenomeno dell'aberrazione sferica è ben evidente. La Catarsi sembra finalmente interessata come ai vecchi tempi. E' la volta dello specchio convesso, con i raggi divergenti, ma visibilmente i loro prolungamenti convergono dall'altra parte dello specchio, nel fuoco virtuale.

Comincia adesso la parte quantitativa vera e propria: la misura di i e r per il semi-cilindro di plexi-glass. Si comincia per angoli piccoli; si cerca di valutare le incertezze sugli angoli (a cui concorre lo spessore finito del raggio). Si nota anche il debole raggio riflesso (all'incirca il 5% dell'intensità incidente) verificando contemporaneamente la legge della riflessione. Si arriva alla determinazione dell'angolo limite. Chiedo di valutare l'indice di rifrazione dalla misura dell'angolo limite. Tutti i gruppi lavorano con la calcolatrice. Milani è come al solito il più rapido a fornire il risultato, che è ragionevolmente corretto. Si ruota il disco, per studiare sperimentalmente il principio d'invertibilità del cammino luminoso e ammirare il fenomeno della riflessione totale.

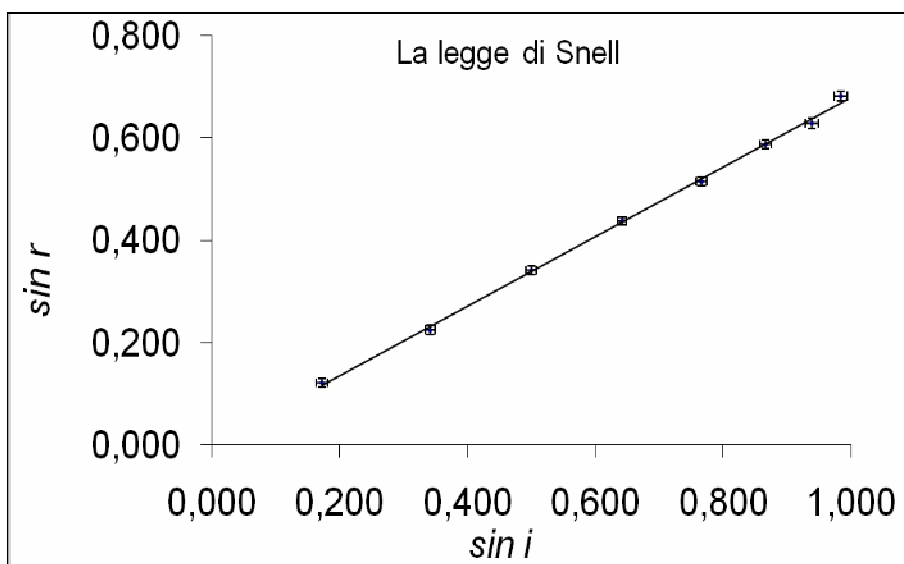
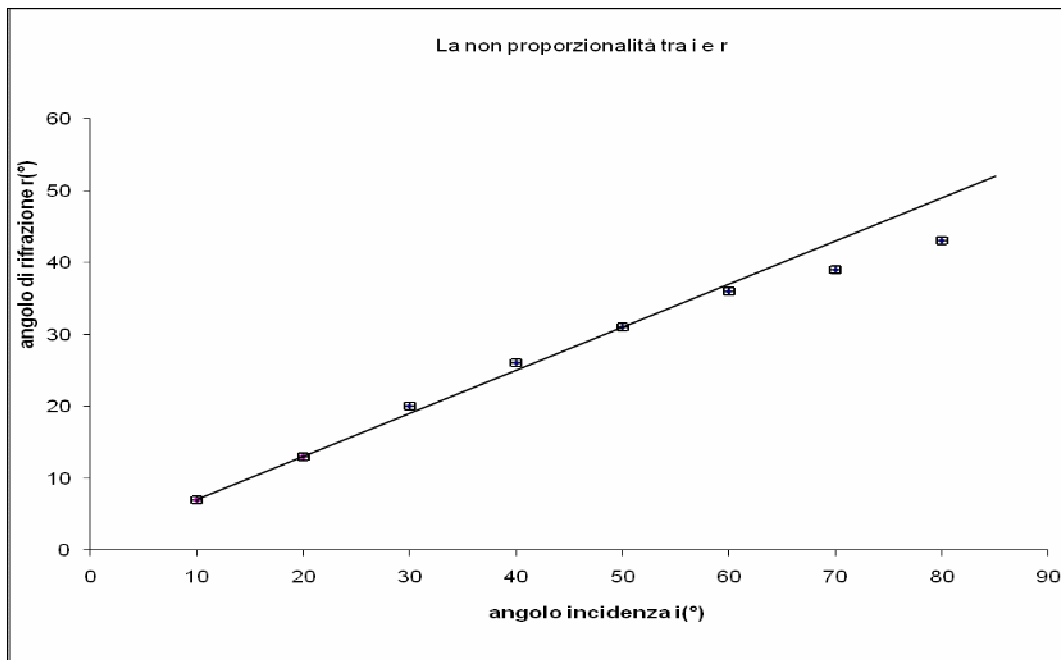
Continuiamo con l'analisi del prisma a riflessione totale, cioè con base a triangolo rettangolo isoscele. Facciamo incidere inizialmente il fascio perpendicolarmente all'ipotenusa. Il fascio torna indietro in posizione traslata. Chiedo di spiegare perché. Mi

risponde correttamente la Catarsi. Il Tognotti chiede dove si può acquistare il kit dei componenti ottici e se sono costosi; ne faccio girare alcuni tra i banchi da laboratorio, facendo osservare quanto sono lisce le superfici ottiche (quelle in cui deve incidere il fascio) rispetto alle altre; facciamo dunque piegare il fascio di 90° (nello specifico verso l'alto) facendolo incidere perpendicolarmente ad un cateto della base del prisma. Faccio notare come in queste situazioni la superficie del materiale trasparente si comporti come uno specchio perfetto. **Non è incredibile?** No, è prevedibile dalla legge di Snell, che comunque nella nostra trattazione rimane una legge empirica. Il Perossini sottolinea come, se si supera l'angolo limite, l'occhio, che prima riusciva a vedere la sorgente, non riesce a vedere più niente. Non tutta la classe si sa dare una spiegazione a questo fenomeno; l'idea che l'occhio, di fronte ad una superficie trasparente, non riesca a vedere la sorgente che è dietro, risulta intollerabile. Ecco di nuovo che ritornano a galla gli schemi di senso comune. **Ma se il raggio non arriva all'occhio, e non arriva a causa della riflessione totale, come può l'occhio vedere?**

Si interpreta poi la doppia rifrazione da parte di una lastra a facce piane e parallele, dove il raggio emergente è traslato rispetto a quello incidente. I ragazzi vorrebbero osservare la dispersione, vogliono scomporre la luce nei suoi colori. Ma lo vedranno un'altra volta. Perché è il momento di introdurre le lenti; mi viene da raccontargli la storia delle lenti storiche, cioè del fatto che il potere di una lente di concentrare i raggi provenienti dal sole era noto fin dall'antica Grecia⁵; questo fatto, rimanendo inspiegabile per quasi due millenni, aveva reso le lenti non degne di essere studiate scientificamente, e ciò accadde ancor di più quando si scoprì che ingrandivano o rimpicciolivano le dimensioni degli oggetti, ovvero distorcevano la realtà. Molti di loro sorridono del fatto; hanno capito che ignorare il comportamento della lente mascherava l'incompetenza degli scienziati di allora, che preferivano non parlarne piuttosto che manifestare in pubblico la propria ignoranza. Questo è ciò che Vasco Ronchi, nella sua Opera "Storia della Luce", mostra di aver scoperto nelle sue lunghe ricerche; questo è ciò che molti dei miei studenti hanno appreso autonomamente durante questo percorso. Sono soddisfatta.

Analizziamo le proprietà principali delle lenti convergenti e divergenti, mostrando come le prime, al contrario delle seconde, siano più spesse al centro che alla periferia.

Il Perossini ci mostra poi altri tipi di lenti di vetro che il nostro laboratorio possiede e fa vedere come si possa formare l'immagine di una zona lontana (un albero del nostro cortile) con una lente **convergente, mentre ciò non è possibile con quella divergente. L'immagine dell'albero è nitida, naturalmente** capovolta. Laricchia è stupito che sia a colori (qualcun altro si era stupito la volta precedente); si sta confondendo con le ombre. I ragazzi tastano le lenti, verificano la proprietà che ho precedentemente enunciato. Poi a certo punto qualcuno parla di fibre ottiche. I ragazzi sanno che me ne sono occupata da giovane laureata e mi chiedono informazioni. Vogliono sapere quanto ero esperta. Racconto che, nonostante non debbano pensare che abbia scoperto chissà quali cose, indubbiamente a suo tempo (e tengo a precisare che non era il giurassico) ero considerata un'esperta. La campanella è suonata da un pezzo, sollecito la classe a tornare diligentemente (si fa per dire) verso la propria aula, dove l'insegnante di lettere li sta aspettando.



Grafici sperimentali ottenuti in laboratorio (materiale: plexiglass)

Martedì 18 Marzo

Riflessioni e considerazioni sulla legge di Snell

Oggi è l'ultimo giorno che vedo la classe prima delle vacanze. Domani avremmo dovuto fare la verifica, ma c'è assemblea d'istituto. Lo rimandiamo a mercoledì prossimo. Comunico alla classe che la verifica scritta sarà fatta da: a) un esercizio sugli specchi, che comprenderà l'applicazione dei punti coniugati e la costruzione grafica dell'immagine, b) un esercizio sulla rifrazione, c) una domanda a risposta aperta sulla storia della luce, dai greci fino alla teoria di Alhazen. Dobbiamo fare alcuni esercizi, soprattutto sulla legge della rifrazione, che è stata abbastanza sviscerata dal punto di vista sperimentale, ma applicata poco. Chiamo Rognoni e Milani. Voglio che Rognoni enunci e scriva la legge di Snell, ma non ha studiato e afferma una generica legge di proporzionalità diretta tra i e r . Andiamo bene....Milani è più preciso, enuncia e scrive bene la legge. La Catarsi mi dice che fa un po' di confusione ad applicare la legge, non sapendo bene quale sia il mezzo 1

e il 2 negli esempi concreti. Faccio notare che, data l'invertibilità del cammino luminoso, anche la legge risulta reversibile. Viste queste perplessità, mostrate anche da studentesse così brave, mi rendo conto che adesso ci dobbiamo dedicare un po' seriamente alla parte applicativa e riscrivo la legge nel seguente modo: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \vartheta_2 = \text{costante}$, con gli angoli che sono quelli che il raggio forma con la normale alla superficie nel punto di incidenza. La legge diventa quindi una sorta di principio di conservazione e forse adesso la sua applicazione diventa meno problematica. Molti studenti la interpretano come una nuova legge, quindi spendo un po' di tempo per discutere con loro che ciò non è, richiamandomi ai principi delle uguaglianze. Sottolineo poi come noi l'abbiamo ricavata empiricamente, come fece a suo tempo Cartesio, senza che però si sia stabilito un fondamento teorico; cioè non possiamo ancora rispondere a domande del tipo: **perché nella legge compaiono i seni degli angoli?** Forse questa domanda non ha nemmeno tanto senso, però con il superamento del modello geometrico si scopre ad esempio che questa è una proprietà comune a tutte le onde. Ma non è giunto ancora il momento. Ci dedichiamo all'applicazione della legge con semplici problemi sull'angolo limite. La Serrano è tranquillizzata dalla semplicità degli esercizi. Parliamo allora delle applicazioni della riflessione totale (prismi, fibre ottiche). Avevo promesso di portargli una fibra ottica e il Paoletti me lo fa notare. Non ce l'ho e quindi compenso con qualche informazione sulle fibre a cui i ragazzi sembrano particolarmente interessati. Il Cioppa racconta che ha letto che presto le fibre ottiche verranno soppiantate con sistemi diversi di trasmissione. Questo mi consente di aprire una parentesi sulle molteplici applicazioni delle fibre, dalla sensoristica a tutto campo (ambiente, medicina, sicurezza) alle applicazioni industriali, alle telecomunicazioni (che è quella più nota) e perché no, ai complementi d'arredo. Concludo mitigando l'affermazione di Cioppa: è auspicabile che, visto che il cablaggio a f.o. non è nemmeno definitivamente concluso, non si pensi troppo presto a soppiantarli. Analizziamo il fenomeno della riflessione totale in acqua, risolvendo un esercizio e osservando come la profondità di un fondale marino sembri minore, se vista da fuori, e di come un subacqueo possa vedere l'immagine di un pesce, riflessa sulla superficie. Facciamo un interessante esercizio sull'ombra proiettata da un palo sul fondo di una piscina, che richiede un po' di ripasso di trigonometria. Il Cioppa, che è rappresentante di classe, viene invitato ad andare in segreteria didattica, ma preferisce rimanere in classe: l'esercizio è interessante e la segreteria può attendere. La Serrano, sempre apprensiva, ora afferma che gli esercizi diventano abbastanza difficili. Sento di avere il pieno controllo della classe, sono soddisfatta di me e di loro; i problemi che ci sono stati tra di loro spero stiano per finire. La Catarsi è di nuovo interessata come ai vecchi tempi. Assegno un certo numero di esercizi da svolgere, raccomandando di rileggere attentamente la prima parte delle pagine di Ronchi, anzi di proseguire anche autonomamente nella lettura di alcune pagine successive (in teoria è la seconda volta). Suona la campanella, sto per andarmene e la Catarsi mi consegna il suo quaderno sulla gravitazione, che avevo chiesto un bel po' di tempo or sono. Si è decisa, finalmente...oggi non poteva andare meglio. Nel frattempo Tognoni e Milani vogliono sapere come è andata la loro "performance"; è un mio grave difetto dimenticarmi di gratificare i ragazzi che si impegnano in prima persona e mi aiutano ad orchestrare il lavoro con la classe. Lo faccio con tutti e due, il Tognoni mi assicura che ripasserà tutto per arrivare al meglio nella verifica. Buona Pasqua.

Mercoledì 26 marzo

Verifica scritta

Oggi compito in classe. L'elaborato consiste di:

- a) un esercizio sugli specchi concavi (legge dei punti coniugati e ingrandimento) con costruzione grafica dell'immagine;

- b) un esercizio sulla rifrazione e dispersione della luce, con applicazioni della trigonometria, oltre a naturalmente la legge di Snell.
- c) Due domande che riporto testualmente: 1) Spiega secondo te quali sono i principali elementi di innovazione della teoria di Alhazen rispetto a quella dei raggi visuali. Quale ostacolo Alhazen non riesce a superare? 2) Spiega perché Vasco Ronchi, ossia uno scienziato moderno, ritiene così importante studiare le antiche teorie.

I ragazzi sono parecchio tranquilli e concentrati. Dedicano un bel po' di tempo alle domande teoriche e questo mi fa piacere. Naturalmente mi fanno un sacco di domande per chiarirsi le idee. Ne riporto alcune:

Catarsi: mi chiede se può descrivere brevemente la teoria dei raggi visuali per rispondere meglio alla domanda 1)

Bastianoni: visto che ha studiato parecchio (sostiene lei) chiede se può concentrarsi in particolar modo sulle domande.

Campana: vuole sapere il plurale di eidola (purtroppo non so rispondergli)

Cioppa: vuole commentare personalmente le idee di Vasco Ronchi (gli dico che è quello che avrei voluto e non osavo chiedere).

Tutti mi chiedono chiarimenti e suggerimenti sulla terminologia (es Catarsi: si può dire che una teoria è vera? E virgoletta con un gesto la parola vera)

Speriamo bene. Mi aspetta una correzione interessante dei loro prodotti.

Venerdì 28 Marzo

Teoria delle lenti sottili

Storia della scienza: l'ostracismo delle lenti

Ho la classe dimezzata perché ci sono le gare matematiche di Kangourou e molti alunni della seconda D hanno deciso di parteciparvi. In effetti alcuni di loro sono molto bravi. Questa è una delle classi migliori dell'istituto, quelle per cui una volta si sarebbe detto "promette bene", mentre adesso possiamo solo sperare che nel corso degli anni non si sciupino più di tanto.

Ho deciso di fargli un po' la teoria delle lenti sottili. Rammento la distinzione tra lenti convergenti e divergenti e la caratteristica che le contraddistingue (in laboratorio le hanno toccate, per verificare ad esempio che le lenti convergenti sono più spesse al centro che alla periferia). Il funzionamento di base lo hanno già visto in laboratorio e quindi non mi resta che dimostrarli la legge dei punti coniugati, a partire dall'esistenza del fuoco. I calcoli da eseguire sono molto simili a quelli già effettuati per gli specchi e quindi apparentemente mi seguono tutti con scioltezza. Mi dicono che con il professore di Scienze hanno cominciato a lavorare sul funzionamento dell'occhio. Nel mentre eseguo calcoli, trovo l'ingrandimento e così via, parlo di come questi risultati valgano in prima approssimazione, nell'ipotesi di lente sottile e nelle approssimazioni di Gauss. Se tutto ciò non è soddisfatto allora ci sono le aberrazioni delle lenti: la posizione del fuoco risulta non in un punto ma in una zona (aberrazione sferica) e in realtà si trova un fuoco per ogni colore della luce. I colori risultano sempre molto interessanti per tutta la classe, ma ancora ne abbiamo parlato molto poco. Avrei voluto volentieri introdurglieli con l'esperienza delle ombre colorate e per questo li avrei dovuti portare al Museo della Scienza a Milano (oggi); ma alcuni problemi sorti all'interno della classe hanno fatto decidere a C.d.C di annullare il viaggio di istruzione suddetto. Abbiamo già parlato del fenomeno della dispersione della luce ovvero del fatto che un raggio di luce bianca, quando viene rifratto, si scompone in tanti raggi di vari colori che vanno dal rosso al violetto. Ma insisto nel dire che i colori sono il risultato della nostra interpretazione visiva e sono una cosa terribilmente soggettiva, tant'è che

non esiste una branca della fisica che sia riuscita a quantificare i colori (ci sono delle pagine di Ronchi che in questo proposito sono illuminanti e devo rivederle per estrarre qualche concetto interessante per la classe). E' piuttosto meglio parlare della luce come fatta da tante componenti, che corrispondono a ciò che noi percepiamo come colori, e ogni componente interagisce con i materiali trasparenti in modo diverso, ovvero attraverso un indice di rifrazione di valore leggermente diverso: ecco che allora si osserva il fenomeno della dispersione. Questi argomenti affascinano molto la classe anche se si rischia sempre di uscire un po' dal seminato. Il Cini mi chiede come funziona un ologramma e arranco una risposta piuttosto generica (in realtà so come funziona ma non sono in grado di spiegarlo al loro livello: ci vuole il concetto di interferenza che sfugge alla teoria dei raggi); questo mi permette ancora una volta di far vedere come la teoria dei raggi, che funziona bene per descrivere molti fenomeni, risulti inadeguata per altri. Finisco la lezione con l'esempio fatto da Ronchi⁴: quasi tutti credono che ciò che vediamo davanti a noi continui ad esistere, proprio come lo vediamo, anche una volta che si chiuda gli occhi. Questo è contemporaneamente ovvio e sorprendente: quando noi chiudiamo gli occhi le cose intorno a noi non spariscono certamente, ma cessano di essere quello che apparivano, perchè non c'è più interazione tra il nostro occhio e la luce che esse ci inviano.

Venerdì 4 Aprile

Discussione sulla verifica scritta

Ancora sul problema della diffusione

Ho corretto i compiti di questa classe e sono andati molto bene. Gli esercizi applicativi erano abbastanza semplici, ma soprattutto sono soddisfatta delle risposte alle domande teoriche. Leggiamo insieme alcune delle loro risposte, quelle di Tognoni e di Tognotti mi sembrano particolarmente significative. Il confronto tra la teoria dei raggi visuali e quella di Alhazen è scritto molto chiaramente da Tognoni, mentre Tognotti in modo molto sintetico ha espresso un pensiero profondo sull'importanza delle teorie antiche. In generale le risposte sono qualitativamente buone per tutta la classe, anche se rimane ancora evidente il divario tra chi ha studiato approfonditamente e chi invece ha affrontato anche questo argomento in modo più superficiale. Nella seconda metà dell'ora andiamo in laboratorio a vedere un filmato di ottica a cura del PSSC. I ragazzi sono molto attenti, benché quasi tutti gli argomenti affrontati dal film siano di loro conoscenza. Osservo che l'insegnante del PSSC cura abbastanza approfonditamente il fenomeno della diffusione, mostrando che, in assenza di essa, i fasci di luce non possono essere osservati perché nessun raggio arriva ai nostri occhi.

Mi domando perché queste riflessioni preziose, indispensabili per una buona comprensione dei fenomeni luminosi, non siano più presenti nei libri di testo moderni.

Sottolineo come negli anni '50, epoca in cui sono stati girati i film PSSC, non esistessero ancora le sorgenti laser. Il film parla anche dei fenomeni della diffrazione e dell'interferenza, in modo molto qualitativo, e di come tali comportamenti della luce non possano essere interpretati nell'ambito dell'ottica per raggi. Questo ci permette di riflettere sul modello adottato, eccessivamente semplificato per poter spiegare tali fenomeni ed anche inadatto per poter parlare di energia luminosa. Quindi introduco, molto qualitativamente il comportamento delle onde: con l'ottica ondulatoria tali fenomeni, compreso il trasporto dell'energia, trovano una giusta collocazione e interpretazione teorica. Infine riproduciamo sperimentalmente i fenomeni di diffrazione e interferenza con un laser He-Ne di 1 mW di potenza. Allo scopo analizziamo la diffrazione di un capello di una piccola fenditura. I ragazzi mi chiedono informazioni sulla potenza dei laser e quindi faccio una breve digressione. Il tempo come al solito

scorre molto velocemente (almeno per me e spero anche per i miei studenti) e non sentiamo la campanella che è già suonata.

Martedì 8 Aprile

La camera oscura

Esperienze qualitative con le fibre ottiche

Oggi ho portato in classe una "camera oscura" fatta in casa (in realtà fa parte di un kit che ho acquistato al museo della Scienza di Londra per Pasqua). Nonostante la semplicità dei materiali, l'effetto è molto suggestivo e i ragazzi si divertono a formare immagini capovolte di qualsiasi cosa, meravigliandosi ed entusiasmandosi. Al posto del foro c'è in realtà una lente convergente ma i ragazzi sono in grado di capire che la lente serve solo a concentrare maggiormente i raggi; comunque "l'apparato" può essere considerato anche un modello rudimentale dell'occhio e quindi può offrire più di uno spunto di riflessione. I ragazzi sono comunque meravigliati di come l'immagine sia colorata e non è la prima volta che questo succede. Parliamo un po' dell'occhio come sistema ottico, l'argomento dovrebbero affrontarlo anche a Scienze, ci ritorneremo un po' più sistematicamente. Voglio fargli vedere una lente d'ingrandimento, di come riesca, aumentando l'angolo visuale, a formare un'immagine dell'oggetto in cui sono maggiormente visibili i dettagli. Propongo di osservare il proprio dito. Si sprecano i commenti. Con il laserino tascabile faccio vedere la zona focale, dove lo spot del laser diventa sempre più piccolo per poi tornare ad allargarsi. Il fuoco è molto vicino alla faccia della lente, segno di una distanza focale molto piccola. In una lezione successiva deriveremo le proprietà di una lente d'ingrandimento a partire dalla legge sui punti coniugati. Oggi voglio sbizzarrirmi dal punto di vista sperimentale. Tiro fuori una fibra ottica di cui abbiamo già parlato, a proposito del fenomeno della riflessione totale. Illumino una sua estremità con il laser ed osserviamo il fascio divergente in uscita. I ragazzi sono stupefatti, anche se molti di loro hanno già visto le fibre ottiche nelle lampade per arredamento. Ricordo loro le molteplici applicazioni delle fibre nelle telecomunicazioni, nella medicina e nella sensoristica in generale e nell'industria. E' arrivato il momento di ripassare ed approfondire il meccanismo di propagazione della luce in una fibra ottica. Anche per rispolverare la nozione di angolo limite, che dipende dagli indici di rifrazione dei due mezzi (core e cladding nel caso delle f.o.); fornisco alcune informazioni tecniche (materiali, dimensioni delle fibre, metodi di mescolamento dei modi) e introduco il concetto di apertura numerica, come l'angolo di incidenza massimo che può avere un raggio affinché possa essere guidato in fibra. Facciamo un esercizio e l'intera classe sembra interessata alla faccenda. Sono abbastanza soddisfatta. Nell'ultima parte propongo a loro di cominciare a pensare ai vari ruoli che ognuno ricoprirà in un eventuale workshop per i genitori. Avrei intenzione di formare un gruppo che si occuperà della storia della luce, un altro dovrebbe illustrare degli esperimenti esemplari, suddivisi in: specchi, lenti, propagazione, diffusione. I ragazzi sono convinti che ciò possa interessare molto i loro genitori. E' una speranza che nutro anch'io.



Camera oscura costruita dallo studente Lorenzo Iacoponi

Venerdì 12 Aprile

Approfondimenti sui concetti di lux e lumen

I ragazzi mi chiedono alcuni chiarimenti su quello che dovranno fare e come lo dovranno fare per i loro genitori e io fornisco alcuni spunti. Dovranno far capire perché è così importante l'insegnamento degli antichi, perché oggi giorno è possibile capire abbastanza rapidamente ciò che invece ha richiesto secoli e secoli di riflessione. E per questo che presenteranno un po' la storia della luce, in modo il meno possibile noioso, Magari con l'incursione di qualche effetto speciale, tipo il fascio laser. Potrebbe formarsi anche il gruppo che si interessa di teoria (vedo il Cioppa interessato) anche se, faccio notare che la matematizzazione è sempre molto ostica, soprattutto per un pubblico di non addetti ai lavori. Il terzo gruppo invece illustrerà qualche esperimento, aiutato naturalmente dal ITP Mauro Perossini. Molti sono interessati, Tognotti, Toncelli, Maconi, Paletti e molti altri. Vedremo. Anche perché forse arriviamo a sfiorare anche un po' di Ottica ondulatoria e quindi il "parco" delle esperienze potrebbe allargarsi. Propongo quindi di continuare a pensarci su e ogni volta che ci vediamo possiamo fare anche il punto della situazione. Adesso propongo invece di immergersi nella lettura delle pagine di Vasco Ronchi, che da un po' di tempo abbiamo trascurato. Siamo nei secoli XII XIII, la teoria dei raggi visuali ha finalmente perso ogni credito (sarà vero anche per i miei ragazzi?), il lumen come entità fisica ormai è un dato di fatto e si cerca di darne una struttura (già l'Alhazen ci aveva provato, parlando di proiettili). Naturalmente tutto l'interesse era concentrato soprattutto sui raggi solari, le fiamme avevano un interesse secondario. Si supponeva che i raggi bianchi e puri del sole colpissero gli oggetti provocandone l'emissione di "specie" dotate delle forme e dei colori dei corpi. Ci fermiamo a parlare come i colori invece facciano in qualche modo parte della luce e non dei corpi illuminati (le lunghezze d'onda di cui tutti i ragazzi parlano, essendo però veramente consapevoli di non saperne quasi niente), ma che

in ultima analisi siano una nostra rappresentazione del lumen, facciano cioè parte dei fantasmi che ci creiamo mentre vediamo, e che scompaiono quando chiudiamo gli occhi. Qui entra la fisiologia della retina e potrebbe essere un buon aggancio con le scienze. Chiedo ad esempio se potrebbero riuscire a far capire ai propri genitori fatti di questo tipo. Scherzo dicendo che se loro stessi sono abituati a parlare di scuola con i genitori allora tutto è un po' più facile. Continuiamo la lettura e si parla di lenti, che sebbene la loro proprietà di far convergere i raggi solari fosse nota fin dall'antica Grecia, sul loro funzionamento non se ne sapeva niente ed anzi si era creato una sorta di ostracismo nei confronti di esse, in quanto "ordigno ingannatore della vista". La spiegazione ufficiale era la seguente **"Scopo della vista è di conoscere la verità: Attraverso alle lenti di vetro si vedono delle figure più grandi o più piccole di quelle che si vedono ad occhio nudo, più vicine o più lontane, spesso capovolte, deformate, iridate. Dunque esse non fanno conoscere la verità. Esse ingannano e non vanno usate"**

Ma questo ostracismo non regge al secolo XVI. La filosofia classica entra in declino e quella naturale guadagna terreno di giorno in giorno. Si comincia ad indagare la natura, nasce il cannocchiale, costituito da due lenti (uno di questi giorni devo fare in dettaglio qualche strumento ottico), ma soprattutto Galileo comincia ad usarlo ed osa quindi affermare che è uno strumento di "giovamento inestimabile": nasce la scienza moderna ed anche l'ottica, con Keplero e successivamente con Newton, conosce finalmente il suo splendore.

Mercoledì 16 Aprile

Approfondimenti sulle lenti sottili

Riprendo in mano la teoria delle lenti sottili, analizziamo sia il caso di lenti convergenti che divergenti. Faccio qualche costruzione dell'immagine alla lavagna. Illustro il principio di funzionamento della lente di ingrandimento, facendo notare come, più che di un ingrandimento lineare si tratti di un ingrandimento angolare. L'angolo di visuale con cui vengono visti gli oggetti attraverso una lente di ingrandimento viene amplificato e ciò permette di apprezzare i dettagli dell'oggetto. Ho riportato in classe una lente d'ingrandimento per permettere ai ragazzi di osservare con i loro occhi quanto vado dicendo. Il calcolo dell'ingrandimento angolare è comunque piuttosto lungo e laborioso e i ragazzi mi seguono con un po' di fatica e con poco entusiasmo. Chiamo quindi il Prosperi e il Brinchi alla lavagna e propongo loro alcuni esercizi sulla rifrazione attraverso un prisma. C'è da applicare consapevolmente la legge di Snell. I ragazzi riprendono un po' del loro entusiasmo; altrimenti rischio di disabituarli a fare esercizi di tipo applicativo e tra pochi giorni ci sono i giochi di Anacleto, tipo olimpiadi di Fisica semplificate. I ragazzi ci tengono molto a partecipare a queste gare e soprattutto a non sfigurare (confesso che un po' ci tengo anch'io). In queste gare bisogna essere bravi a manipolare formule, oltre che naturalmente aver compreso un bel po' di principi della fisica. Annuncio alla classe che nelle prossime lezioni riprenderemo in mano anche il libro di Vasco Ronchi.

Martedì 22 Aprile

Keplero e la struttura del lumen

La teoria corpuscolare in embrione

Il contributo di Newton e le critiche di Ronchi

Leggiamo insieme le pagine di Ronchi sulla storia della luce. Ma mano che il tempo passa mi accordo che durante la lettura i ragazzi sono più attenti, meno facili alla distrazione e più partecipi in modo costruttivo (fanno osservazioni pertinenti, domande, chiedono chiarimenti etc). Si parla ancora della distinzione tra lux e lumen; mi sembra che molti studenti siano diventati consapevoli dell'importanza di aver chiara questa distinzione, per non confondersi tra luce (entità) e visione (processo del vedere). Siamo al tempo di Keplero e adesso l'esigenza sentita dagli uomini di scienza è quella di conferire una struttura al Lumen, cioè ipotizzarne la natura fisica. Si affaccia la seducente teoria corpuscolare, già in embrione con Alhazen, ma le obiezioni a cui si presta sono troppo gravi: **Come possono fasci di particelle incrociarsi senza disturbarsi? Come possono le particelle di luce attraversare materiali duri come il diamante, senza subire la minima alterazione?**

Alcuni scienziati allora, di fronte a queste domande imbarazzanti, riprendono l'idea che la luce sia analoga al suono: viene lanciata l'idea che il lumen sia una specie di moto ondulatorio propagatesi intorno alla sorgente. La filosofia naturale, spingeva a leggere con voracità il libro della natura e si cominciano a fare osservazioni di ogni tipo (colorazione delle bolle di sapone, diffrazione da piccole aperture, la doppia rifrazione etc. E' grazie a Padre Grimaldi che si arriva a stabilire in modo definitivo che il colore è una proprietà del lumen, una sua modificazione e avanza una prima teoria ondulatoria. In questa parte della lettura cerco di far riflettere i ragazzi su:

- la sete di sapere di questi antichi scienziati,
- il contributo alla comprensione di certi fenomeni che è collettivo, non riguarda il singolo scienziato, ma è sempre un'impresa dell'umanità (sono gli stessi aspetti che ho cercato di puntualizzare nel percorso sulla gravitazione)

Siamo quindi giunti all'epoca di Newton, con un bagaglio teorico (due teorie in contrapposizione, quella ondulatoria e corpuscolare) e sperimentale non indifferente. Anche Ronchi sottolinea come non sia corretto affermare che l'Ottica sia nata con Newton, come invece si afferma quasi sempre nei libri di testo tradizionali, persino quelli ai tempi di Ronchi. Newton interviene sulla discussione sulla natura del lumen quando questa era già in stato avanzatissimo. I ragazzi sanno bene che Newton si è occupato per tutta la vita di attrazione tra i corpi: è chiaro che gli sia venuto naturale cercare di spiegare mediante questo meccanismo la rifrazione della luce, fenomeno su cui non si era venuti assolutamente a capo. Illustro per sommi capi l'idea di Newton, facendo osservare come tutto sommato sia un'ipotesi elegante, a parte il fatto che deve comportare un aumento della velocità della luce con la densità del mezzo, che invece non è corretta. Sottolineo come la velocità della luce non fosse nota all'epoca di Newton e illustro il metodo ideato da Galileo, con le sue oggettive difficoltà. Newton con il suo modello corpuscolare, spiega anche la dispersione della luce, ipotizzando una massa diversa dei corpuscoli dipendente dal colore.

A questo punto mi preme far riflettere i ragazzi sull'atteggiamento di Newton di fronte a tutto ciò che non poteva essere spiegato con la sua teoria (diffrazione, colorazione delle bolle di sapone ecc)...**egli semplicemente ignorò tutti questi problemi.** Rinunciò a spiegare tutti questi misteri continuando a professare la sua teoria corpuscolare. Viene fuori che Newton è stato molto furbo e scaltro...d'altra parte anche nel caso della gravitazione Newton non volle mai riconoscere il contributo di Hooke a questa teoria (Hooke era anche un assertore della teoria ondulatoria della luce)...insomma viene fuori il lato umano non molto simpatico e un po' prepotente di Newton, il suo potere. In effetti, come dice anche Ronchi, l'influsso degli studi Newtoniani è stato dei più potenti ed interessanti. Egli, mettendo in chiaro qualcosa che fino ad allora era considerato un mistero, diventa una sorta di Messia e i suoi pochi oppositori (come Hooke e Huyghens) non ebbero alcun seguito.

Mercoledì 23 Aprile

Il moto armonico come introduzione ai fenomeni oscillatori

Il libro di Ronchi parla di teoria ondulatoria ma i ragazzi non ne sanno niente. Si parla un po' della propagazione del suono, del fenomeno della diffrazione delle onde sonore, fornisco la definizione di onda meccanica, parlando anche di onde trasversali e longitudinali. Decido però che è necessario che i ragazzi sappiano qualcosa in più sulle oscillazioni e decido di fare il moto armonico, anche perché questa è l'occasione per fare un po' di ripasso di Meccanica, anche in vista dei giochi di Anacleto della prossima settimana. Tratto il moto armonico, prima da un punto di vista cinematico, ricavando l'equazione ; successivamente dal lato dinamico, considerando una massa m soggetta ad una forza di tipo elastico (torna la legge di Hooke); i ragazzi apprezzano la legge, cercando di ridare dignità al povero Hooke, così tanto bistrattato da Newton. Sottolineo però che la legge di Hooke, pur essendo utile ed interessante, è una legge empirica ed approssimata, che si limita a registrare ciò che accade sperimentalmente per alcuni sistemi; niente a che vedere con la legge di gravitazione, che descrive un'interazione universale tra corpi qualsiasi purchè dotati di massa. Riempio comunque la lavagna di formule (equazione oraria, velocità, accelerazione) e di grafici sinusoidali; i ragazzi fanno un po' di fatica, ci dovrò ritornare più volte se voglio che capiscano qualcosa di significativo. Cini si ricorda che il moto del pendolo ha caratteristiche molto simili a quelle del moto armonico e mi dà l'occasione di illustrare ciò che farò prossimamente: analizzare le condizioni per cui il moto di un pendolo può essere approssimato come armonico.

Martedì 29 Aprile

Il moto del pendolo

Riprendo in mano il moto del pendolo, analizzato precedentemente sia dal punto di vista dinamico che con l'energia. Adesso è venuto il momento di far vedere che per piccole oscillazioni, l'equazione del moto del pendolo risulta essere quella caratteristica del moto armonico. Determino quindi il periodo e la frequenza. I ragazzi si ricordano dell'esperienza della determinazione del periodo del pendolo effettuata l'anno precedente. E' una delle prime esperienze che si eseguono e si inducono i ragazzi a ricavarsi empiricamente un legame tra lunghezza e periodo di un pendolo: l'esperienza effettuata in questo modo, ha come unico scopo quello di far familiarizzare gli studenti con semplici strumenti, fargli raccogliere i dati sperimentali per poi rielaborarli, non c'è niente che si avvicini, in questo modo, alla metodologia scientifica, alla continua interazione tra teoria e misura, tra pratica e pensiero, si tratta solo della registrazione di alcuni dati di fatto: ma da qualcosa bisognerà pur cominciare. Adesso che abbiamo

ricavato la legge del periodo $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, i ragazzi, per lo meno quelli che se lo ricordano

(ma ho portato una delle loro relazioni di laboratorio), capiscono molto di più il senso di quello che hanno fatto. Faccio notare come dai questi dati sia possibile ricavare indirettamente il valore dell'accelerazione di gravità. Propongo loro di eseguire alcuni esercizi su questi argomenti. Cerco di trovare quelli che sono meno visibilmente una pura manipolazione di formule, anche se, devo dire, insegnando il PNI, nelle mie classi ci sono molti studenti appassionati di Matematica, che quindi trovano stimolante anche questa tipologia di esercizi. E' per questo motivo che non l'ho completamente abbandonata (ricordo che in fondo in fondo piacevano anche a me, da studentessa; nessuno comunque mi aveva proposto delle alternative). Nell'ultima parte della lezione discutiamo delle risposte che i ragazzi hanno dato ai "Giochi di Anacleto", una specie di Olimpiadi della Fisica che viene da quest'anno effettuata, su proposta mia, nel biennio

PNI (per le seconde). La classe in generale le ha trovate abbastanza abbordabili, ma ha riconosciuto che c'erano diversi argomenti non ancora affrontati nel programma (tipo elettricità).

Mercoledì 30 Aprile

Esperimenti con l'ondoscopio: i parametri di un'onda

In laboratorio il tecnico illustra esperienze (quasi tutte qualitative) con l'ondoscopio. Si comincia con onde rettilinee, generate da una sbarretta oscillante. Vengono analizzati i fronti d'onda, definite le creste e i ventri. Solitamente, in laboratorio, quando i ragazzi non devono direttamente effettuare l'esperienza, è l'insegnante tecnico pratico che conduce e illustra, anche dal punto di vista teorico, quello che sta facendo. Io mi limito, eventualmente, a fare delle osservazioni o delle domande aggiuntive alla classe. Con la telecamera si fa un'istantanea dell'onda e si proietta sul muro, così che si possa eseguire una misura della lunghezza d'onda, valutando la distanza tra due creste (e facendo le dovute proporzioni, tenendo conto dell'ingrandimento dell'immagine proiettata sul muro, rispetto alle dimensioni reali dell'onda nell'ondoscopio. Si osserva poi il fenomeno della rifrazione, facendo passare le onde da una zona più profonda ad una meno profonda, con i fronti d'onda che si spezzano e la lunghezza d'onda che cambia, mentre la frequenza rimane costante, in quanto dettata dal numero di oscillazioni al secondo della sbarretta. Il tecnico poi introduce, in modo più o meno dogmatico, la velocità dell'onda, come prodotto tra la frequenza e la lunghezza d'onda (mi devo proporre in classe di ritornare su questo argomento), riconducendo l'effetto a un cambiamento di velocità dell'onda.

Si osserva il fenomeno della diffrazione attraverso un'apertura e l'aggiramento dell'ostacolo da parte dell'onda. Gli effetti sono abbastanza suggestivi e la classe si mostra molto interessata. Dovrei trovare il modo di trovare un compromesso tra una matematizzazione troppo spinta, che i ragazzi non sono in grado di gestire (mancano troppi elementi di trigonometria) e il semplice limitarsi a questa attività osservativa, senza una risistemazione concettuale di un qualche tipo. Si passa infine ad onde circolari e alla loro interferenza. Qui il discorso teorico è ancora più complicato. Suona la campanella.

Venerdì 2 maggio

Considerazioni teoriche sulle onde

Il contributo di Huygens alla teoria della luce

La domanda che pongo alla classe, naturalmente in modo retorico perché alla domanda potranno rispondere, eventualmente, solo alla fine della lezione, è "come si rappresenta un'onda?" Propongo l'esempio, che è anche nel loro libro, della corda vibrante (ogni tanto il libro un po' lo devo usare, mi piace quando i ragazzi lo criticano per l'eccessivo dogmatismo, anche se loro non usano questo termine). Un'istantanea della corda fornisce un profilo di tipo sinusoidale (onda con una frequenza ben precisa) fatto di creste e di ventri, proprio come quelle osservate sulla superficie dell'ondoscopio in laboratorio. Definiamo allora la lunghezza d'onda come il periodo spaziale, ovvero la distanza tra due creste o due ventri. La definizione è proprio collettiva, perché coerente con quello che i ragazzi hanno fatto la lezione precedente in laboratorio. Ora passiamo ad analizzare il diagramma orario che descrive l'oscillazione armonica di un punto ben preciso della corda. Cerco di sottolineare le differenze sostanziale dei due grafici (il primo è un'istantanea della corda, il secondo esprime la relazione tra la posizione y di un punto della corda ed il tempo) ma anche lo stretto legame che li connette. In un periodo T , cioè nel tempo in cui ogni punto della corda compie un'oscillazione trasversale completa, la corda riassume la stessa forma ovvero tutti i suoi punti ritornano nella stessa posizione. Ridisegno un'istantanea della corda dopo che è passato mezzo periodo rispetto

all'istante iniziale e si nota che "l'onda" si è spostata di mezza lunghezza d'onda. E' possibile quindi determinare la velocità come rapporto tra spazio e tempo. Ecco che ritroviamo la formula enunciata un po' dogmaticamente in laboratorio. Ci mettiamo a parlare delle frequenze acustiche udibili dall'orecchio umano (10-10000 Hz); mi chiedono dei pipistrelli e la discussione si allontana dalla via principale, ma scorre piacevolmente e cerco di soddisfare i loro "fabbisogni" di conoscenza, anche se le loro richieste sono spesso caotiche e disarticolate. Vedo comunque che si riesce sempre molto bene a stimolare la loro immaginazione e voglia di sapere. Alla fine mi rendo conto che rimane poco tempo; ripassiamo insieme, aiutandoci anche con il libro di testo, il concetto di onda trasversale, di fronte d'onda e di come le direzioni di propagazione delle onde possano essere schematizzate attraverso "raggi". Una teoria geometrica per raggi è quindi una schematizzazione, una semplificazione di una teoria più complessa, come ad esempio quella ondulatoria. Spiego che la teoria geometrica della luce, pur essendo potentissima, non conferisce alcuna struttura fisica al "lumen". Nella storia della Scienza è proprio con l'affermarsi della teoria geometrica, che corrisponde ad aver capito la differenza tra "lux" e "lumen", che successivamente ci si pone seriamente il problema di conferire al lumen, una struttura, ovvero cercare di capire come questo lumen sia fatto. Ecco che si affermano la teoria corpuscolare, sponsorizzata da Newton, e quella ondulatoria, i cui fautori sono Hooke (che sta diventando sempre più simpatico alla classe) ed Huygens. Parliamo del lavoro che dovranno presentare i ragazzi, i cui gruppi sono stati definiti, anche se ancora non sappiamo in che cosa consisterà bene il contributo delle Scienze biologiche. Iacoponi, autonomamente, propone di realizzare una camera oscura e di portarla all'attenzione della classe ed eventualmente dei genitori. Accetto naturalmente con entusiasmo la sua proposta.

Martedì 6 Maggio

Ho la classe dimezzata, è in corso l'esperienza dei "giochi di Anacleto" e sono quindi costretta ad un utile ripasso sugli argomenti nuovi, in particolar modo facciamo qualche esercizio sul moto armonico, che risultano sempre ostici per gli studenti più deboli, i quali, per altro, apprezzano in modo particolare la parte storica dei percorsi. La lezione fila liscia, chiamo alla lavagna la Bastianoni, che è anche una delle studentesse un po' fragili. Ma ha studiato e si destreggia abbastanza bene tra gli esercizi da "manipolatori di formule". Le do la sufficienza

Mercoledì 7 maggio

Siccome nella verifica del 20 Maggio ci saranno esercizi applicativi anche sul moto armonico, tutta la classe sente l'esigenza di farne alcuni, simili a quelli che ho fatto fare ieri. Ciò mi permette di effettuare un ripasso considerevole della Meccanica, che il prossimo anno dovrà essere ripresa e approfondita. Quindi non mi sottraggo a questa richiesta, che tra l'altro è particolarmente riposante per l'insegnante. E poi l'esperienza che metà classe ha effettuato ieri per i giochi di Anacleto era di meccanica, sul moto circolare; consegno delle fotocopie del libro di testo Bergamaschini⁴, in cui vengono messe a confronto la teoria corpuscolare e quella ondulatoria della luce, in modo abbastanza schematico, ma tutto sommato laico, mettendo in risalto tutti i pregi e i lati oscuri, presenti in entrambe le teorie.

Venerdì 9 maggio

Teoria ondulatoria e corpuscolare a confronto

Leggiamo insieme le pagine di cui sopra e quello che voglio ribadire con i ragazzi è che la teoria corpuscolare e ondulatoria contengono entrambe la teoria geometrica della luce, con la quale si ignora la struttura del lumen. Stiamo affrontando la questione ad un livello

superiore, ai tempi di Newton si ha a che fare con due teorie (in effetti già in embrione fin dagli albori e cito Aristotele e Alhazen) ben articolate eppur non prive di contraddizioni, talvolta anche grosse. Mentre leggo lo schema suddetto, mi rendo conto che troppe cose sono date per scontate, per esempio la legge delle riflessione nel caso di un urto elastico di un corpuscolo contro una parete. Credo che sia il venuto il momento di introdurre il concetto di quantità di moto per una particella e per un sistema di particelle materiali. Non è difficile far vedere che il secondo principio della dinamica può essere visto come variazione di quantità di moto causata dall'impulso di una forza. Il principio $F=ma$ che i miei studenti conoscono, in modo non certo dogmatico perché acquisito come sintesi di un percorso sulle forze², durato per più di tre mesi, che li ha resi protagonisti attivi del proprio processo di apprendimento. Sempre dal secondo principio è possibile ricavare che in un sistema isolato (e il concetto di forza come interazione ha contribuito non poco a chiarire il significato di questo termine) la quantità di moto rimane costante. E' quindi naturale come negli urti si conservi la quantità di moto, dato che le forze impulsive che i corpi urtanti si scambiano sono forze interne al sistema e quindi a risultante nulla. Negli urti elastici invece si conserva anche l'energia cinetica delle particelle. Posso quindi passare ad analizzare insieme ai ragazzi l'urto elastico contro una parete, giustificando meccanicamente la legge della riflessione. Sottolineo come Newton, fondatore della Dinamica, dovesse tenerci in modo particolare a dare una interpretazione dinamico-corpuscolare della luce. Era perfettamente in grado in effettuare il calcolino che abbiamo fatto noi!! Suona la campanella.

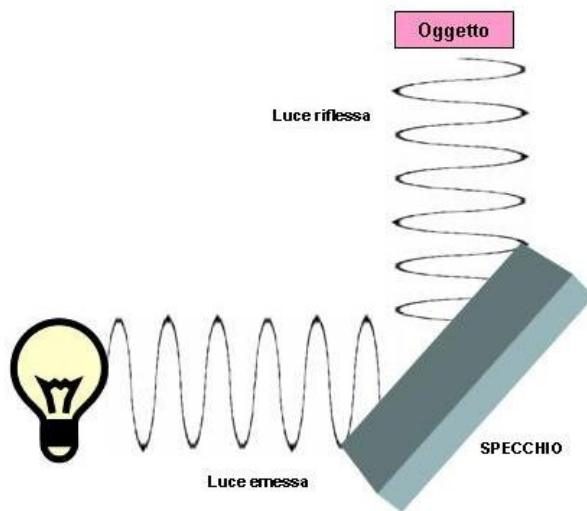
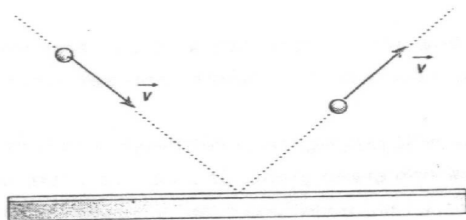
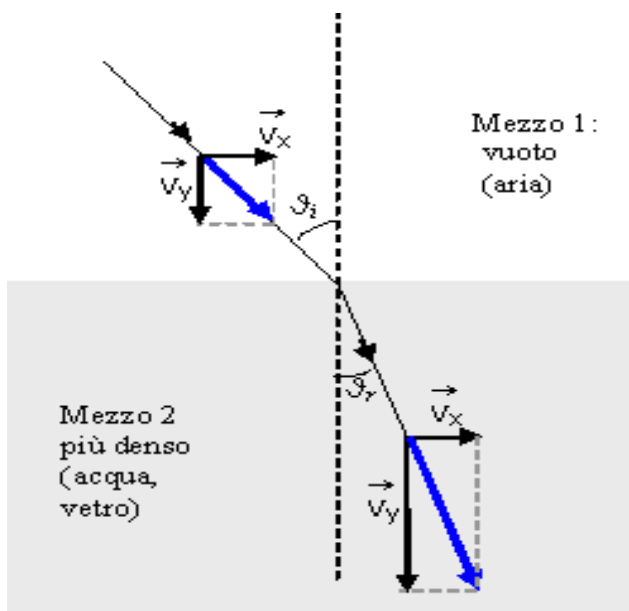
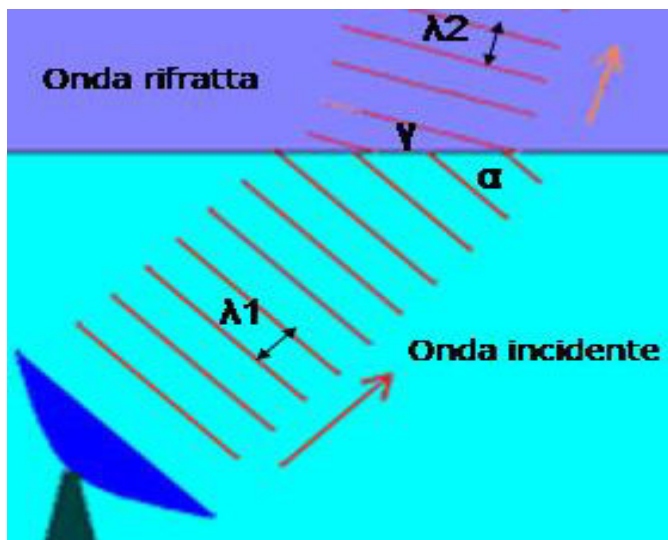


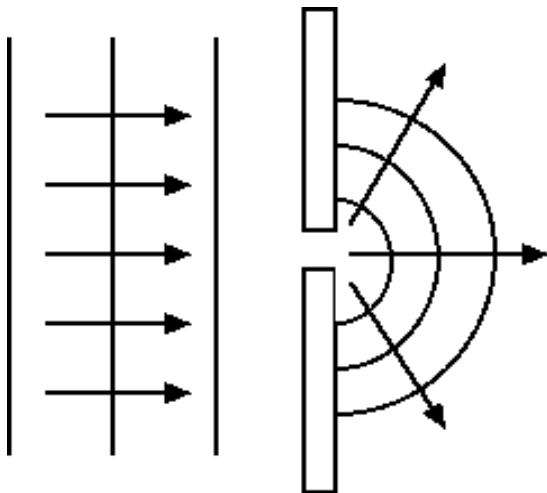
Fig. 2



La riflessione della luce secondo il modello ondulatorio e corpuscolare

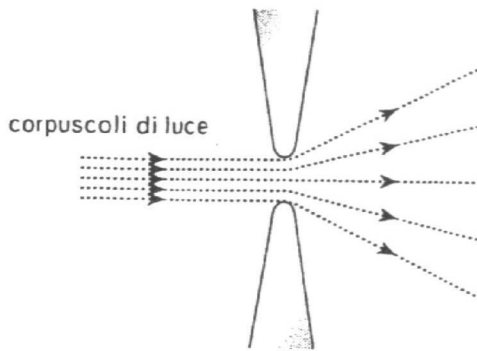


La rifrazione della luce secondo il modello ondulatorio e corpuscolare



DIFFRAZIONE

Fig. 6



La diffrazione della luce secondo il modello ondulatorio e corpuscolare

Martedì 13 maggio

Le camere oscure realizzate ad uno studente

Iacoponi ha realizzato ben due camere oscure artigianali, una con una lente, l'altra con il foro soltanto, ma si vede lo stesso abbastanza bene. Tutta la classe ammira il lavoro del compagno e ci divertiamo ad osservare immagini del giardino della scuola. Cioppa è convinto che se si "accoppiano" le due camere in serie, si dovrebbe riuscire a vedere un'immagine dritta, anziché rovesciata. Prova ad effettuare l'accoppiamento ma non si vede quasi nulla.

Continuiamo e approfondiamo l'analisi dello schema di Bergamaschini già citato in cui si mettono a confronto, la teoria ondulatoria (di Huygens e Hooke) e corpuscolare (di Newton) della luce. Ognuna di essa presenta non poche pecche, ma quello che salta agli occhi anche ad alcuni ragazzi (Cioppa, Toncelli) è che: la teoria corpuscolare è supportata da una teoria meccanica, matematizzata, mentre quella di Huygens, sebbene sia in grado di spiegare molto bene quasi tutti i fenomeni luminosi, sia imprecisa, qualitativa. Comunque sembra chiaro per tutti che il prevalere della teoria corpuscolare è dovuto soprattutto al pensiero newtoniano imperante. La Catarsi è diventata sempre più critica nei confronti di Newton, le dà fastidio che con il suo potere sia stato di ostacolo nell'affermarsi di idee diverse, seppur anch'esse ragionevoli (ancora una volta la classe fa

il tifo per Hooke). Il Cini, per rivalutarlo, chiede se Hooke abbia mai scritto un trattato sulla sua forza elastica, sulle molle o che altro. Il Cioppa in ogni modo è assolutamente convinto della grandiosità di Newton e a conferma di ciò mostra i tre principi della dinamica, scritti nel testo di Latino. Propongo di leggere il secondo (in italiano naturalmente, ma con le parole di Newton); legge Laricchia e simultaneamente cerco di tradurlo alla lavagna in forma matematica. Viene fuori in modo naturale la legge dell'impulso e naturalmente il primo ad accorgersene è stato il Cioppa! Divaghiamo un po' e parliamo ancora del principio di conservazione della quantità di moto (i ragazzi sono interessati anche perché un esercizio applicativo della prossima verifica potrà vertere su tale argomento). Propongo quindi l'esplosione e impostiamo le equazioni di conservazione dell'energia e della quantità di moto, facendone alcune deduzioni. A questo punto decido di fargli anche l'urto totalmente anelastico (incastro), anche perché è il tipo di urto più facilmente gestibile matematicamente e quindi l'unico che potrei assegnare loro nella verifica. Facciamo insieme anche un esercizio.

Voglio però riprendere il libro di Ronchi perché in esso sono contenute anche e soprattutto le critiche all'abbandono, da parte della Fisica del settecento, dell'interesse per la lux.

Ma suona la campanella.

Mercoledì 14 maggio

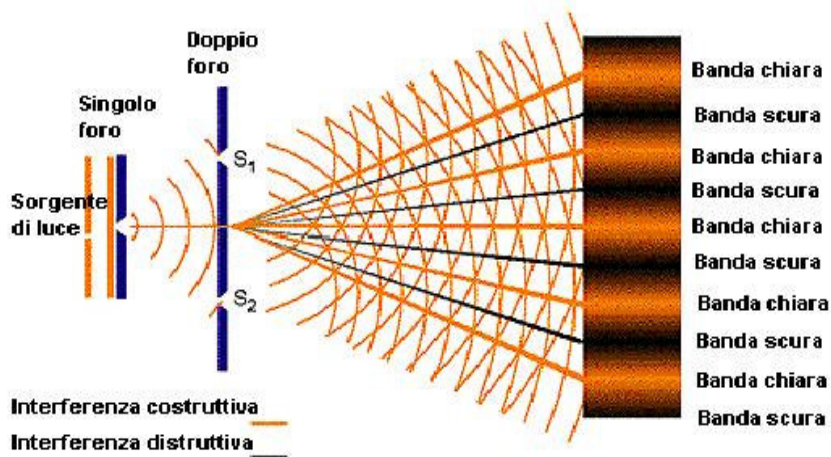
Storia della luce: il disinteresse per la lux

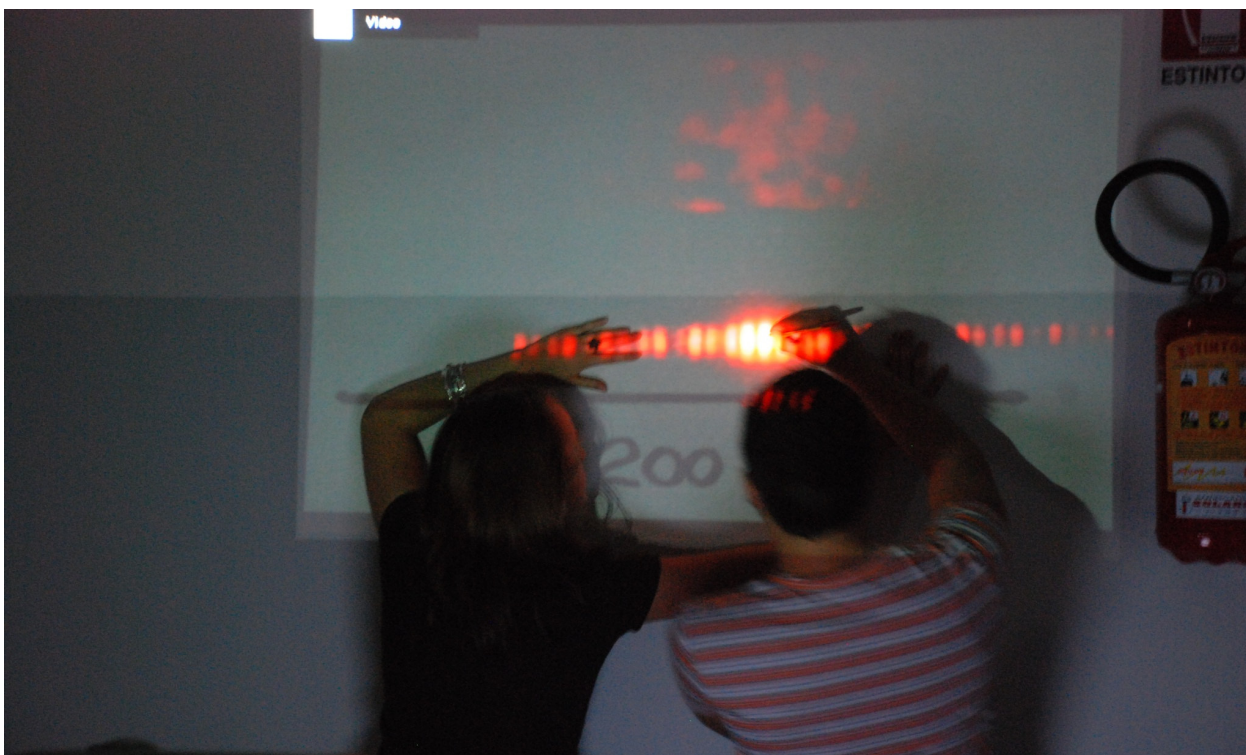
L'esperimento di Young

Partiamo proprio dalla lettura del libro di Ronchi (pag.46). C'è un bel passo che parla dei danni provocati dal disinteresse per la lux (una specie di ritorno al passato), che continua anche ai giorni nostri, persino tra gli specialisti. Io sono convinta che i miei studenti invece abbiano ben chiara questa separazione già da alcuni mesi, anche se inevitabilmente la tendenza è a confondere la lux con il lumen. Ma c'è consapevolezza. I due concetti sono stati anche affrontati con l'insegnante di lettere, su mia richiesta. L'insegnante ha parlato anche del concetto di luce nella letteratura e Cini e Bastianoni si sono proposti di presentare qualcosa ai genitori. Approvo senza indugi.

Leggiamo della rivoluzione-lampo del XIX secolo, che riporta in auge la teoria ondulatoria grazie all'esperimento di Young, medico inglese (sottolineo come, per ottenere una rivoluzione, ci sia voluta l'opera di uno scienziato estraneo al mondo accademico dell'epoca, dove imperava la teoria corpuscolare). Arriviamo al passo in cui si spiega che, mentre le dimensioni dei corpuscoli (nell'ottica corpuscolare) erano rimaste sempre un mistero, le lunghezze d'onda divennero misurabili facilmente. E' giunto il momento di cimentarsi con l'illustrazione dell'esperimento di Young e mi cimento alla lavagna aiutandomi con le illustrazioni del libro di testo, non prima di aver parlato di principio di sovrapposizione degli effetti nei fenomeni ondulatori (Cioppa mi rammenta che è un po' come la somma vettoriale delle forze), facendo qualche esempio grafico (sinusoidi). Definisco allora l'interferenza costruttiva e distruttiva che si ottiene sovrapponendo due onde sinusoidali (monocromatiche) della stessa ampiezza in un dato punto dello spazio. Rammento ai ragazzi quello che avevano già visto in laboratorio (ma ci hanno riflettuto poco perché poco dopo suonò la campanella). Mi aiuto con le foto del libro. Ricordo che per le onde meccaniche sono le porzioni di materiale ad oscillare mentre per la luce ed in generale le onde elettromagnetiche non si sa bene cosa oscilli. In ogni modo se la luce è un'onda, dovrà avere un comportamento simile agli altri tipi di onde (forse sarà questa l'idea che ha guidato Young ed altri come Fresnel nei loro esperimenti e nelle loro indagini?). Quindi propongo alla lavagna l'esperienza delle due fenditure (la diffrazione di una fenditura era stata osservata qualitativamente in laboratorio qualche tempo fa), andando ad osservare, su uno schermo, le zone di interferenza costruttiva e distruttiva in base alla differenza di cammino ottico delle due onde che interferiscono. Non tutti però

riescono a seguire i vari passaggi matematici per arrivare alla determinazione della lunghezza d'onda della radiazione in funzione di parametri misurabili (distanza tra le fenditure, distanza fenditure-schermo, posizione del massimo o minimo rispetto alla posizione del massimo centrale). C'è da fare infatti l'approssimazione $\sin \alpha \approx \alpha$, da considerare lo schermo molto lontano, oltre che alle solite manipolazioni matematiche. Comunque mi preme arrivare alla formula, tutto sommato in modo non eccessivamente dogmatico, **per far vedere come stia lì la rivoluzione-lampo che si ebbe ad opera di Young**, nel poter caratterizzare sperimentalmente la struttura del lumen, fino a quel momento solo ipotizzata. Agli scienziati a quel punto non rimase che prender atto di ciò e questo provocò la fine del terrore di certi effetti (diffrazione, interferenza, polarizzazione) che invece riuscirono brillantemente ad essere spiegati attraverso il modello ondulatorio. E' il momento di fornirgli anche lo spettro delle lunghezze d'onda visibili, tra l'altro citate anche da Ronchi. Ronchi sottolinea come ogni lunghezza d'onda, colpendo l'occhio, faccia "vedere" un dato colore. Ma questo ragionamento riportava il processo della visione ad essere protagonista nell'acquisizione del colore e dava il via ad una serie di complicazioni. Si preferì invece assegnare ad una data onda luminosa un certo colore e si diffuse la convinzione che il colore fosse un'entità obiettiva, indipendente dall'osservatore. Vedo che quando si affronta questo tema la classe risulta particolarmente interessata: molti di loro sono pienamente convinti che i colori siano frutto della nostra psiche e non una caratteristica della luce. Parliamo inevitabilmente di daltonismo. La Catarsi è affascinata dai colori come processo della psiche; vorrebbe approfondire. Ma suona la campanella. Venerdì dobbiamo fare esercizi; la verifica si avvicina e ci saranno anche quelli.





L'esperimento di Young riprodotto al Liceo Scientifico "F. Enriques" Livorno

Venerdì 18 Maggio

Esercizi di preparazione al compito sulla costruzione geometrica delle immagini nelle lenti e applicazione dei punti coniugati, moto armonico. Il moto armonico preoccupa di più gli studenti (è infatti necessaria una certa abilità matematica). Diamo poi uno sguardo d'insieme alla scheda in cui la teoria ondulatoria e corpuscolare vengono messe a confronto, con le osservazioni di Ronchi in proposito.

Mercoledì 22 Maggio

La colorimetria

Approfittiamo della quinta ora, sempre un po' faticosa, per finire le pagine di Ronchi. Ripartiamo dal punto in cui Ronchi critica la "colorimetria". Viene poi spiegato che mentre la teoria ondulatoria si godeva il meritato successo, venivano scoperte onde sorelle di quelle visibili, ma più lunghe o più corte, gli infrarossi e gli ultravioletti. L'autore ribadisce che il nome stesso è frutto di ciò che vuole criticare: a nessuno sarebbe venuto in mente di chiamare infrarosse le onde superiori a 0,8 micron se non si fosse ritenuto che quelle inferiori erano di colore rosso. Tali onde, pur non visibili, **vennero chiamate luce, luce buia, luce nera**. Cose che i nostri avi si sarebbero guardati bene dal pronunciare: avrebbero piuttosto detto che vi era anche del lumen incapace di stimolare l'occhio (e quindi la psiche) a crearsi la lux. I ragazzi sembrano essere d'accordo, anche se alla domanda, nella verifica, di chiarire la distinzione tra lux e lumen, molti hanno risposto in modo vago, alcuni identificando la lux con la luce del sole. Poi viene affrontato il problema del mezzo in cui le onde "luminose" devono propagarsi, il vuoto non deve essere vuoto ma riempito di un mezzo sottile, impercettibile per i nostri sensi: **l'etere**. Dell'etere ne parla anche la scheda del Bergamaschini; credo che sia un argomento un po' troppo complesso da affrontare, ma nello schema di costruzione di un modello, ovvero nell'evoluzione di una teoria, si ipotizza l'esistenza di qualcosa per giustificare la validità della teoria stessa. Questa è la funzione dell'etere. L'ipotesi dell'etere creò una

serie di complicazioni fin tanto che non sopraggiunse nella metà dell'ottocento, la sintesi di Maxwell, che conglobò le onde luminose nel grande quadro delle onde elettromagnetiche.

Il ritmo delle pagine di Ronchi è adesso incalzante: dopo mezzo secolo di vita gloriosa le onde elettromagnetiche perdono credito e si riafferma la teoria corpuscolare mediante il concetto di fotoni. L'autore sorvola su tutte le sorprendenti scoperte avvenute nel suo secolo, che hanno riorganizzato il quadro concettuale e la struttura di ciò che i pre-newtoniani avrebbero chiamato lumen. Il novecento ha sancito, con la meccanica quantistica il dualismo onda-corpuscolo del lumen, che ha anche trovato un termine più appropriato, radiazione, o energia raggiante. Ma Ronchi chiarisce che in queste pagine ha voluto soffermarsi soprattutto sulla lux. Elenca i possibili rivelatori di lumen: cellule fotoelettriche, emulsioni fotografiche, retina oculare e di come essi agiscono, modificando il lumen. Ci soffermiamo sull'azione della retina oculare, la quale, sotto un particolarissimo gruppo di onde, dà luogo a degli impulsi nervosi che, trasmessi al cervello, inducono la psiche a generare luce e colori. E poi si passa alla critica della misura della luce e dei colori: è impossibile misurare la luce e i colori che uno vede. Il legame tra lux e lumen è sconnesso, senza che ci sia una corrispondenza definita. Stimoli identici possono dare luogo, nello stesso occhio, ad apparenze diverse.

Infine è Ronchi stesso a fare il quadro della situazione, risottolineando come sia importante aver rivissuto l'odissea che aveva portato l'ottica dei lontani avi al livello di quella di oggi, per poter individuare gli ostacoli e poterli superare. Che è anche il nostro intento pedagogico, uno dei motivi per cui utilizziamo la storia della Scienza nei nostri percorsi didattici, unitamente all'intenzione di ridare alle discipline la loro dignità culturale e di far rivivere le scoperte scientifiche ai nostri studenti come imprese umane. L'argomento ha senza dubbio appassionato la classe; spero davvero in una loro buona performance il 4 giugno. Venerdì dobbiamo cominciare ad organizzarsi.

Bibliografia

1. V. Ronchi: "La luce" da "Le opere e i giorni della creazione" Roma Studium Christi (1953)
2. T. Pascucci "Il concetto di forza", percorso didattico pubblicato nel volume "Formare alla Scienza nella Scuola Secondaria Superiore", a cura di F. Cambi, L. Barsantini, D. Polverini, Armando Editore 2007.
3. A. B. Arons "Guida all'insegnamento della fisica", Bologna, Zanichelli, 1992.
4. Fisica, a cura del PSSC, Zanichelli, quarta edizione, volume 3.
5. Paul A. Tipler "Invito alla Fisica", Zanichelli, Volume 2.
6. M. E. Bergamaschini, P. Marazzini, L. Mazzoni: "L'indagine del mondo fisico", Carlo Signorelli Editore (2002).
7. V. Ronchi "Storia della luce: da Euclide a Einstein"; Editori Laterza (1983).