

FISICAST

per
SxT

La luce

di

Giovanni Organtini



La luce

Giovanni Organtini

Il 2015 e' stato proclamato dall'ONU Anno Internazionale della Luce. In questa puntata celebriamo la ricorrenza con Giovanni Organtini, Professore di Fisica di Sapienza Università di Roma, che ci racconta la straordinaria storia della comprensione della natura della luce.

C: Giovanni, ho sentito dire che il 2015 è stato proclamato dall'ONU Anno Internazionale della Luce. C'è un motivo particolare?

G: I motivi sono tanti. Uno di questi è che nel 2015 saranno trascorsi 1000 anni dalla pubblicazione di uno dei primi trattati scientifici sull'ottica a cura di uno scienziato di nome Ibn Al-Haytham, originario di una zona nell'attuale Iraq, che nel 1015 pubblicò il Kitab al-Manazir (che vuol dire Libro dell'Ottica).

C: di che parlava questo libro?

G: non ci crederai, ma già nel 1015 Al-Haytham aveva compreso come si forma un arcobaleno, come funziona la vista e sapeva addirittura come costruire una specie di fotocamera o meglio quella che si chiama una "camera oscura" che ne è il precursore.

C: ricordo che abbiamo parlato degli arcobaleni in una delle puntate di fisicast.

G: infatti. Il suo lavoro, come spesso accadeva a quell'epoca, fu ignorato per molto tempo, ma nel 1600 fu riscoperto e influenzò molto il pensiero degli scienziati dell'epoca, che grazie anche a quanto riportato nel trattato di Al-Haytham svilupparono le moderne teorie sulla luce. Il nome di Al-Haytham si era modificato nel corso del tempo per diventare Alhazen, che è il nome dato a uno dei crateri della Luna.

C: e quali teorie ha contribuito a sviluppare Al-Haytham?

G: partiamo dalla teoria più antica dell'era moderna, perché la storia delle scoperte scientifiche sulla luce è particolarmente interessante.

C: ok, son tutt'orecchi.

G: uno dei più celebrati lavori sullo studio della luce in tempi relativamente moderni fu quello di Newton, che quando lo pubblicò era già famosissimo e quindi il contenuto di quei lavori fu preso molto sul serio, conoscendo la fama e il rigore dell'autore. In quel trattato Newton, in seguito a un certo numero di esperimenti eseguiti nel suo laboratorio, era giunto alla conclusione che la luce fosse composta di un flusso di moltissime particelle che si muovevano a grandissima velocità, sempre in linea retta.

C: e si sbagliava?

G: calma! In fisica non è così facile dire cosa è sbagliato e cosa è giusto. Tutti i dati a disposizione di Newton, infatti, giustificavano perfettamente questa interpretazione: la luce viene riflessa in modo tale che l'angolo di riflessione sia uguale a quello d'incidenza, per esempio, e quindi si comporta come una palla da biliardo che rimbalza sulla sponda con un angolo uguale a quello con il quale la colpisce. Anche la rifrazione si può spiegare con la teoria corpuscolare...

C: aspetta. Ricordami cos'è la rifrazione?

G: la rifrazione è quel fenomeno per il quale la cannuccia immersa in un bicchiere d'acqua sembra piegata (in certi casi spezzata) nel punto in cui s'immerge. Succede perché quando la luce passa da un mezzo trasparente a un altro cambia direzione, quindi quando giunge al tuo occhio la luce proveniente dall'acqua sembra in realtà provenire da un'altra parte.

C: e questo come si spiega?

G: sai come fa un mezzo cingolato a sterzare?

C: non ha il volante?

G: no. Con i cingoli non puoi sterzare come con le ruote di un'automobile, così il pilota fa avanzare i cingoli a velocità diverse: se per esempio rallenta il destro e accelera il sinistro, il mezzo sterza verso destra, perché la sua parte sinistra avanza più rapidamente, mentre quella destra resta indietro.

C: e quindi?

G: lo stesso si può pensare della luce: immagina tanti "corpuscoli di luce" che avanzano come un plotone di militari. Quando questi devono fare una curva, quelli che si trovano all'interno rallentano (al limite si fermano proprio), mentre quelli che stanno all'esterno allungano il passo. In questo modo, avanzando rispetto a quelli che si trovano dal lato interno della curva, si portano avanti e il plotone cambia direzione. Se i corpuscoli di cui la luce potrebbe essere formata, passando da un mezzo all'altro, rallentassero, rimarrebbero indietro rispetto a quelli che non hanno ancora raggiunto il confine tra i due mezzi e si comporterebbero quindi come il plotone di cui parlavamo. Il risultato sarebbe che la direzione di propagazione della luce, che coincide con quella del fronte del plotone di corpuscoli, cambia.

C: ma la velocità della luce non è costante? O ricordo male?

G: la velocità della luce è sempre la stessa nel vuoto! Quando la luce passa attraverso un materiale trasparente diverso cambia velocità. Quella della luce nel vuoto è la massima velocità possibile.

C: quindi il fatto che Newton conoscesse i fenomeni della riflessione e della rifrazione lo portò a ipotizzare che la luce fosse composta di corpuscoli? Sembra ragionevole...

G: e infatti lo è. Newton fece anche esperimenti con i prismi, che disperdono la luce: se fai passare luce bianca attraverso un prisma di vetro, il fascio si apre a ventaglio mostrando tutti i colori dell'arcobaleno.

C: e questo come si spiega?

G: nello stesso modo. Se ammetti che la luce bianca sia composta di corpuscoli diversi, ciascuno dei quali colpendo l'occhio provoca una diversa sensazione di colore, puoi pensare che ogni corpuscolo, per così dire di colore diverso, rallenti più o meno degli altri passando dall'aria al vetro. Così l'angolo con il quale il raggio di luce colorato emerge dal vetro dipende dal colore della luce.

C: ok, capito. Ma ho come la sensazione che stai per dirmi che le cose non stanno così.

G: infatti! C'è un'altra possibile spiegazione per tutto questo. Anche le onde si possono riflettere e subiscono il fenomeno della rifrazione. L'eco, per esempio, non è che la riflessione delle onde sonore, mentre il fatto che le onde del mare arrivino sulla costa sempre muovendosi verso la battigia e mai perpendicolarmente a questa è dovuto al loro rallentamento quando il fondale diventa meno profondo, il che ne modifica la direzione di propagazione.

C: mi stai dicendo che la luce potrebbe essere un'onda?

G: sì, ti sto dicendo proprio questo.

C: e come si fa a decidere?

G: questo ce lo ha detto Jean-Baptiste Fresnel nel 1815.

C: E come si fa?

G: basta trovare un fenomeno al quale le onde sono soggette e le particelle no.

C: la fai facile tu. E quale sarebbe?

G: la diffrazione

C: la diffra...che?

G: la diffrazione è un fenomeno tipico delle onde che consiste nel fatto che la forma del fronte d'onda si modifica quando un'onda incontra un ostacolo. Avrai notato che quando sei su una spiaggia e di fronte, in mare, c'è una diga con delle aperture, posta lì per interrompere il moto ondoso che eroderebbe la costa, la forma della spiaggia è semicircolare. Si vede bene su Google Maps nella zona lungo il litorale romano. Le onde piane che arrivano dal mare aperto, incontrando l'ostacolo della diga non possono più propagarsi, ma nei punti in cui la diga è aperta le onde continuano ad andare avanti. Ma così la loro forma cambia: se l'apertura è abbastanza piccola le onde si comportano come se avessero origine nel punto corrispondente all'apertura e si propagano con fronti d'onda circolari, erodendo la costa dandogli proprio quella forma.

C: e la luce?

G: se la luce è un'onda deve poter essere diffratta. In sostanza, se fai passare della luce attraverso fenditure sufficientemente strette, quello che ti aspetti di vedere è che la luce che prima d'incontrare l'ostacolo si propagava in linea retta, dopo l'ostacolo si propaga in tutte le direzioni.

C: e questo succede?

G: succede, sì. E probabilmente hai anche assistito a questo fenomeno senza rendertene conto. Hai presente quando sei in macchina, di sera, e osservi le luci delle altre macchine, i semafori e i lampioni attraverso un parabrezza un po' sporco, sul quale hai passato da poco il tergicristallo?

C: sì: le luci sembrano formare delle righe verticali, hai ragione...

G: più che verticali sono perpendicolari alla direzione dei sottilissimi solchi lasciati sulla polvere depositata sul parabrezza dal passaggio del tergicristallo. Quei solchi sono abbastanza piccoli da provocare il fenomeno della diffrazione perché la sporcizia impedisce alla luce di propagarsi, mentre il solco agisce come una fenditura. La luce che giunge su questa fenditura si propaga in tutte le direzioni e interferisce con quella che proviene dagli altri solchi producendo la caratteristica figura di diffrazione: l'immagine dell'oggetto da cui proviene la luce è ripetuta tante volte nella direzione perpendicolare a quella lungo la quale sono allineate le fenditure.

C: quindi la luce è un'onda!

G: per forza! Se fosse composta di corpuscoli questi o attraversano la fenditura nella direzione in cui si stanno muovendo o sono fermati dallo schermo costituito dallo sporco sul parabrezza.

C: quindi è stato Fresnel a scoprire la vera natura della luce.

G: Fresnel, nel 1815, quindi 200 anni prima dell'Anno Internazionale della Luce (un altro motivo per celebrare questa ricorrenza), pubblicò un articolo nel quale, analizzando i risultati sperimentali ottenuti dal fisico Thomas Young, dimostrò che la luce dev'essere considerata un'onda. Fu difficile da accettare perché l'influenza di Newton era ancora molto forte, sebbene fosse morto da quasi 90 anni.

C: io però ricordo che in una precedente puntata di Fisicast mi avevi convinta del contrario...

G: ricordi bene, infatti. Era la puntata sull'effetto fotoelettrico.

C: ehi! A che gioco giochiamo? Prima mi convinci che la luce è fatta di corpuscoli, poi che è un'onda e ora vuoi di nuovo convincermi che non è così?

G: È proprio così. La scienza, contrariamente a quel che pensano alcuni, non è immutabile nel corso del tempo e non è così rigida come può sembrare ai profani...

C: in effetti con Fisicast lo avete dimostrato più volte...

G: e gli studi sulla natura della luce su questo sono particolarmente istruttivi. Ricorderai che l'effetto fotoelettrico consiste nella capacità della luce di estrarre elettroni dai metalli.

C: non ricordo bene, ma andrò a riascoltare quella puntata appena vado a casa

G: ok, allora non mi dilungherò illustrando nuovamente perché, per spiegare l'effetto fotoelettrico, è necessario ipotizzare che la luce sia composta di corpuscoli detti fotoni.

C: ma allora come si spiega la diffrazione?

G: si spiega invocando la natura duale dei costituenti dell'Universo: dall'effetto fotoelettrico si è capito che l'Universo è quantistico. Quel che abbiamo sempre pensato essere formato di particelle (elettroni, protoni, etc.), si comporta, a livello microscopico, come un'onda e tutto ciò che crediamo essere un'onda, come la luce, a livello microscopico si comporta come una particella. In sostanza la luce non è né un'onda né una particella, ma in qualche modo è tutt'e due le cose contemporaneamente (o nessuna delle due, se preferisci). In un certo senso puoi pensare che la luce "nasce" e "muore" comportandosi da particella, ma si propaga come un'onda.

C: ma è incredibile: come può una particella comportarsi da onda? Immagino che un elettrone che incontra uno schermo con un buco o ne viene respinto oppure continua la sua corsa indisturbato!

G: è così, infatti, ma se invece di un elettrone ne mandi tanti, al di là dello schermo si forma quella che si chiama una "figura di diffrazione". È come se ciascun singolo elettrone sia sparito attraversando la fenditura ricomparendo più avanti in posti diversi da quelli attesi con una probabilità che dipende dall'angolo formato tra la direzione di volo degli elettroni iniziali e quella degli elettroni finali. E questa probabilità ha un andamento proprio uguale a quello previsto dalla diffrazione.

C: vuoi dire che se inviassi elettroni su uno schermo con un piccolo buco, dall'altra parte vedrei elettroni provenire dal buco muovendosi in tutte le direzioni come fa l'onda del mare che attraversa l'apertura di una diga?

G: esattamente!

C: Beh, incredibile. Non avrei mai pensato che fosse stato così complicato capire cos'è la luce.

G: sì, la storia della comprensione della luce è davvero istruttiva. Questa storia ci dice, ad esempio, che una teoria scientifica, anche quando funziona benissimo, non è necessariamente "per sempre". L'interpretazione dei fatti sperimentali può cambiare quando se ne scoprono di nuovi o quando sono reinterpretati alla luce di nuovi fatti. Gli scienziati non sono i depositari della verità. Noi sappiamo solo qual è l'interpretazione più coerente con le cose che sappiamo in un dato momento storico. E non è detto che queste interpretazioni siano capaci di spiegare tutti i fenomeni che conosciamo.

C: ma in fondo il bello della ricerca scientifica è questo, no?

G: naturalmente! Che gusto ci sarebbe a studiare la fisica sapendo che non possiamo modificarla in alcun modo? La nostra ambizione è quella di comprendere sempre di più come funziona l'Universo e, per questo, di demolire, almeno parzialmente, l'impianto costruito dai nostri predecessori.

C: alla faccia di quelli che sostengono che la "scienza ufficiale" ostacola le idee...come dire...eretiche...

G: come se ci fosse una scienza ufficiale! A noi fisici piacerebbe molto scoprire una violazione delle nostre leggi, ma purtroppo questo accade raramente. Ma quando accade, il rispetto che si deve sempre ai grandi scienziati non può ostacolare il progresso scientifico. All'epoca di Fresnel, Newton era considerato un'autorità le cui teorie nessuno osava mettere in dubbio, ma di fronte ai dati sperimentali non si poteva che ammettere che sbagliava. E lo stesso è accaduto con Einstein: il grande scienziato non credeva alla meccanica quantistica (pur avendo contribuito non poco a gettarne le basi con la spiegazione dell'effetto fotoelettrico), ma per quanto ne sappiamo oggi aveva torto.

C: certo che la storia della luce è davvero sorprendente. Prima si pensava fosse composta di corpuscoli, poi si scopre che invece si tratta di onde; infine mi sembra di poter dire che non è né l'uno né l'altra. Capisco che vogliate celebrarla!

FINE