

Experimentum Crucis (1672)

Tra i dieci esperimenti più belli nella storia della scienza non può mancare *l'experimentum crucis* di Newton, esso oltre a rivelare un fatto nuovo sulla luce indica il modo di procedere per capire un fenomeno difficile: sperimentare a lungo e con impegno, e poi prendere la dimostrazione più economica e limpida che si riesca a trovare, indicare i modi in cui essa può fallire e mostrare quali nuove connessioni renda possibile. Newton, come Eratostene con le sue ombre, guardò oltre i colori, e come Galileo con il suo metodo, rivelò qualcosa sulla natura stessa della sperimentazione.

Nel 1672 Isaac Newton comunica ai membri della Royal Society di Londra di aver compiuto *“una scoperta filosofica, che a mio giudizio è la scoperta più strana se non la più considerevole, che sia stata compiuta finora nelle operazioni della natura”*. Newton, pur non mostrandosi il prototipo della modestia, ha veramente effettuato un esperimento che cambia la prospettiva da cui guardare la natura. Egli fornisce ai membri della società la descrizione di un esperimento che mostra in modo decisivo come la luce solare, detta luce bianca, non sia pura nel modo in cui si era creduto fino ad allora, ma composta da una miscela di colori. Newton stesso definisce il suo *Experimentum crucis*, o esperimento cruciale, una pietra miliare nella storia della scienza e al tempo stesso una dimostrazione della validità del metodo sperimentale.

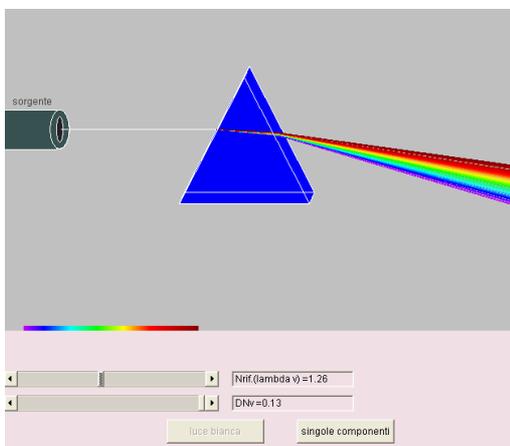
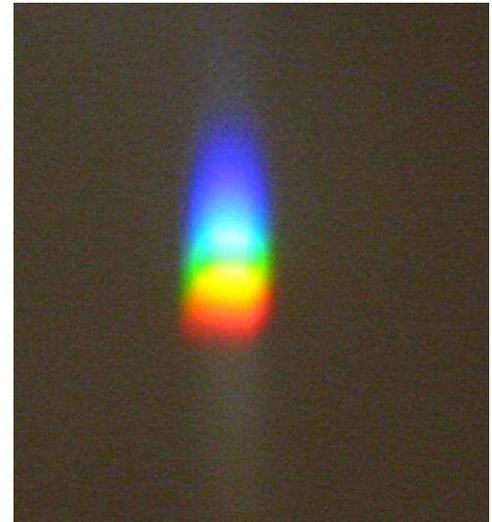
In quell'anno Newton aveva già posto le basi della legge di gravitazione universale, delle leggi sul moto e del calcolo infinitesimale, ma non aveva ancora pubblicato molto, per pubblicare lo *“Opticks”* aspetterà il 1704, poco dopo la morte del suo arcinemico Robert Hooke avvenuta nel 1703, ma egli aveva già attirato l'attenzione su di sé per aver costruito un ingegnoso nuovo tipo di telescopio a riflessione (1671). L'ottica e lo studio della luce stava acquistando in quegli anni sempre maggiore importanza sia perché specchi e lenti erano di qualità meno grossolana e sia perché si era superato il pregiudizio secondo il quale le immagini prodotte non meritassero attenzione in quanto innaturali, distorte ed ingannevoli.

Lo strumento principale di Newton era il prisma, che già destava curiosità per la sua capacità di mostrare tutti i colori dell'arcobaleno. Newton, nella sua stanza oscurata esaminò il fenomeno da vari punti di vista, cambiando varie configurazioni di prismi e lenti; egli scrisse: *“il metodo migliore e più sicuro di filosofare sembra essere, primo, di investigare diligentemente le proprietà delle cose e di stabilirle attraverso esperimenti, e poi procedere più lentamente a ipotesi per spiegarle”*. Del resto questa era anche la filosofia della



Royal Society of London for Improving Natural Knowledge, il cui motto in latino recitava: “*Nullius in verba*”, quasi una sfida all’ “*Iipse dixit*” aristotelico.

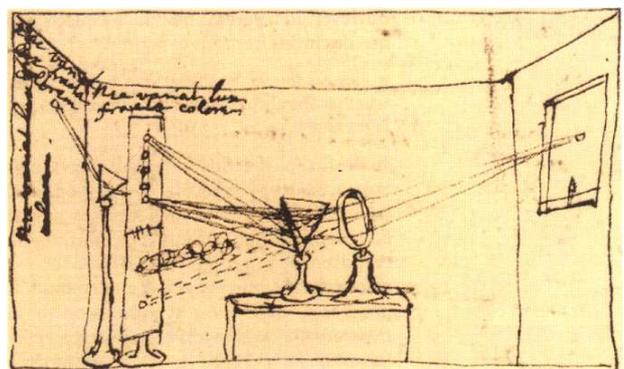
Per riprodurre l’esperimento in classe si potrebbero utilizzare gli stessi strumenti e la descrizione che Newton fornisce: “... *mi procurai un prisma triangolare di vetro, per fare con esso esperimenti sui famosi fenomeni dei colori. E avendo in ordine a ciò oscurata una stanza e praticato un piccolo foro nell’imposta della finestra per consentire il passaggio della luce del sole in quantità conveniente, collocai il prisma all’ingresso di esso in modo che potesse essere rifratta sulla parete opposta. Vedere i vividi colori prodotti fu da principio uno svago molto piacevole*”. Un prisma del genere può essere acquistato a pochi euro, e se la giornata è soleggiata e l’aula esposta a meridione è dotata di tapparelle, è possibile ottenere immagini simili a quella qui fotografata.



Purtroppo non sempre queste favorevoli circostanze si verificano e allora si potrebbe ricorrere ad un esperimento simulato, se si dispone di una aula di informatica collegata ad Internet si trovano su vari siti (ad es. <http://oldserver.ba.infn.it/~garuccio/didattica/spettroscopi/PRISMAOTTICO1.htm>) delle simulazioni animate in cui è possibile trascinare con il mouse il prisma e, proprio come fece Newton, cambiarne la posizione relativa alla sorgente di luce, l’inclinazione e l’indice di rifrazione del mezzo per osservare l’effetto prodotto sia pur virtuale.

Quello che non si può vedere in questa simulazione al computer è ciò che sorprese Newton al di là del gioco di colori: *“rimasi sorpreso nel vedere i colori disposti secondo una forma oblunga, mentre, per le note leggi di rifrazione, mi attendevo che fosse circolare”*. In effetti per quello che si sapeva all’epoca, dal prisma sarebbe dovuto uscire un raggio con lo stesso profilo circolare del foro di entrata, invece l’immagine osservata aveva una forma oblunga con curve semicircolari in alto e in basso unite da tratti rettilinei. Newton notò anche un secondo carattere curioso: mentre le sezioni rettilinee dell’immagine erano ben marcate, le curve ai due estremi, rosso e blu, erano confuse. Da cosa potrebbero derivare? Newton provò a modificare tale figura, utilizzando prismi di vario spessore e facendo passare la luce attraverso parti diverse del prisma, ruotò il prisma sul suo asse, modificò la grandezza del foro nella parte e provò anche a mettere il prisma fuori della finestra e a modificare il primo stesso. Nulla risultò incidere sulla forma dell’immagine. Cominciò a sospettare che il prisma facesse in qualche modo incurvare i raggi di luce e così progettò una altra serie di esperimenti: *“l’eliminazione graduale di questi sospetti mi condusse infine all’Experimentum crucis, che fu il seguente: presi due assicelle, e una la collocai subito dietro al prisma sulla finestra in modo che la luce potesse passare attraverso un piccolo foro, praticato in essa a questo scopo, e cadere sull’altra assicella che collocai a una distanza di circa 12 piedi (circa 3,5m), avendo prima praticato anche in essa un piccolo foro, affinché una parte della luce incidente lo attraversasse. Dietro questa seconda assicella collocai poi un altro prisma, in modo che la luce, attraversate entrambe le assicelle, passasse anche attraverso quello e venisse di nuovo rifratta prima di arrivare sulla parete. Fatto questo, presi in mano il primo prisma, e ruotatolo lentamente avanti e indietro intorno al proprio asse, per fare sì che le diverse parti dell’immagine, proiettate sulla seconda assicella, passassero una dopo l’altra attraverso il foro praticato in essa, potei osservare su quali*

luoghi della parete il secondo prisma le avrebbe rifratte. E per effetto della variazione di quei luoghi, notai che la luce diretta verso quell’estremità dell’immagine, in direzione della quale avveniva la rifrazione del primo prisma, subiva nel secondo prisma una rifrazione considerevolmente maggiore di quella della luce

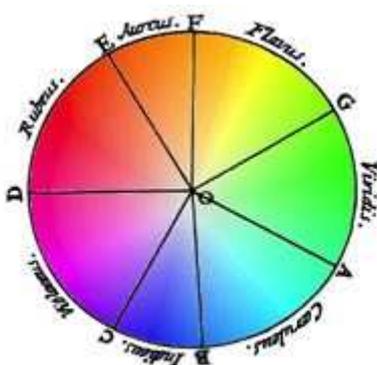


diretta verso l’estremità opposta”. Il diagramma qui riportato fu disegnato dallo stesso Newton e riportava la seguente didascalia: *“la luce non cambia colore quando viene rifratta”*. Nello schema, un sottile fascio di luce attraversa un primo prisma, per aprirsi a ventaglio verso una assicella forata per far passare un raggio di luce di un unico colore attraverso un secondo prisma. Egli osservò che:

la luce blu, molto rifratta dal primo prisma lo era anche dal secondo e la luce rossa meno rifratta dal primo prisma lo era anche nel secondo. E osservò che il modo in cui i raggi venivano rifratti non dipendeva dall'angolo di incidenza. Concluse che i prismi non modificavano i raggi di luce, ma si limitavano a separarli (rifrangere in latino significa rompere) e che l'immagine dai colori dell'iride aveva la forma oblunga perché il modo in cui il prisma spandeva il fascio di luce dipendeva dal comportamento dei singoli colori componenti: "la causa della lunghezza dell'immagine consiste nel fatto che la luce è costituita di raggi diversamente rifrangenti i quali, indipendentemente dalla diversa incidenza erano proiettati verso i diversi luoghi della parete.

Una prima **conseguenza** di ciò fu il perfezionamento dei telescopi, fin qui limitato non tanto dalla mancanza di lenti correttamente formate, ma dal fatto che la luce stessa è una miscelazione eterogenea i raggi diversamente rifrangibili. Avendo sperimentato che neppure una lente perfetta avrebbe potuto raccogliarli tutti nello stesso punto, Newton decise di usare specchi invece di lenti, infatti gli specchi riflettono la luce per focalizzarla sempre con lo stesso angolo, costruì così il primo telescopio a riflessione. Osservò inoltre che al medesimo grado di rifrangibilità appartiene il medesimo colore e al medesimo colore appartiene il medesimo grado di rifrangibilità e inoltre che il colore di un raggio, e quindi la sua rifrangibilità non vengono modificati dalla sostanza che esso attraversa, infatti una qualsiasi tipo di raggio che sia stato ben diviso dagli altri conservava ostinatamente il proprio colore nonostante tutti i tentativi di mutarlo.

Ricostruire in classe l'experimentum crucis è piuttosto complicato, ma questa la seconda fase dell'esperimento può essere ricostruita, sia pur limitatamente al colore rosso, di cui si può ottenere facilmente un raggio tramite una piccola penna laser, per far notare che, con il prima, non si riesce a spezzarlo ancora in più colori.



In seguito a questa serie di esperimenti, Newton giunse alla conclusione che la luce bianca non è originale, ma composta, fatto che aveva già trovato conferma in alcuni esperimenti in cui aveva usato prismi e lenti addizionali per ricombinare la luce che aveva precedentemente separato. Così, la nota esperienza di miscelazione dei colori, che solitamente non manca di essere eseguita già nella scuola secondaria di primo grado, porta il nome di "cerchio di Newton".

Newton spiegò anche un “imprevisto esperimento” compiuto da Robert Hooke, il curatore degli esperimenti della Royal Society e suo grande rivale. Hooke aveva fatto passare della luce attraverso un vaso pieno di liquido rosso e uno pieno di liquido blu. Ciascuno di essi considerato da solo era abbastanza trasparente, ma quando si voleva far passare la luce attraverso tutti e due, diventavano del tutto opachi. Hooke non era riuscito a spiegare il fenomeno, ma ora Newton poteva mostrare che lo sconcerto di Hooke era dovuto all’assunto che la luce fosse una sostanza uniforme, mentre in realtà era composta da molti tipi di raggi, il vaso blu lasciava passare una parte, ma bloccava tutti gli altri, e così anche il vaso rosso. Poiché i due vasi non lasciavano passare gli stessi tipi di raggi, nessun raggio poteva passare liberamente attraverso entrambi.

Newton, in virtù dell’*experimentum crucis*, fu in grado di spiegare il colore dei corpi naturali. I corpi sono “*variamente qualificati a riflettere un tipo di luce più abbondantemente di un altro*” e descrisse altri esperimenti in una camera oscurata, nella quale aveva proiettato luce di vari colori su diversi oggetti, trovando che “*con quel mezzo si può far apparire qualsiasi corpo di qualsiasi colore. Al buio ci sono colori? E il colore è una proprietà degli oggetti? No, il colore è una proprietà della luce che li illumina*”.

Riprodurre l’*experimentum crucis* è piuttosto difficile e lo stesso Newton ammonisce che il prisma deve essere di qualità elevata, la stanza dovrà essere assolutamente al buio per scongiurare che della luce estranea si mescoli con i colori confondendo il problema e poi aggiunge “*questo suppongo è sufficiente per iniziare esperimenti di questo genere, se poi qualcuno della Royal Society sarà tanto curioso da proseguirli, io sarei molto contento di essere informato dei risultati. Poiché se qualche cosa appare difettosa, o contraddice questa relazione, potrò avere l’opportunità di dare altre indicazioni oppure di riconoscere i miei errori, posto che ne abbia commessi*”. La lettera fu pubblicata nelle *Philosophical Transactions* e fu un modello di articolo scientifico che generò la prima controversia su rivista. Infatti l’esperimento sfidava l’ortodossia del momento, sostenuta a loro tempo da Aristotele e Descartes, secondo la quale i prismi creavano i colori modificando la luce bianca, pura ed omogenea. Naturalmente molti criticarono l’esperimento e in particolare Hooke criticò aspramente le conclusioni di Newton. Nel carteggio che seguì Newton sarcasticamente scrisse: “*se io ho visto più lontano è perché ero issato sulle spalle di giganti*”, tale frase oltre ad elogiare il lavoro di suoi illustri predecessori del calibro di Kepler e Galilei, escludeva che tra questi ci fosse il suo nemico, che per natura era piccolo e curvo.