

4. Polveri fini tramite l'interferenza della luce.

Contenuto

4.1. Un gioco di molti colori	1
4.2. I colori di diffrazione non sono colori di interferenza	3
4.3. Un primo esperimento	3
4.4. Un secondo esperimento	4
4.5. Un terzo esperimento	5
4.6. Esperimento a due fenditure di Thomas Young.	6
4.7. I. Gli anelli di Newton.....	9

4.1. Un gioco di molti colori

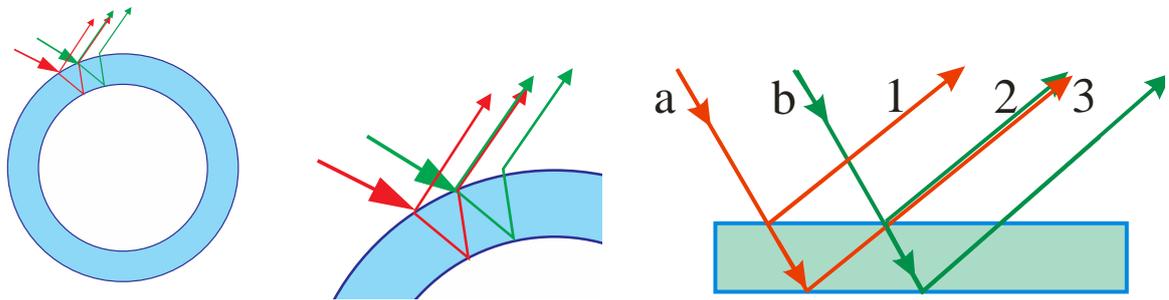
Con l'esperimento M&M, per la prima volta nella storia, è stata utilizzata l'interferenza della luce. Il termine “interferenza” può spaventarci un po', ma ci confrontiamo con la questione stessa quasi quotidianamente. Per lo più senza pensarci, però. Innanzitutto, cerchiamo di spiegare il fenomeno.

Per esempio, il gioco di colori in una bolla di sapone o in una pellicola d'olio su una pozzanghera d'acqua sono il risultato dell'interferenza ottica, dell'interazione di molti raggi di luce.



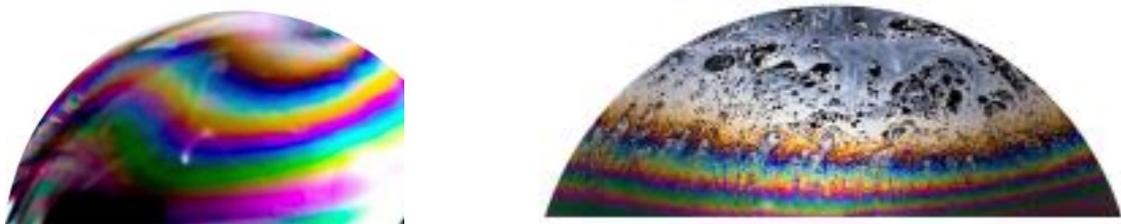
Cerchiamo di fare chiarezza. Il disegno in basso a sinistra rappresenta una bolla. Il secondo disegno ce ne dà un dettaglio. Anche il rettangolo blu nel disegno a destra rappresenta un pezzo

della bolla di sapone, o un pezzo di uno strato di olio sull'acqua o di una sottilissima sostanza trasparente sul nostro cellulare. Gettiamo la luce obliquamente su di esso, utilizzando i raggi luminosi a e b.



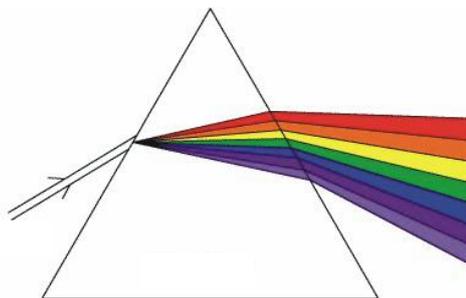
Osservate il disegno qui sopra a destra. I raggi di luce a (di colore rosso) e b (di colore verde) che cadono su di esso possono riflettere in parte sulla parte superiore dello strato, ma anche su quella inferiore. Osserviamo il percorso che i raggi incidenti a e b possono seguire. I raggi (a)1 e (b)3 riflettono sul lato superiore, mentre i raggi (a)2 e (b)4 sul lato inferiore dello strato. Si può notare che i raggi riflessi 2 (verde) e 3 (rosso) coincidono tra loro. Tuttavia, il raggio a2 ha percorso un cammino più lungo del raggio b3. Tuttavia, questa minima differenza di lunghezza del percorso porta a una notevole differenza di colore. Questo processo si ripete per i molti raggi luminosi incidenti sullo strato, da cui derivano i bellissimi effetti cromatici.

Osserviamo ancora più attentamente la nostra bolla. Osserviamo che nella sua vita così breve e colorata le sue tonalità cambiano continuamente. Questi cambiamenti sono causati dalla gravità.



L'acqua nella bolla viene gradualmente trascinata verso il punto più basso, causando talvolta la comparsa di bande quasi orizzontali di colori diversi. Alla fine, l'acqua si è accumulata troppo sul fondo della bolla e altrove è diventata così sottile da farla scoppiare. I nostri bei colori sono spariti. La nostra bolla potrebbe prolungare la sua esistenza e potremmo studiare i suoi cambiamenti di colore un po' più a lungo se la si facesse esplodere in un campo privo di gravità. Un esperimento da eseguire in una capsula spaziale? Il costo aggiuntivo di un tubo e di un po' di schiuma presumibilmente non graverà troppo sul budget spaziale.

4.2. I colori di diffrazione non sono colori di interferenza



Si noti la differenza tra diffrazione e interferenza. L'arcobaleno è un fenomeno di diffrazione: la luce si scompone nei suoi colori costitutivi. Le numerose gocce di pioggia sono come tanti prismi che “scompongono” la luce in colori puri.

L'interferenza è un po' il contrario: i raggi di luce coerenti provenienti dalla stessa fonte luminosa, come il sole, si uniscono per formare un gioco, una miscela di molti colori.

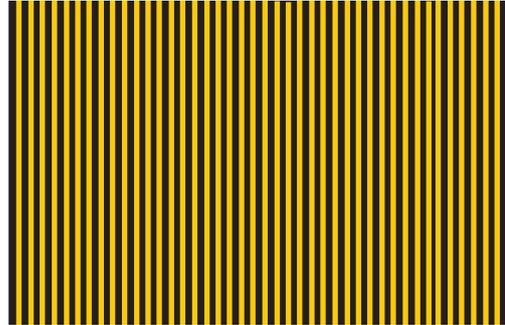


L'arcobaleno ci mostra i colori puri, l'interferenza ci offre una miscela di colori.

4.3. Un primo esperimento

Anni fa abbiamo fatto il nostro primo esperimento di interferenza. Volevamo rifare l'esperimento di Young a due fenditure (vedi sotto) e abbiamo usato una vecchia lampada al sodio, cioè una sorgente luminosa monocromatica, con luce di un solo colore. Era il tipo comunemente usato sulle nostre autostrade all'epoca. La lampada è alta circa un metro e

consuma appena 90 watt. L'abbiamo avvolta completamente con carta argentata. Poi, con uno spillo sottile, abbiamo praticato due fori sul lato della luce, a distanza di appena un millimetro l'uno dall'altro. Poi abbiamo oscurato la stanza. Ed ecco che sulla parete, a circa 5 metri di distanza, sono apparse migliaia di linee gialle, tutte parallele tra loro. Ci siamo resi conto che le onde luminose sono estremamente piccole: ce ne sono duemila in un solo millimetro.



4.4. Un secondo esperimento

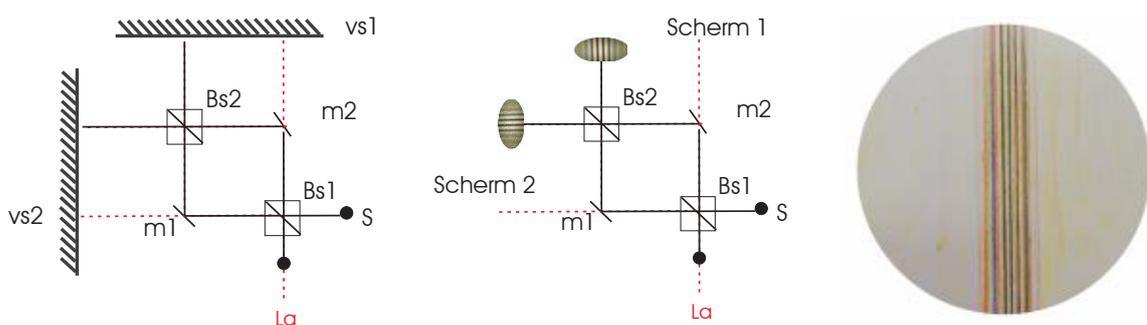
Successivamente, abbiamo sperimentato la luce bianca, una luce che contiene ancora tutti i colori dell'arcobaleno. Una fibra di vetro ha condotto la luce dalla nostra sorgente luminosa, una semplice lampada, alla nostra “sorgente di luce puntiforme”, una piastra metallica con un foro, situata proprio di fronte a un beamsplitter Bs1. Qui la luce è stata divisa in due sottofasci. Un fascio parziale passava attraverso lo specchio piatto m1 a un secondo splitter, Bs2. Il secondo fascio parziale è passato da m2 a Bs2.

Sugli schermi planari vs1 e vs2 ci aspettavamo di vedere anche linee di interferenza, linee di colore. Dopo tutto, stavamo lavorando con la luce bianca. Ma non c'è niente di tutto questo. La nostra configurazione non era affatto allineata. Quindi ricominciamo da capo, con un laser, e sostituiamo gli schermi piatti con specchi piatti. Quindi rimuoviamo gli specchi m1 e m2 e posizioniamo gli specchi piani vs1 e vs2 in modo che il raggio laser riflesso torni con precisione a Bs1. Posizionare quindi m1 in modo che la luce laser riflessa su vs1 torni anch'essa al laser. Successivamente, lo stesso vale per lo specchio m2 su vs2.

Posizionare quindi un pezzo di carta davanti agli specchi vs1 e vs2 in modo che non riflettano la luce laser. Solo a questo punto è possibile posizionare lo splitter Bs2. Ogni lato esposto di Bs2 riflette circa il 4% della luce. Anche in questo caso, tali riflessioni devono essere dirette con estrema precisione verso il laser. Se tutto questo è stato fatto con estrema precisione, si vedranno diverse linee di interferenza nella luce laser su entrambi gli schermi. Se si spegne il laser e si utilizza la luce bianca, si noteranno diverse linee colorate affiancate, come mostrato nel disegno a destra.

Posizionare correttamente tutti i componenti a mano libera non funziona. È necessario dotare ogni componente ottico di leve con viti di fermo, in modo da poter rallentare e controllare con precisione i suoi movimenti secondo i tre assi. Ricostruire il setup come mostrato schematicamente qui sotto non è quindi un compito facile. Questo ci fa riflettere sul grado di accuratezza con cui dovremo costruire le nostre ulteriori configurazioni.

Questo tipo di interferometro viene definito “aperto”. I due fasci secondari seguono ciascuno un percorso diverso. Non si può mai essere sicuri che il percorso Bs1, m1, Bs2 sia effettivamente della stessa lunghezza del percorso Bs1, m2, Bs2, con una approssimazione di un mm. Ci chiediamo se esista o possa essere ideato un qualche tipo di interferometro in cui i due sottofasci rimangano in qualche modo separati, pur percorrendo lo stesso percorso. Sembra una contraddizione, ma forse c'è qualcosa di vero? Stiamo quindi cercando un tipo di interferometro “chiuso”.



4.5. Un terzo esperimento

Consideriamo il disegno qui sotto a sinistra. La sorgente luminosa puntiforme S illumina lo specchio M. Il fascio riflesso raggiunge lo splitter BS dove il getto di luce si divide in due sottofasci.

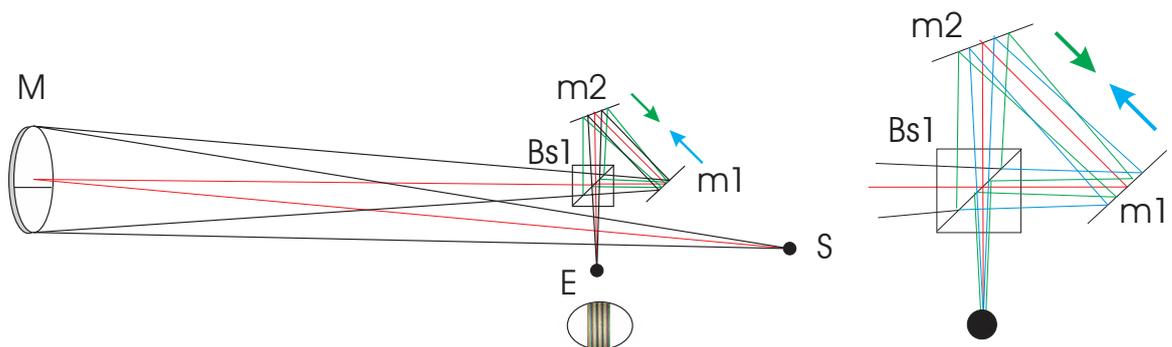
Osserviamo il disegno dettagliato a destra. Un fascio parziale va in senso orario attraverso gli specchi piani m2 e m1 fino a Bs, e infine all'osservatore in E.

L'altro fascio parziale viaggia in senso antiorario attraverso gli specchi piani m1 e m2 di nuovo verso Bs, e infine verso l'osservatore in E.

In realtà, entrambi i fasci parziali percorrono identicamente lo stesso percorso, ma in direzioni opposte. Ciò significa che, per definizione, hanno la stessa lunghezza. Tuttavia, non

abbiamo più una disposizione “aperta” in cui i fasci parziali possono differire in lunghezza di una parte di mm, ma una disposizione “chiusa”. Ciò significa che ottenere un'immagine di interferenza potrebbe non essere più così difficile.

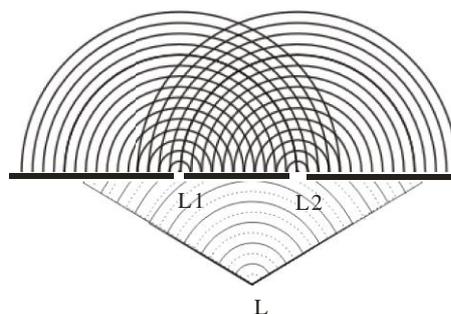
Costruiamo effettivamente questa disposizione e scopriamo che un certo numero di linee di interferenza si manifestano effettivamente in E. Il compito è quindi riuscito. Forse in seguito potremo sfruttare questa disposizione “chiusa”, una disposizione a forma di triangolo - B1, m2, m1 -.



4.6. *Esperimento a due fenditure di Thomas Young.*

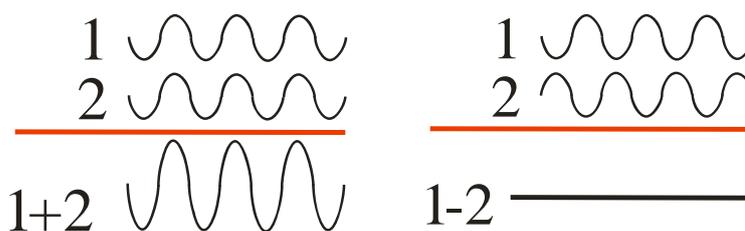
Si faccia riferimento al nostro primo esperimento di interferenza, in cui abbiamo utilizzato una grande lampada monocromatica. Due fori di spillo, posti l'uno accanto all'altro nella carta argentata, fungevano da sorgente luminosa ed entrambi proiettavano migliaia di sottili strisce di interferenza su una parete a circa cinque metri di distanza.

Si tratta di una variante dell'esperimento a due fenditure di Thomas Young del 1805. Nel disegno qui sotto, possiamo paragonare la sorgente luminosa L alla lampada al sodio e le due sorgenti luminose L1 e L2 ai nostri fori di spillo nella carta argentata.



Il disegno rappresenta tutto questo in un piano piatto. Ma in realtà si tratta di parti di una serie di sfere concentriche che continuano a espandersi e le cui onde provenienti da una sorgente luminosa penetrano costantemente in un'altra.

Paragonate alle onde dell'acqua. Se si gettano due sassi in acqua contemporaneamente e a breve distanza l'uno dall'altro, si vedono le onde provocate da un sasso “penetrare” le onde dell'altro.



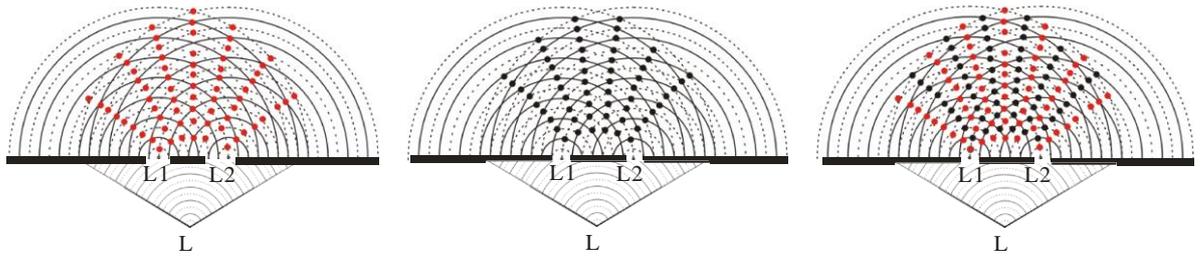
Dove due creste d'onda si fondono si ha una cresta più alta, dove due valli d'onda si fondono si ottiene una valle più profonda. Dove una cresta riempie una valle, l'acqua rimane al suo livello originale.

Anche la luce è un moto ondoso, ma duemila onde entrano in un mm. Se qui ci sono due cime d'onda che coincidono, o due valli che coincidono, la luce è due volte più intensa. Tuttavia, se una cresta coincide con una valle, si verifica il curioso fenomeno per cui la luce sommata alla luce porta... al buio.

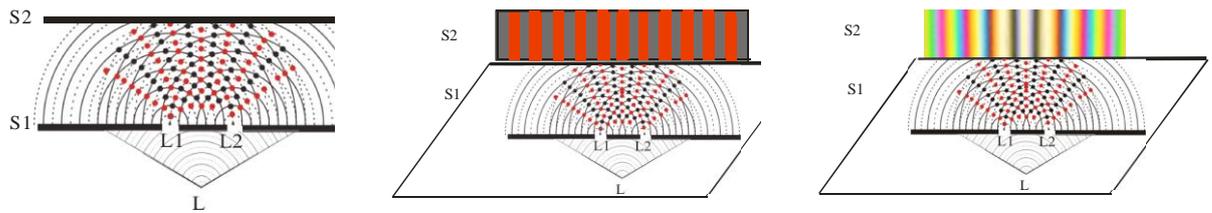
Osservate il disegno qui sotto a sinistra. Le onde in linea tratteggiata indicano le valli, quelle in linea continua le cime. Nel punto in cui si incontrano due vertici o due valli d'onda, è stato posto un punto rosso. L'intensità della luce in quel punto è doppia.

I punti neri sul disegno al centro indicano, per analogia, i punti in cui un picco riempie una valle. Lì si neutralizzano a vicenda e non c'è luce.

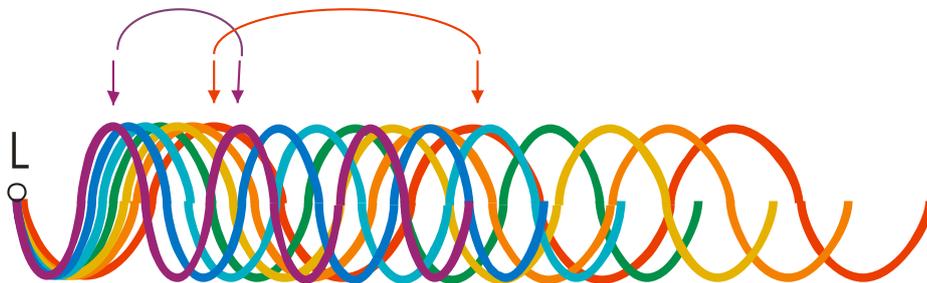
Il disegno all'estrema destra unisce i due precedenti.



Tenete presente che in realtà non si tratta di cerchi, ma di sfere che si espandono continuamente. Immaginate che la linea nera in alto nel disegno qui sotto a sinistra sia uno schermo che vediamo in vista dall'alto. Guardatelo nel disegno al centro in vista frontale. Su di esso vediamo le proiezioni delle varie linee, come abbiamo visto sulla nostra parete nell'esperimento con la grande lampada al sodio. Se non lavoriamo con la luce monocromatica, ma con la luce bianca, si vedranno le strisce dei colori di interferenza, come mostrato all'estrema destra.



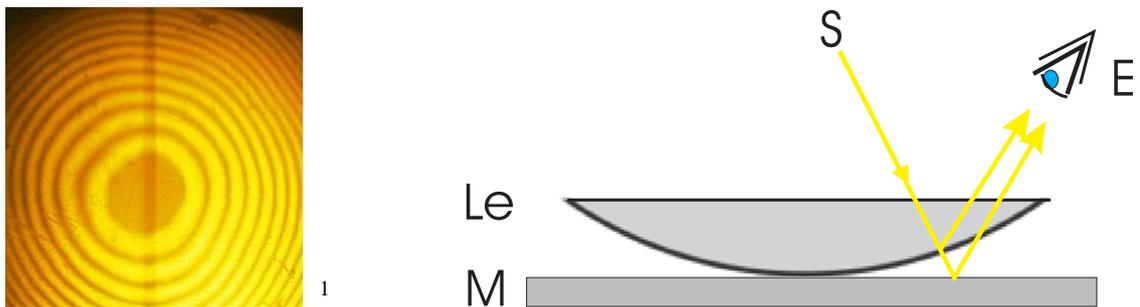
Nella luce bianca si vedono solo poche linee di interferenza. I diversi colori hanno ciascuno una lunghezza d'onda diversa. Ad esempio, la lunghezza d'onda della luce rossa è quasi doppia rispetto a quella della luce viola.



Dopo alcune lunghezze d'onda, si “sfasano” rapidamente l'una con l'altra e i colori distinti si sovrappongono di nuovo. I loro colori si mescolano e insieme restituiscono la luce bianca. Gli esperimenti di interferenza con la luce bianca richiedono quindi una maggiore precisione rispetto agli esperimenti con luce di un solo colore.

4.7. I. Gli anelli di Newton

Anche i cosiddetti anelli di Newton sono un fenomeno di interferenza. Newton li riportò ma non riuscì a spiegarli perché non vedeva la luce come un moto ondulatorio ma corpuscolare, come piccole particelle. L'immagine a sinistra ci offre una vista dall'alto, il disegno a destra una sezione trasversale. Nel disegno vediamo una lente piana convessa *Le* appoggiata sullo specchio *M*. Un raggio proveniente dalla sorgente luminosa *S* illumina l'intero specchio. Ne viene mostrata solo una piccola parte. Un raggio passa attraverso la lente e si riflette sul suo lato inferiore. Un'altra parte passa e si riflette sullo specchio. Entrambi i raggi luminosi vengono ricevuti dall'occhio in *E*.



Bisogna immaginare che in realtà numerosi raggi luminosi attraversano l'intera superficie della lente e che i raggi luminosi che si riflettono sul fondo della lente coincidono con altri raggi luminosi vicini, che si riflettono sul vetro immediatamente accanto. Tali raggi si uniscono e formano i vari cerchi di interferenza.

Potremmo fare un paragone con il pezzo di bolla in cui la luce si riflette sia dalla superficie che dal fondo. In questo caso, il pezzo di bolla è stato sostituito dallo spazio aperto tra la lente e lo specchio. In questo caso il “pezzo” è costituito dallo spazio aperto d'aria tra la lente e lo specchio. Ma il principio rimane lo stesso.

¹ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Newtonring#/media/Bestand:Newton-rings.jpg>