

MODULO 3

LUCE E COLORI

OBIETTIVO:

conoscere la luce e la teoria dei colori

TARGET:

Scuola elementare e media

(La teoria che segue è espressamente scritta per la scuola elementare)

TEORIA:

La luce è costituita da vibrazioni che attraversando lo spazio che ci circonda, permette ai nostri occhi di vedere gli oggetti che si trovano intorno a noi. Se un corpo è illuminato, questo riflette quasi come uno specchio la luce che riceve e i nostri occhi riescono a vederlo.

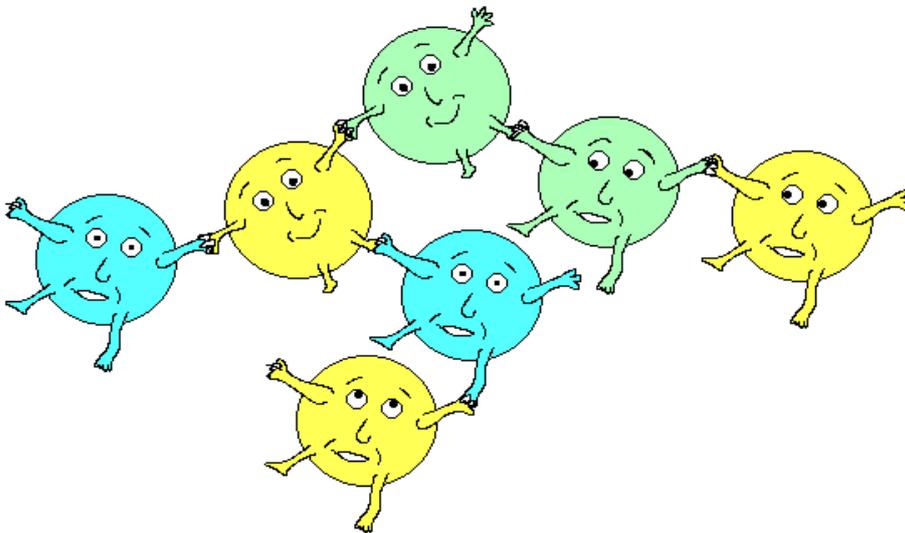
I corpi non sono tutti uguali, ogni corpo riflette la luce in modo diverso. Ecco perché vediamo le cose attorno a noi di vario colore. Se tutti i corpi riflettessero interamente la luce che essi ricevono, rassomiglierebbero a tanti specchi simili a quelli, che abbiamo nella nostra stanza da bagno o simili a quello montato nella macchina di papà, che serve a vedere le auto che si trovano nella strada dietro di lui.

Perché i corpi riflettono la luce in modo diverso ?

I corpi sono fatti di atomi e ci sono molti atomi in natura. Gli atomi non sono tutti uguali, ci sono atomi diversi per ciascun elemento presente intorno a noi. Alcune sostanze sono costituite da molti atomi tra loro diversi e raggruppati insieme, per questa ragione parliamo di molecole. Le molecole sono quindi, raggruppamenti di atomi. La carta è costituita da molecole di carta (vedi nota fine teoria); l'acqua è costituita da molecole di acqua; la plastica è costituita da molecole di plastica; il mattone, che costituisce le case, è costituito da molecole di mattone e così via. Anche gli alberi, i fiori, le persone, sono costituiti di molecole. Se osserviamo la nostra mano, essa è costituita da complesse molecole, che costituiscono le cellule, queste ultime a loro volta, compongono la nostra mano. In realtà quello che osserviamo della nostra mano è la pelle che compone la parte esterna dei nostri corpi. La luce non riesce ad oltrepassare la pelle quindi noi vediamo solo la pelle. Ma torniamo alla nostra discussione sui corpi:

Che differenza c'è fra atomi e molecole ?

La natura ha creato gli atomi, poi questi si sono organizzati in molecole. Le molecole sono costituite da tanti atomi anche diversi fra loro. Una molecola è quindi come abbiamo già detto, un gruppo di atomi. Per esempio, se tutti i bambini di una scuola li immaginiamo come atomi, le molecole possono essere rappresentate da gruppi di bambini diversi che si tengono la mano. Un bambino di colore e uno di razza bianca possono costituire una molecola. Una classe di una scuola elementare può costituire una grossa molecola. Un bambino solitario invece può essere rappresentato come un solo atomo. Gli atomi sono molto contenti di raggrupparsi fra di loro, e sono ancora più contenti se sono tutti diversi, è proprio questa caratteristica che permette alla natura di generare forme molto diverse e meravigliose. **"vedi come la natura è contenta di raggrupparsi con gruppi o elementi diversificati. Rispetta sempre l'amico un po' diverso che gioca con te, la natura è viva perché esistono le diversità".**



- Gli atomi raggruppati in una molecola-

Fig. 1.3

Ora possiamo rispondere alla domanda; perché i corpi riflettono la luce in modo diverso ? I corpi sono diversificati per composizione di atomi e molecole. Ecco perché ogni corpo riflette la luce in maniera tutta originale. Ogni corpo presenta un modo suo unico di riflettere la luce.

Cosa sono i colori ?

Abbiamo detto che la luce è costituita da vibrazioni, ma ci sono vibrazioni molto forti, vibrazioni medie e vibrazioni deboli. Per parlare più correttamente diciamo che queste vibrazioni hanno una loro frequenza caratteristica. Appunto una frequenza di vibrazione.

Un'onda luminosa caratterizzata da una frequenza molto forte si presenta ai nostri occhi con un colore violetto.

Un'onda luminosa caratterizzata da una frequenza molto piccola è invece di colore rossa. Gli altri valori intermedi sono distinti da tutti gli altri colori che conosci.

Chiedi a papà a mamma oppure ad un amico più grande di te quanti colori conosce. Ci sono infiniti colori perché infinite possono essere le vibrazioni della luce.

Tuttavia noi umani abbiamo pensato di dividere i colori in sette tipi principali, essi sono: **il rosso, l'arancione, il giallo, il verde, il blu, l'indaco** e il **violetto**. Questi colori sono anche chiamati colori dell'iride o colori dell'arcobaleno. Essi rappresentano i vari toni delle vibrazioni della luce.

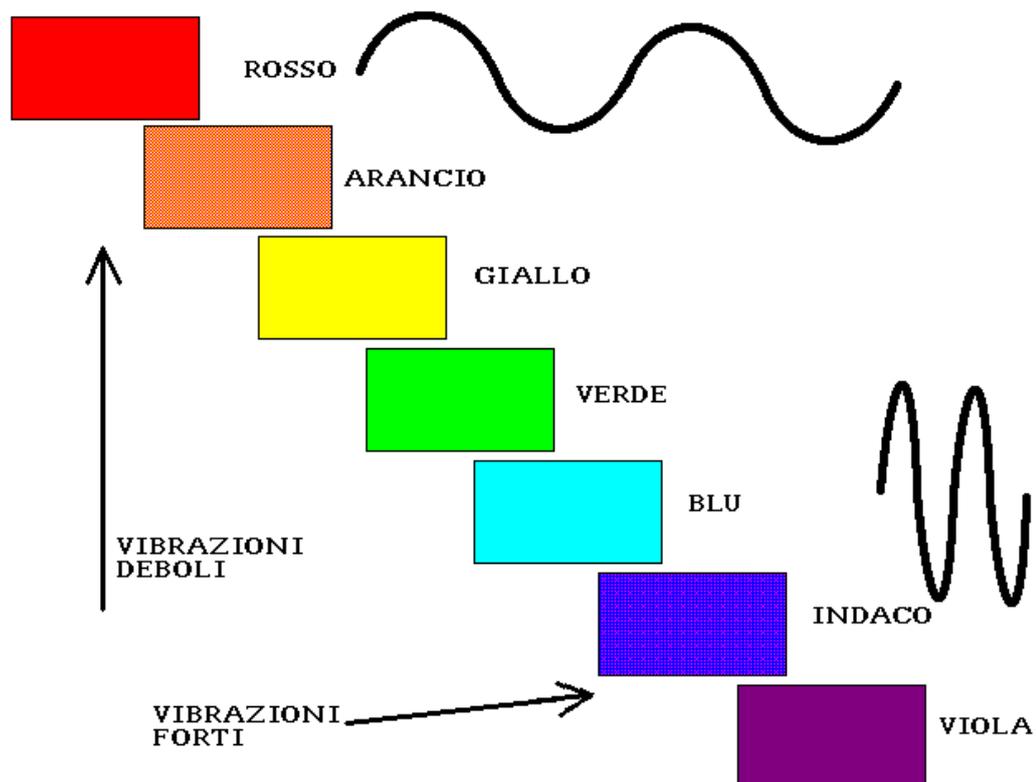


Fig. 2.3 - Colori e frequenze corrispondenti -

Perché la luce del sole è biancastra ?

La luce del sole o anche quella di una nostra comunissima lampadina elettrica è ricca di tutte le vibrazioni colorate che abbiamo parlato fino ad ora. In pratica, dal sole, ci giungono onde luminose rosse, onde luminose verdi, onde luminose gialle e così via per tutti i colori conosciuti. Il nostro occhio quindi, in collaborazione con il nostro cervello, trasforma tutta questa serie di onde in una sensazione che noi traduciamo con il termine "**luce bianca**".

La luce bianca è quindi una sensazione prodotta dai nostri sensi quando ricevono contemporaneamente, onde luminose costituite da tutte le vibrazioni esistenti.

Il colore **nero** invece rappresenta la mancanza di qualsiasi stimolo luminoso. Quando noi vediamo il colore **nero** in realtà noi non percepiamo nessuna vibrazione luminosa.

Sono necessari tutti i colori per ottenere la sensazione del bianco ?

No, non sono necessari tutti i colori per generare la sensazione del bianco. È stato osservato, che bastano solo tre colori presenti contemporaneamente per generare la sensazione del bianco. Questi colori sono: Il rosso, il verde e il blu. Se quindi i nostri occhi vengono investiti contemporaneamente da un'onda luminosa rossa, una verde e un'altra blu, produce nella nostra vista una sensazione di bianco. Noi vediamo quindi solo il colore bianco. Ne più e né meno la stessa sensazione di bianco, che sperimentiamo se ad illuminare il nostro occhio ci fossero tutti i colori di cui prima abbiamo parlato. Inoltre è stato visto, che tramite questi tre colori, possono essere prodotti tutti i tipi di colori che costituiscono la serie dei colori dell'iride. Per questa ragione a questi colori è stato dato l'appellativo di "**colori principali in sintesi additiva**".

Perché se coloriamo con dei pastelli rossi, verdi e blu, non riusciamo ad ottenere tutti i colori conosciuti ? Inoltre, perché se misceliamo la plastilina colorata, abbiamo sempre colori più scuri ?

Perché, sommando tra loro i colori sopra un foglio di carta bianca, abbiamo dei toni che si producono per differenza di colore.

Per questa ragione si è pensato di definire altri colori principali, essi sono: il rosso, il giallo e il blu. A questi ultimi è stato dato l'appellativo di "**colori principali per sintesi sottrattiva**".

Questi ultimi sono i colori che con i tuoi pastelli puoi lavorare per ottenere un certo numero di tipi diversificati. Anche se usi la plastilina colorata, ti sarai accorto certamente, che mischiando alcuni colori avrai un colore risultante che segue le regole della sintesi sottrattiva di colore. Infatti, se mischi la plastilina **gialla** con la plastilina **blu**, otterrai una plastilina **verde**. Quindi, fai molta attenzione a non confonderti.

Il **rosso**, il **verde** e il **blu** sono considerati i colori principali per sintesi **additiva**.

Viceversa il **rosso**, il **giallo** e il **blu** sono invece i colori principali per sintesi **sottrattiva**.

La stampante a colori, per riuscire a stampare tutte le tinte necessarie a formare un'immagine, utilizza i tre colori principali della sintesi sottrattiva. Anzi per la precisione utilizza il **giallo** il **magenta** e il **cyano**. Questi ultimi, il magenta e il cyano sono tonalità molto vicine al rosso e al blu.

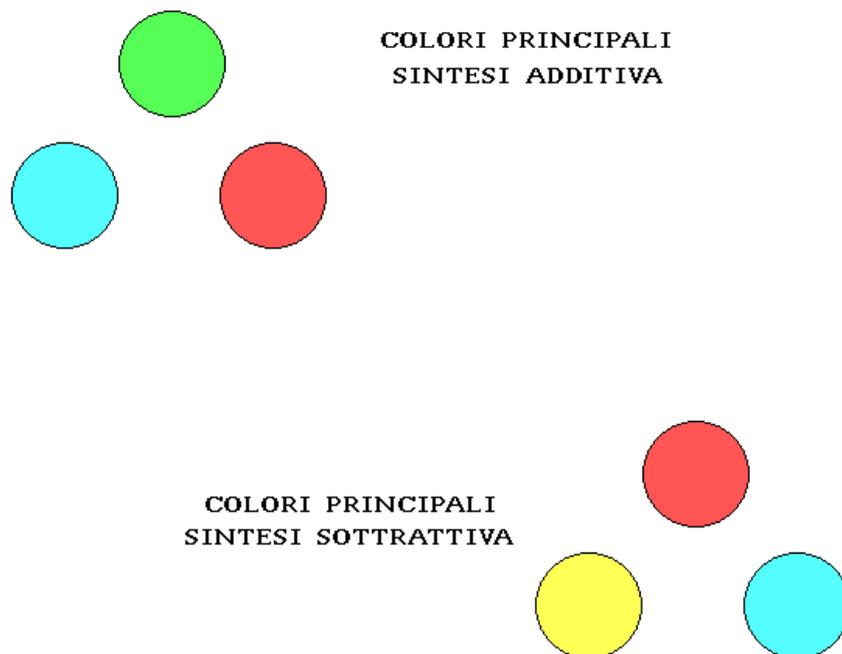


Fig. 3.3 - I colori principali -

NOTA :

Il lettore si sarà certamente accorto, che il testo relativo alla teoria di questo laboratorio è marcatamente scritto con un eccessivo livello di semplicità. Risulta palese, il mio tentativo di rivolgermi a studenti della scuola elementare del secondo o terzo anno di studio. Questo modo di scrivere può costituire un valido esempio per quell'insegnante che vuole essere capito da un siffatto pubblico di oratori, ma permette parimenti, un esempio di come tradurre concetti difficili con termini molto più semplici. Il lettore esperto avrà certamente notato che io ho parlato di "molecole della carta" o "molecole di mattoni". Queste espressioni non sono corrette da un punto di vista fisico e chimico. Questi materiali hanno una struttura molto complessa. Tuttavia questa affermazione può essere prodotta in relazione ad un pubblico di scolari appartenenti alla seconda o terza classe elementare a cui la relazione è destinata. Anzi, questa occasione mi permette di definire un altro importante assioma che riguarda gli insegnanti della formazione scientifica. **“L'insegnante a volte può essere anche costretto a dire qualche bugia”**. Queste parole sono state dette da uno dei più grandi divulgatori che io abbia conosciuto; sto parlando dell'Ing. Giacomo Giuliani che io conobbi come preside all'Istituto ITIS di Maddaloni - CE - (Villaggio dei Ragazzi) già nel 1975. A dire il vero l'affermazione ha una validità molto più ampia del suo significato letterale. Essa riguarda a volte trucchetti necessari nella preparazione di esperienze pratiche oppure come in questo caso, l'intenzione palese della menzogna (riferendosi agli atomi del mattone) per evitare di parlare a bambini di cose troppo complesse e per evitare quindi di distogliere l'attenzione dal concetto principale del discorso. È evidente che nel caso delle affermazioni fatte sui paradossali atomi di mattone o di carta si può anche alla fine della lezione effettuare in aula un qualche chiarimento sull'argomento.

LABORATORI

Introduzione:

La parte pratica di questo modulo è ricca di numerosi esperimenti sulla luce e sui colori selezionate in modo da essere adatti sia per lezioni di scuola primaria che per attività di formazione più complesse. Ovviamente, fra tutte le possibili sperimentazioni sull'argomento, ho preferito scegliere quelle più semplici e basilari attraverso le quali poter percorrere i punti salienti del nostro viaggio sulla comprensione delle leggi fisiche della luce e dei colori. Voglio approfittare di questo modulo per approfondire ulteriormente un concetto che ritengo importante ai fini didattici e sul quale mi sono già espresso nei precedenti moduli. Mi riferisco all'**elemento di attenzione**. A tal proposito ricordo che in una mia conferenza, per attrarre al massimo l'interesse della platea verso la problematica della fisica della luce, mostrai, prima di accingermi a parlare, una piccola lampadina accesa. Si trattava, come mostra la figura n. 4.3, di una semplicissima lampadina da 3,8V di tensione di filamento, connessa tramite il suo portalampadina ad una batteria piatta da 4,5V.



Fig. 4.3 - Una piccola lampada accesa costituisce per questa lezione, l'elemento di attenzione -

Questo semplice resoconto potrebbe portarvi a pensare, che questa banale tecnica di approccio è stata un modo brillante, “sembra quasi una battuta...” per rendere efficace una lezione rivolta esclusivamente ad un pubblico appartenente alla scuola primaria, composto in prevalenza da bambini, facilmente impressionabili da questo genere di cose. In realtà, questo modo di porsi, risulterà ancora più efficace nei confronti di un pubblico maturo, proprio perché disabituato a questo genere di approccio giocoso, riservato prevalentemente ai bambini. Paradossalmente, quello che io chiamo “**elemento di attenzione**” ha un effetto ancora maggiore su quella categoria di discenti abituata a lezioni più formali. Ovviamente, a seconda dei casi, oltre lo stupore iniziale sarà la bravura dell'insegnante, la sua capacità di sottolineare con le parole giuste, con le necessarie enfasi, il livello di approfondimento

ottimale a rendere efficace il proseguimento del discorso sulla luce. La piccola lampadina, resta comunque un semplice elemento scenografico su cui bisogna poi costruire tutta la giusta impalcatura didattica sulla quale dipanare l'argomento. Quando si parla di luce da un pulpito, spesso reso buio per esigenze di proiezione, non c'è niente di meglio, che avere un punto brillante (come quello ottenibile dalla nostra lampadina) che con il suo bagliore sostiene e rafforza il discorso. Segue qui di seguito ciò che parzialmente ricordo di un discorso che improvvisai, durante una conferenza sulla luce in cui, per pochi minuti iniziali, misi in funzione il mio elemento di attenzione, cioè accessi la mia piccola lampadina:

Che cosa è la luce..., questo bagliore caldo che si scaglia nell'oscurità. La luce è stata sempre concepita dagli uomini come il lato positivo..., il lato della divinità. Questo per contrapposizione alle tenebre, il lato buio, il regno del malvagio. Il Dio della luce e il suo contrapposto RexMundi, come proclamavano gli gnostici nel 1200 d.C. Tuttavia oggi noi vogliamo fare il punto sulla sua natura fisica. Vogliamo vedere come viene generata e gli effetti che essa produce. Vogliamo seguire questo brillio che si scaglia nello spazio sottoforma di onde elettromagnetiche manifestandosi a volte come una particella chiamata fotone ... eccetera..

Proprio in quell'istante apparve sulla lavagna luminosa la prima slide che mostrava la struttura della luce dalla quale iniziai la vera e propria lezione entrando nel vivo della relazione. A questo punto potei pure spegnere il lumicino prodotto dalla lampadina: aveva fatto egregiamente il suo dovere. Da quel momento di attenzione iniziale, l'azione comunicativa si protrasse perfettamente fino alla fine. Mi rendo perfettamente conto che, nel leggermi sicuramente percepirete una smania, una voglia incontenibile di proporre uno status, di ciò che contraddistingue la mia indole. Come già ribadito in precedenza, tuttavia, vi invito a non fraintendere questo atteggiamento. Ognuno ha una sua peculiare personalità e sue particolari inclinazioni e predisposizioni che vanno rispettate. Anzi, ciò che realmente mi interessa è che le idee proposte in questo testo siano la base di partenza sulla quale ogni bravo insegnante possa valorizzare la sua peculiare didattica attraverso i mille percorsi comunicativi nel campo della pratica e del laboratorio scientifico. La cosa più importante è che alla fine sarete voi a utilizzare fra le varie tecniche proposte nel testo, quelle che riterrete più idonee nei confronti del vostro obiettivo formativo adattandole al vostro modo di operare.

Entriamo ora nel vivo dell'argomento del modulo cominciando con la prima esperienza che ho programmato per voi.

1°Laboratorio COMPOSIZIONE ADDITIVA DEI COLORI

TARGET:

Scuola primaria

MATERIALE OCCORRENTE:

Tre torce elettriche dotate di filtri colorati in rosso, verde e blu (vedi testo).

Cerchiamo ora di descrivere, alcune tecniche molto semplici e allo stesso tempo efficaci dal punto di vista della comunicazione, per trattare gli argomenti che stanno alla base della fisica dei colori.

Per affrontare tematiche che riguardano la luce, a seguito soprattutto dei principi che stanno alla base della composizione dei colori di tipo additiva, ritengo fondamentale la costruzione di tre lampade elettriche, del tipo a pila, che consentono al docente di avere fasci luminosi dotati dei tre colori fondamentali (vedi anche testo di teoria). Questi tre colori, devono essere: **rosso**, **verde** e **blu**. Posso garantirvi che questo armamentario, vi risulterà indispensabile. Come sapete, gli allievi di una scuola elementare, sperimentano le leggi di composizione sottrattiva dei colori, tramite i loro pastelli colorati o tramite le miscele che fanno con la loro plastilina. Viceversa, per loro è assai più difficile sperimentare il caso opposto, cioè la composizione additiva dei colori. Tramite questo laboratorio, potete offrire ai vostri allievi un modo per comprendere queste leggi di composizione della luce oltre a trarne diletto e soddisfazione personale. Come vedrete fra breve, questa non è assolutamente un'esperienza di difficile preparazione. La parte più delicata, e che richiederà una certa cura, sarà quella di trovare le vernici colorate dotate delle caratteristiche idonee per preparare i filtri.



Fig. 5.3 - Proiettori a batteria opportunamente verniciati -

Questi filtri saranno successivamente posti davanti alle torce. Una volta ottenuti i tre filtri proiettanti con i colori puri (o fondamentali), potrete fondere i fasci di

luce, prodotti dalle torce elettriche sopra una parete chiara e ottenere tutti gli altri colori per sintesi additiva. Se avrete cura di accendere al buio le tre torce elettriche, che avete preparato, e di puntarle verso una parete bianca, dovrete osservare una colorazione biancastra nel punto di incontro dei tre fasci colorati. Se invece sulla stessa parete sovrapponete il fascio di luce proveniente dalla lampada rossa a quello proveniente dalla torcia verde, nel punto di incontro dei due fasci dovrete ottenere una colorazione giallastra. Ma come fare a disporre di tre fasci di luce colorati adattati a realizzare questi giochi di colore e a dimostrare ai vostri ascoltatori l'esattezza della teoria tricromatica ?

Personalmente ho risolto questo problema acquistando in un grande magazzino tre torce elettriche, che tra l'altro, per mia fortuna e per soddisfazione della mia mania di perfezione, ho trovato esteriormente colorate, proprio con i colori fondamentali usati nella sintesi additiva. Sto parlando del colore dell'involucro esterno delle torce. Tuttavia, anche se questo particolare può sembrare a prima vista marginale, ritengo che sia importante e che faccia scena. E quando si tratta di comunicare in modo convincente penso che questo genere di cura del dettaglio, sia importante.

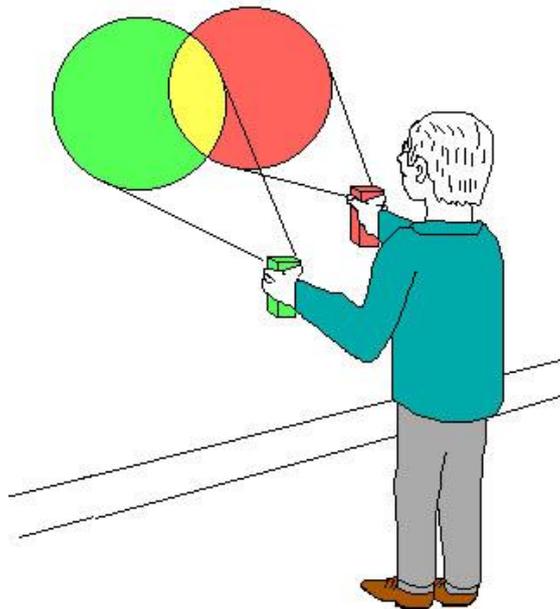


Fig. 6.3 - Proiezione di due fasci di luce colorata per ottenere il giallo -

È sufficiente quindi, a questo punto, andare in un magazzino di colori e chiedere quelli specifici per il vetro. Non vi nascondo che troverete qualche difficoltà a trovare tinte in grado di darvi la purezza cromatica necessaria unita alla trasparenza richiesta dal nostro scopo. In ogni caso, in mancanza d'altro, si sappia che in commercio esistono numerosi tipi di vernici trasparenti per vetro a base di petrolio. Questi prodotti sono in genere adoperati da artisti e artigiani per decorare vetri e vetrate. Per produrre il vostro filtro cromatico, potete apporre la tinta necessaria direttamente sul proiettore, oppure adoperare un foglio di plastica trasparente e colorarne la superficie. Questo secondo metodo, vi consentirà di recuperare le torce e riutilizzarle per altri scopi senza averne modificato irreversibilmente le caratteristiche. Se poi volete fare le cose in maniera più professionale, potete rivolgervi ad un gruppo commerciale

americano "EO Edmund Industrial Optics" e comprare filtri cromatrici dicroici per sintesi additiva tipo Kodak.

A questo punto potete cominciare a divertirvi. Se nella stanza dove fate la lezione c'è una parete bianca, dopo aver sensibilmente attenuato la luce dell'ambiente, per ottenere le vostre combinazioni di colore potete provare a puntare i vostri proiettori verso il muro. In questo modo infatti, potete comporre i tre fasci colorati in modo da ottenere vari tipi di colore. Per ottenere il bianco (che risulta essere la cosa più difficile) sono necessarie quantità precise di luce colorata da parte di ognuno dei tre proiettori.

Per ottenere il bianco, per esempio, è necessaria la presenza contemporanea di verde di rosso e di blu. Quasi sicuramente, i filtri che avete preparato non hanno la calibrazione cromatica giusta. Nell'augurio che non abbiate esagerato con lo spessore dello strato di colore, potete sicuramente ottenere il risultato richiesto allontanando e avvicinando i tre proiettori dalla parete e cercandone la collocazione (triangolazione) più opportuna.

Vi consiglio di verificare inizialmente la sintesi del fascio rosso e di quello verde in modo da ottenere una luce gialla. Utilizzando entrambe le mani, potete fare questa verifica senza bisogno di ulteriori collaboratori. Se riuscite ad ottenere una tonalità convincente di giallo, siete già a buon punto. Per ottenere infine il bianco utilizzando il terzo proiettore, accendete quest'ultimo e, cercando la posizione più idonea avvicinandolo e allontanandolo dalla parete, in modo da variare l'intensità del fascio di luce, potete certamente ottenere un punto dotato di colorazione biancastra. Ed è proprio su quest'ultimo risultato che dovete poi, in fase di lezione vera e propria, focalizzare l'attenzione di chi v'ascolta, perché al di là di ogni discorso teorico sull'argomento, alla fine la sintesi additiva di colore non è altro che ciò che si sta proiettando sulla parete. Tre fasci di colori diversi che, sovrapponendosi, mi restituiscono la luce bianca.

Diversi anni fa, mentre svolgevo dei corsi di elettronica molto interessanti, un mio allievo molto bravo e capace, ma soprattutto estremamente gentile, mi fece dono di un oggetto di grande valore didattico che tengo custodito ancora oggi con grande amore. Ve ne voglio parlare poiché si tratta di un oggetto che può essere veramente straordinario da un punto di vista divulgativo sulle tematiche che riguardano l'argomento che stiamo affrontando. La realizzazione pratica affrontata dal mio allievo risulta molto semplice da un punto di vista tecnico. Ovviamente mi rendo perfettamente conto che per coloro i quali non hanno molta dimestichezza con l'elettronica, questa si può presentare come una realizzazione pratica complessa. Ci tengo tuttavia a precisare che in questo testo, oltre al dispositivo di cui vi sto parlando in queste righe, più avanti vi sono anche altri esempi di realizzazioni che fanno uso di elettronica che, sebbene possa mettere in difficoltà qualcuno di voi, è indubbiamente fonte indispensabile per la realizzazione di utilissimi dispositivi divulgativi. Bando alle precisazioni, vi mostro da un punto di vista funzionale di che cosa si tratta in modo da potervi fornire qualche buona idea che utilizzerete nella maniera ritenuta più opportuna. Lo schema elettronico è allegato all'appendice di questo modulo. In tal modo offro la possibilità a tutti coloro che sono curiosi, interessati e soprattutto capaci di realizzare il dispositivo, di cimentarsi nella costruzione di quest'ultimo.

La foto n. 7.3 mostra il dispositivo in questione. A prescindere dalla componentistica che si vede nell'immagine, questo strumento non è altro che una fila costituita da 5 led bicolore che si accendono l'uno dopo l'altro,

scorrendo avanti e indietro. La possibilità di regolare la sequenza di accensione inoltre, permette di vedere accendersi i colori alla velocità preferita.

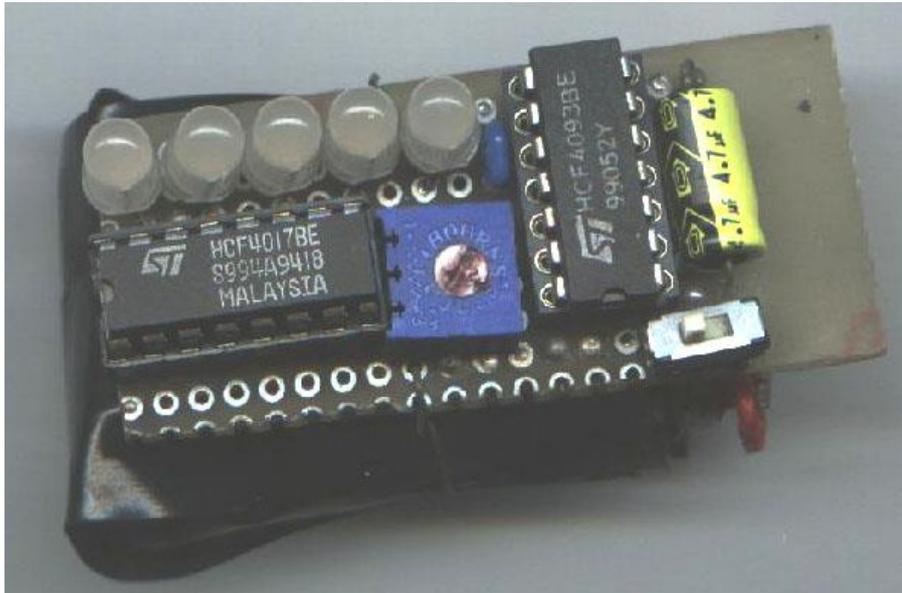


Fig. 7.3 - Dispositivo elettronico con led bicolori -

I led bicolori sono dei dispositivi elettronici molto interessanti. In fondo non sono altro che due semplici led racchiusi all'interno dello stesso contenitore dei quali, uno emette una luce **rossa** e l'altro emette una luce **verde**. Queste emissioni sono caratterizzate da un'elevata purezza e sono studiate per essere perfettamente monocromatiche. Ogni led bicolore possiede tre terminazioni, in modo da poter accendere a piacimento l'uno o l'altro dei due led rosso o verde, contenuti al suo interno. La parte propriamente elettronica del dispositivo è costituita da un oscillatore e un sequenziatore che pilotando tutti i led, ne stabilisce l'accensione, attivandone uno alla volta per tutta la fila per poi tornare indietro. Quando la sequenza si inverte, si inverte anche il colore del led. Con un piccolo cacciavite, agendo sulla vite posta sul trimmerino di colore blu posto sul circuito è possibile variare la frequenza di accensione e quindi di scorrimento dei led. La frequenza di scansione di questo dispositivo è stata progettata per passare da frazioni di hertz fino a qualche centinaio di hertz. Se regoliamo il trimmer del dispositivo a valori molto bassi della frequenza, osserveremo molto chiaramente, prima l'accensione dei led di colore rosso e dopo quella dei led di colore verde. Se la frequenza viene aumentata, ci sarà un valore di pulsazione oltre il quale tutti i led sembreranno accessi costantemente assumendo un colore giallo-arancio. Tutto ciò è dovuto al fatto che i nostri occhi, per successioni di immagini maggiori 10 al secondo (10 Hz), non riescono più a percepire la variazione di frequenza di accensione. La conseguenza è che si percepisce la luce del led bicolore come se fossero accesi contemporaneamente sia il led rosso che quello verde. Poiché la somma additiva del rosso e del verde dà origine al giallo, noi vedremo tutti i led illuminarsi di questo colore.

Altra cosa da far notare è che se spostiamo (tenendolo stretto in una mano), in un senso e nell'altro il dispositivo mentre procede con il suo funzionamento, gli spettatori vedranno di nuovo i led rossi e verdi accendersi in modo separato. Tutto ciò è dovuto al fatto che il rapido movimento del braccio,

in una direzione e poi nell'altra, si sincronizzerà con la frequenza del dispositivo permettendo alla nostra retina (attivata in zone diverse) di risolvere i due colori.

2°Laboratorio CERCHIO DI NEWTON

TARGET:

Scuola primaria

MATERIALE OCCORRENTE:

Motorino elettrico a bassa tensione (vedi testo) cartoncino, attrezzi per colorare, pila, interruttore, supporto in plexiglas (vedi appendice di modulo), contenitore plastico, fili elettrici.

Un'altra semplice dimostrazione pratica legata al problema della sintesi dei colori vi può essere offerta dal cerchio di Newton. È una esperienza molto semplice da realizzare: basta avere a disposizione un sistema per far ruotare un disco di cartoncino bianco sul quale avrete riprodotto una sequenza opportuna di colori. In questo caso, come penso sappiano tutti, quando il cerchio comincerà a ruotare velocemente, tutti i colori cominceranno a sbiadire e al loro posto apparirà una tonalità biancastra. Questo fatto è l'ennesima riprova che la somma di tutti i colori dello spettro elettromagnetico della luce forma il colore bianco. Da bravi insegnanti potete facilmente approfittare della condizione offerta da questo elemento di attenzione per ricordare agli allievi, che è proprio per la stessa ragione fisica che sta alla base di questa semplice esperienza, che le nuvole, lo zucchero in polvere o anche il vetro polverizzato, appaiono di colore bianco. Anche il foglio di carta di quaderno appare bianco poiché i pigmenti utilizzati per tingere la cellulosa sono costituiti da sostanze che diffondono tutti i colori della luce solare. (Vedi anche il laboratorio relativo alla diffusione luminosa). È importante che l'osservazione del cerchio di Newton possa essere effettuata in un ambiente ben illuminato, possibilmente da luce diurna oppure anche da luce artificiale purché proveniente preferibilmente da lampade ad incandescenza tipo a filamento. Se tuttavia l'ambiente in cui effettuate la vostra sperimentazione è illuminato da lampade fluorescenti di tipo tubolare, sul disco si osservano delle figure colorate molto sbiadite disposte a raggiera. A questo punto dovete necessariamente spiegare agli allievi che la lampada fluorescente (chiamata usualmente, in modo errato, neon) produce luce intermittente (100 Hz) che interferisce con la velocità di rotazione del disco di Newton in modo da provocare, a seguito della velocità del disco, la comparsa di questa tenue colorazione. Le lampade moderne a basso consumo tuttavia non presentano questo fenomeno e possono normalmente essere adoperate per illuminare l'ambiente dove vengono eseguite queste sperimentazioni.

Vediamo ora più dettagliatamente come possiamo costruire nel migliore dei modi un provvidenziale disco di Newton per le nostre esperienze. Bisogna innanzitutto disegnare sopra un foglio bianco un cerchio diviso in 16 settori come quello mostrato in figura.

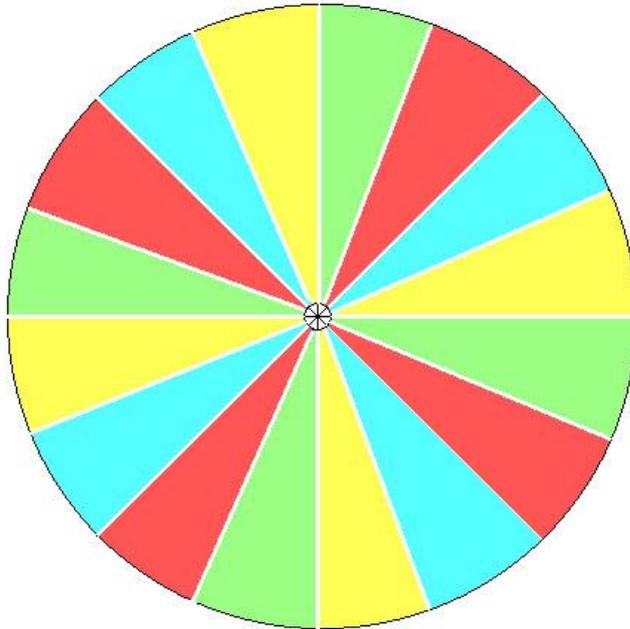


Fig. 8.3 - Cerchio di Newton -

Possiamo comodamente ricorrere a uno degli innumerevoli programmi di elaborazione grafica disponibili in qualsiasi computer che a tale scopo risulta il mezzo più pratico, immediato e soprattutto più preciso e successivamente possiamo comodamente stamparlo tramite una qualsiasi stampante domestica, rigorosamente a colori. Vi consiglio di usare colori poco accesi senza esagerare troppo con la saturazione. Personalmente ho tratto una discreta soddisfazione dalla combinazione cromatica mostrata nella figura. Una volta realizzato il nostro cerchio, non ci resta che incollarlo sopra un cartoncino.

A questo punto però, una volta pervenuti all'incollaggio, si presenta il problema più complicato: come farlo ruotare in modo veloce ed efficace? Personalmente ho sperimentato vari accorgimenti tecnici. Uno di questi è stato quello di montare il disco sul mandrino di un trapano da lavoro. In questo caso l'effetto additivo dei colori è stato perfettamente visibile, tuttavia, lavorare col trapano, oltre che essere il modo più pericoloso, risulta estremamente poco pratico. Un altro sistema molto simpatico mi fu suggerito tempo fa da un amico e ve lo ripropongo volentieri. Il disco potrebbe essere incollato sopra una trottola o qualcosa di simile, in questo modo potrebbe essere relativamente semplice farlo girare e permettere l'osservazione del fenomeno. Oppure, ancora più semplicemente, praticando un buco al centro del cartoncino e inserendovi all'interno un mozzo di matita, potreste ottenere la vostra trottola.



Fig. 9.3 - Motorino connesso alla base -

Alla fine però, fra tutte le numerosissime possibilità disponibili ho preferito adottare un accorgimento rivelatosi estremamente pratico che qualsiasi insegnante può realizzare oppure farsi realizzare da un amico amante del bricolage.

Per tale realizzazione basta prendere un listello di plexiglas di opportuna larghezza e piegarlo con l'aiuto del calore in modo da ottenere una squadra a 90°. A questo punto bisogna procurarsi un contenitore con forma di parallelepipedo simile a quello adoperato per eseguire montaggi di tipo elettronici. Meglio se il contenitore è di plastica ma va bene anche se è di legno o di cartone spesso. Per la realizzazione del mio prototipo ho trovato un contenitore con una sede già predisposta per inserire delle pile, e questo mi ha permesso una esecuzione molto funzionale. Fatto questo bisogna procurarsi uno di quei motorini che richiedono una tensione elettrica di alimentazione pari a circa 5 o 6 volt, smontati a loro volta da riproduttori a nastro o anche da giocattoli in disuso, e collegarlo sulla squadra di plexiglas in una posizione alta rispetto alla base di appoggio.

Bisogna operare in modo da far uscire il mozzo del motorino (l'asse di rotazione) da un provvidenziale foro che avete avuto la cura di praticare sul listello di plexiglas. Nel mio caso ho preferito lasciare la puleggina originaria del motorino ancora connessa al mozzo, accorgimento che mi ha permesso una facile connessione al disco di Newton. Nel contenitore di plastica ho montato un interruttore e ho praticamente tirato un circuito in modo da alimentare il motorino tramite due pile da 1,5 V alloggiato comodamente all'interno di esso. Non vi meravigliate se la tensione adoperata è più bassa di quella riportata come dato di targa del motore. La scelta è stata effettuata di proposito per permettere una rotazione del motore non troppo elevata. A questo punto (se lo considerate necessario) potete introdurre negli spazi vuoti del contenitore, che fungerà da base al vostro sistema, alcuni pezzi di ferro, oppure di piombo, di plastilina o quant'altro, allo scopo di bilanciare il peso del motorino posto sopra. Per quanto riguarda il sistema di fissaggio del cerchio di cartone all'asse del motorino, potete adoperare varie soluzioni tra cui anche

quella di incollarlo in modo definitivo. Personalmente, avendo dotato il foro del cerchio di cartone con dei manicotti di gomma opportunamente incollati, avevo la possibilità di montare e smontare a piacimento il cerchio di Newton dal suo alloggiamento. La figura successiva n. 10.3, vi mostra il sistema che vi ho descritto e che ho realizzato già da diversi anni. Ovviamente, questo è solo uno dei possibili esempi di realizzazione e, qualora lo riteniate opportuno, potete apportare qualsiasi variante dettata da opportunità o necessità del caso.



Fig. 10.3 - Apparecchio completo e funzionante -

In conclusione di questo laboratorio, vorrei ricordare al lettore di elencare anche tutti gli altri aspetti qualitativi del fenomeno colore. Questo è il caso infatti, di ribadire il concetto che il colore bianco rappresenta la somma di tutti i colori dello spettro, mentre il colore nero è la sensazione provata dal nostro cervello quando non vi è alcuna emissione di luce o di colore da parte della sorgente.

3°Laboratorio

SCOMPOSIZIONE POLICROMATICA DELLA LUCE

TARGET:

Scuola primaria e secondaria

MATERIALE OCCORRENTE:

Prisma ricavato da un binocolo, contenitore trasparente, specchio rettangolare (vedi testo),

Se con il dispositivo appena descritto potete sommare i colori e dimostrarne la sintesi additiva non vi rimane che provvedere a realizzare qualcosa che mostri nell'esatto contrario: la scomposizione dei colori a partire da una luce biancastra. Per ottenere questa possibilità, avete bisogno di un prisma di vetro. Purtroppo, realizzarlo, non è così semplice come descrivono certi libri. In alcuni casi delle schegge di vetro di forma particolare possono risolvere il problema, ma bisogna essere molto fortunati nel trovare quelle di forma giusta e soprattutto non bisogna farsi male. Un'idea interessante potrebbe essere quella di porre uno specchio all'interno di un contenitore trasparente a forma di parallelepipedo. Può andare bene qualcuno dei contenitori usati per confezionare certi tipi di cioccolattini. Lo specchio deve essere posto in modo da ottenere un angolo di circa 10 gradi dalla base. È molto importante che l'angolo sia proprio di 10 gradi anche se la criticità di questa misura dipende dal tipo di specchio adoperato. Operata questa disposizione, riempite il contenitore con acqua pura e il gioco è fatto: abbiamo realizzato un prisma tramite l'acqua e la relativa inclinazione dello specchio rispetto al pelo libero di quest'ultima. Ottenuto il prisma dobbiamo costruirci con un cartoncino nero uno schermo

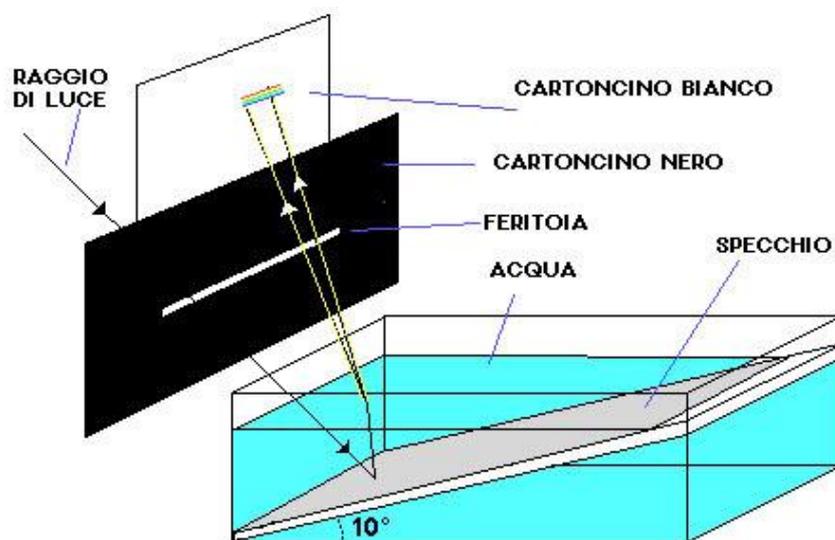


Fig. 11.3 - Scomporre la luce con l'acqua e uno specchio -

munito di una feritoia orizzontale lunga quanto si vuole ma non più larga di 1 - 1,5 mm. A questo punto, per far funzionare il nostro sistema, è necessario un forte raggio di sole che colpisca il cartoncino nero sulla feritoia, penetri nell'acqua - ove si scompone - e riflettendosi sullo specchio, proietti le sue componenti su una parete - o un cartoncino bianco -, come illustra la figura seguente.

Prima di proseguire nel nostro lavoro, voglio rammentarvi che se siete fortunati e cioè vi trovate a fare questo esperimento in una meravigliosa giornata di sole, non è così indispensabile la presenza del cartoncino scuro munito della feritoia. Infatti, in questa occasione quando la luce percorre il contenitore trasparente, giungendo dall'alto, come mostra la figura n. 11.3, è sufficiente anche solo la presenza del cartoncino bianco che utilizzerete come schermo per ottenere la visione dei colori. Vi consiglio però di porre, dietro al cartoncino bianco, un cartoncino molto scuro per evitare che la luce solare

possa diffondere nel cartoncino usato come schermo ed ostacolare la visione. Quello che vedrete sarà un arcobaleno costituito da una striscia di luce larga circa 1 cm dotata di vivaci colori che vanno dal rosso al violetto. Se alcuni di voi sono invece stati fortunati come me a trovare al mercato delle pulci dei vecchi binocoli a prisma, oppure delle apparecchiature da laboratorio di analisi in disuso, come spettrofotometri o altro, il vostro esperimento sarà certamente più suggestivo e plateale. Difatti, nei binocoli a prisma trovate proprio dei prismi già belli e pronti, viceversa negli spettrofotometri, meglio chiamati colorimetri, trovate dei reticoli di diffrazione che funzionano nell'identica maniera del prisma ma con la caratteristica di riflettere la luce. Tramite un prisma, oppure un reticolo di diffrazione, potete mostrare facilmente ai vostri allievi, come la luce solare policromatica, oppure quella che proviene dalla lampada di una lavagna luminosa, possa essere scomposta nei colori costituenti.



Fig. 12.3

Anche in questo caso, per ottenere l'arcobaleno di colori, sarà sufficiente intercettare un raggio luminoso che proviene dalla finestra e farlo passare nel prisma oppure farlo riflettere dal reticolo di diffrazione sopra una parete biancastra. È utile ricordare che i dischetti ottici, i comunissimi CD-rom per capirci, nei confronti della luce funzionano allo stesso modo del reticolo di diffrazione, e in un certo senso possono essere adoperati per mostrare ai vostri allievi la scomposizione dei colori. I CD infatti, come i reticoli a diffrazione, sono dotati di linee invisibili ad occhio nudo. Poiché queste linee hanno una spaziatura di pochi μm (micrometri) entrano in risonanza con la lunghezza d'onda della luce.

È per questa ragione che la luce policromatica proveniente dal Sole o anche da una fonte artificiale verrà scomposta nei suoi colori costituenti. Ed ecco spiegato perché i CD-rom assumono tutte quelle colorazioni variopinte. Da bravi insegnanti, potrete cogliere l'occasione per ricordare ai vostri allievi, che le ali dei lepidotteri (farfalle), assumono quei colori caratteristici, non solo per la presenza di particolari pigmenti posti su di esse, ma principalmente anche per ragioni fisiche molto simili a quelle che si producono nei reticoli a diffrazione e nei micro solchi dei CD-rom. È corretto infatti, definire "**fenomeno di iridescenza**" la conseguente comparsa di colori sulle ali di alcune farfalle. Sulle ali di questi insetti, sono presenti infatti delle scagliette che, se osservate con un microscopio elettronico, presentano una struttura molto peculiare. Sulla superficie di queste scaglie, la cui dimensione varia da 50 - 100 μm , si osservano delle strutture ancora più minute chiamate **strie**, dalle dimensioni di circa 1 μm . Sono appunto queste nervature che grazie alla loro spaziatura, operano la risonanza reticolare caratteristica per ogni colore. In effetti, è in base alla distanza che intercorre fra una stria e l'altra che abbiamo la

formazione di un colore. Ed è questa la ragione per la quale è possibile osservare un cambiamento di colore se variamo la posizione di osservazione.



Fig. 13.3 -Esempio di iridescenza sulle ali della Papilio Ulysses -

I fenomeni di risonanza cromatica che si osservano per le particolari caratteristiche geometriche dei corpi materiali di dimensioni dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda della luce, si verificano anche quando osserviamo del petrolio o della benzina che galleggia sopra una pozzanghera piena d'acqua. Infatti, in quest'ultimo caso, lo spessore dello strato di benzina sull'acqua è molto sottile e può quindi facilmente entrare in risonanza con la lunghezza d'onda della luce incidente. Analoghi fenomeni di colori iridescenti si verificano pure se osserviamo la coda dei pavoni e le bolle di sapone. A tale proposito ricordo al lettore di leggere il paragrafo dedicato alle bolle di sapone contenuto nel modulo "Materia (concetti base)".

4°Laboratorio

FENOMENO DELLA FLUORESCENZA

TARGET:

Scuola primaria e secondaria

MATERIALE OCCORRENTE:

Lampada di Wood corredata di alimentatore, sostanze fluorescenti, soluzione di fluoresceina, pennarelli evidenziatori, platinocianuro di bario, detersivo in polvere, soluzione di morina, cartoncini fluorescenti, minerali fluorescenti per esempio fluorite.

I vari fenomeni di stimolazione ed emissione di luce da parte della materia possono essere catalogati tramite alcuni termini caratteristici.

L'incandescenza si verifica quando per mezzo dell'aumento della temperatura o perché sottoposto ad altra forma di energia, un corpo emette luce. Un esempio comunissimo è offerto dal filamento della lampadina oppure da un gas in combustione in un fornellino o anche da un tizzone di carbone ardente. Non bisogna confondersi con la termoluminescenza che risulta essere un fenomeno diverso che esula dalle finalità di questo contesto.

La **fosforescenza** è invece una produzione di luce spontanea, emessa da una sostanza ad una temperatura relativa molto bassa. Un esempio è dato dal fosforo giallo, oppure da alcuni minerali costituiti da sostanze radioattive. Tale fenomeno di fosforescenza consiste in un'emissione continua di luce da parte del corpo e può durare dai pochi minuti fino a protrarsi, in alcuni casi, anche per molti anni. La **fluorescenza** invece, si verifica quando una particolare sostanza irradiata da una forma di energia raggiante, come la luce o altra energia, restituisce la radiazione ricevuta illuminandosi per un tempo breve. Quasi sempre, la differenza fra fosforescenza e fluorescenza dipende dal tempo di durata dell'emissione della luce. Spesso la fosforescenza può essere considerata una fluorescenza che si protrae nel tempo. La **luminescenza** è anch'essa una notazione indicata per caratterizzare un fenomeno di emissione stimolata, ma normalmente è utilizzata quando l'emissione di luce da parte del corpo termina appena cessa la radiazione che la determina. La **chemioluminescenza** è invece un fenomeno di emissione luminosa da parte di particolari reazioni chimiche che investe un campo estremamente interessante. Alcuni concetti, tradotti in facili sperimentazioni, sono trattati in un laboratorio successivo, nel quale approfondiremo il discorso riguardo la fluorescenza.

Ci sono molti esperimenti interessanti che possono mostrare il fenomeno della fluorescenza, molti dei quali fanno uso di sostanze troppo pericolose per essere maneggiate in un aula stando a stretto contatto con il pubblico. Per questa ragione ho pensato di adoperare una soluzione conveniente ed efficace che utilizza dispositivi relativamente innocui. Per raggiungere questo obiettivo bisogna procurarsi una lampada di **Wood** completa di sistema di alimentazione per farla funzionare. La lampada di **Wood** è un tubo fluorescente di colore scuro che produce una radiazione ultravioletta (vedi allegato) di lunghezza d'onda pari a circa **366 nm**. Questa lunghezza d'onda è molto vicina al limite inferiore della luce violetta dello spettro visivo. La lampada ovviamente oltre all'emissione ultravioletta produce anche una sorta di luce molto tenue dai bagliori violacei, poiché lo spettro di emissione si estende penetrando anche per qualche tratto nella regione del violetto. La figura n. 14.3, vuole mostrare come si presenta l'emissione spettrale luminosa della lampada di Wood e vuole parimenti confrontarla con altri tipi di lampade di uso comune.

La figura mostra sia lo spettro di emissione della lampadina ad incandescenza, cioè la comunissima lampadina a filamento di tungsteno, che lo spettro delle lampade al sodio utilizzate per l'illuminazione stradale. Infine, nello stesso diagramma viene rappresentato anche lo spettro di emissione del comunissimo led all'infrarosso usato nei telecomandi.

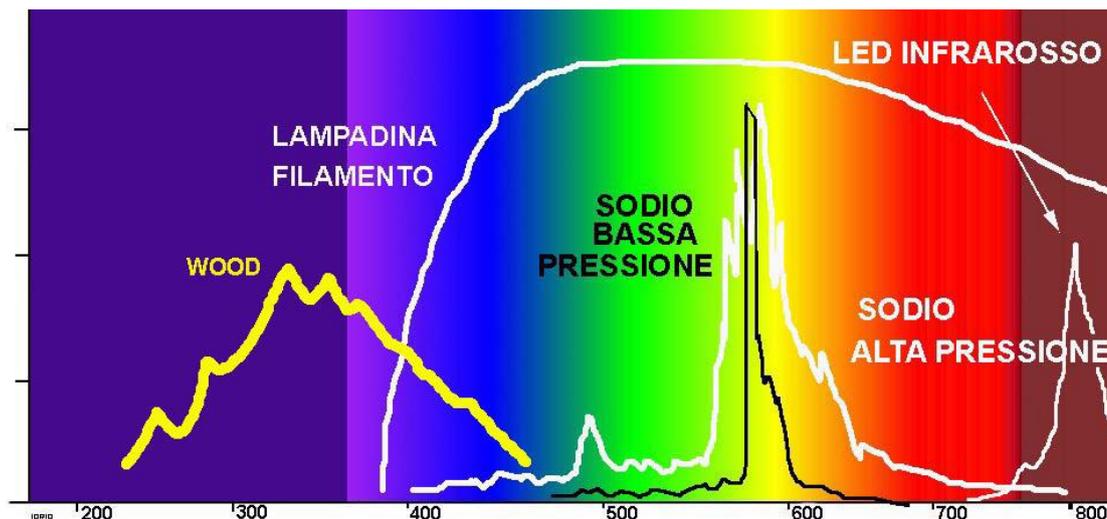


Fig. 14.3 - Spettro della lampada di Wood (in giallo) confrontato con altri tipi di lampade -

Quest'ultimo, risulta essere quel dispositivo presente sui moderni telecomandi per televisori, tramite il quale, proprio grazie a questa emissione invisibile, si controllano alcuni comandi dei nostri elettrodomestici. Come è facile osservare, la lampada di Wood presenta una emissione praticamente invisibile ai nostri occhi poiché è caratterizzata da lunghezze d'onda che si portano oltre il limite inferiore della luce violetta. Se questa lezione viene effettuata in una scuola media o elementare è ovvio che non è necessario fornire tutti questi dettagli teorici che ora stiamo esaminando, ma in ogni caso, qualunque sia la platea, sapete molto bene che un giovane studente sarà percorso da un fremito di curiosità irresistibile quando gli verrà detto che la radiazione della lampada è invisibile e che, nonostante questo, se con essa si irradiano talune sostanze, queste ultime emetteranno delle luminescenze fluorescenti.

A questo punto per ottenere la dimostrazione dovrete appunto munirvi delle suddette sostanze che, illuminate con la lampada di Wood, producano il fenomeno della fluorescenza. Queste sostanze dovranno essere poste in prossimità della lampada dopo aver effettuato il giusto grado di oscurità dell'aula. Ovviamente, l'insegnante si assicurerà di fornire tutte le informazioni necessarie relative al problema della stimolazione effettuata con radiazioni dotate di forte energia. Nell'allegato presente in questo modulo è chiaramente spiegato che le radiazioni ultraviolette hanno una energia molto più elevata di quelle dotate di lunghezza d'onda maggiore e per questa ragione, quando colpiscono gli atomi delle sostanze fluorescenti, ne producono l'eccitazione degli elettroni periferici col risultato finale che si produce l'emissione di luce. Voglio ricordarvi che in ogni caso state maneggiando una lampada che emette un tipo di radiazioni potenzialmente dannose per la pelle e soprattutto gli occhi - è grazie agli ultravioletti che, stando sulla spiaggia, ci abbronziamo - , quindi vi consiglio di ridurre il funzionamento della lampada di Wood per il tempo strettamente necessario a mostrare i vostri esperimenti, anzi, per maggiore tranquillità potrebbe essere necessario collocare uno piccolo schermo (anche di cartone) fra la lampada e la platea. In questo modo, evitiamo che le radiazioni possano essere dirette verso quest'ultima. Questi suggerimenti non devono preoccuparvi eccessivamente. Queste lampade possono provocare dei danni solo per esposizione troppo prolungate.

Una delle sostanze fluorescenti più semplice da procurarsi è il detersivo in polvere per il bucato. In questi prodotti normalmente sono introdotte delle molecole chiamate in gergo “splendogeni” o sbiancanti che emettono fluorescenza azzurra quando sono illuminate. Questa aggiunta consente di avere un prodotto detergente che, oltre all’azione di pulizia, effettua nei confronti del bucato una sorta di trattamento che lo dota di un bianco più spendente col risultato finale che il capo bianco lavato, risulta apparentemente più pulito. Se l’insegnante colloca un po’ di detersivo in polvere all’interno di un contenitore di plastica ha ottenuto il primo campione da sottoporre alla prova della lampada di Wood.

Un’altra sostanza fluorescente dalla caratteristica colorazione verdastra è la **fluoresceina sodica** ($C_{20}H_{10}Na_2O_5$), chiamata anche uranina. Questo prodotto generalmente innocuo è acquistabile da rivenditori specializzati di prodotti chimici. La figura seguente mostra la struttura chimica di questa sostanza.

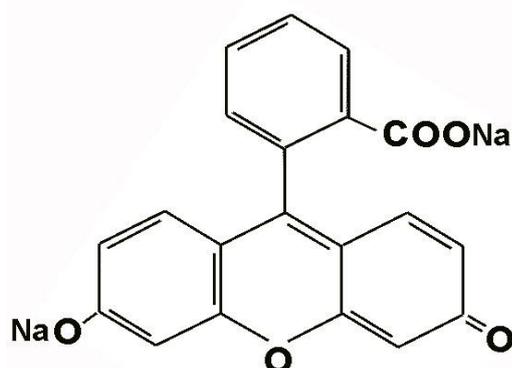


Fig. 15.3 - Fluoresceina sodica -

Pochissimi granelli di fluoresceina (bastano quelli che restano attaccati immergendo uno stuzzicadenti all’interno del barattolo) possono essere sciolti in acqua e sono sufficienti ad ottenere una soluzione di circa 500 ml. Tale soluzione deve presentare in luce diurna una colorazione gialla e non è una cattiva idea stabilizzarla aggiungendo un mezzo cucchiaino da caffè di idrossido di sodio (NaOH).

Avvicinando la soluzione alla lampada di Wood, correttamente alimentata e quindi in grado di produrre la sua luce particolare, si dovrebbe vedere una forte luminosità verde/giallo provenire dalla bottiglia o dal bicchiere in cui abbiamo messo la soluzione di fluoresceina. Per essere sicuri che la soluzione sia stata preparata in modo ottimale, già in luce diurna deve essere osservata una tenue fluorescenza verde/giallastro caratteristica.

In commercio potete trovare anche la **Calceina o Fluoroexone** ($C_{30}H_{24}O_{13}N_2Na_2$). Si tratta di una sostanza fluorescente molto simile alla fluoresceina. Anche questa sostanza produce fluorescenza verdastra. Questo prodotto è utilizzato come reattivo sensibile a rilevare tracce di rame nell’acqua potabile. La presenza di rame infatti riduce o annulla del tutto l’emissione di fluorescenza prodotta dalla calceina.

Qualora doveste avere problemi nel reperire le suddette sostanze, per prepararvi un liquido fluorescente alla lampada di Wood esistono in commercio tante altre particolari sostanze chimiche. A tal proposito voglio descrivervi un metodo non molto laborioso ma che richiede la presenza di un reattivo chimico particolare: la **morina** (pentaidrossiflavone) P/N 463508 (catalogo Farmitalia Carlo Erba). Questo materiale è un indicatore per fluorescenza impiegato per l’analisi di piccole quantità di alluminio in acqua, questo reattivo è reperibile soltanto presso rivenditori di materiale chimico specializzati come la Aldrich, la Carlo Erba o altri ancora.

Fate sciogliere una quantità molto contenuta di morina in 10 cc di alcol etilico per liquori. È sufficiente la punta di un cucchiaino. A questo punto

aggiungete alla soluzione alcolica, che avete ben mescolato per un po', circa 200 cc di acqua possibilmente distillata (il contenuto di circa un bicchiere d'acqua). Nel liquido che avete ottenuto di colore giallognolo sporco, aggiungete pochi granelli di un sale solubile di alluminio. Può andar bene del cloruro di alluminio oppure del solfato. Se non avete sali di alluminio a disposizione vi ricordo che per ottenerne potete sciogliere qualche scheggia di alluminio in acido cloridrico (muriatico). Se procedete in tal senso vi consiglio di utilizzare una quantità estremamente piccola di alluminio, di assicurarvi di fare la dissoluzione in locali arieggiati (la dissoluzione produce idrogeno), di avere molta cura a maneggiare l'acido cloridrico e di prelevare poche gocce del prodotto giallognolo ottenuto. Queste gocce saranno unite alla soluzione di morina e acqua. Il liquido finalmente pronto, se correttamente preparato, sottoposto all'illuminazione nera (come si dice in gergo), cioè l'emissione della lampada di Wood, dovrebbe presentarsi al buio con fluorescenza gialla. A puro scopo informativo la figura 15.3.1 illustra il complesso morina alluminio responsabile della fluorescenza giallo-verdastra.

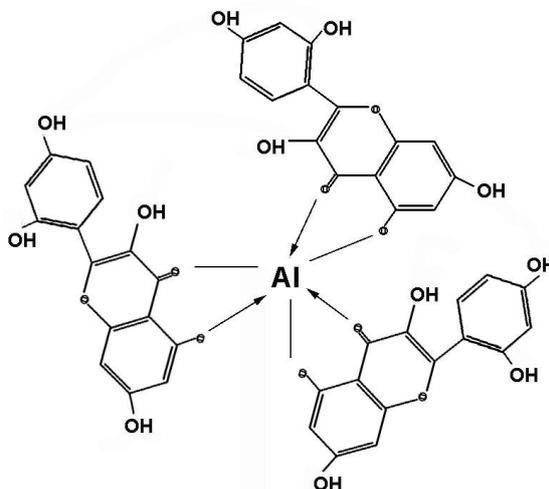


Fig. 15.3.1 - Complesso fluorescente morina /alluminio -

Un'altra sostanza fluorescente molto sensibile è il **platinocianuro di bario** $Ba_2[Pt(CN)_6]$. Questa sostanza, dalla caratteristica colorazione giallastra, era un tempo utilizzata per realizzare gli schermi di contrasto per radiografie. Lo schermo era fatto di vetro ed aveva una delle due superfici interamente coperte da uno strato di questo sale. In questo modo, appena la lastra di vetro era irraggiata da un fascio di raggi X, il platinocianuro di bario si illuminava di una bella fluorescenza molto simile a quella della fluoresceina sodica. Come con i raggi X, anche la radiazione ultravioletta della lampada di Wood è in grado di destare una forte fluorescenza su schermi trattati con platinocianuro di bario. Così come le precedenti, anche questa sostanza la potete trovare molto utile per divertire i vostri allievi e la annovererete fra quelle sostanze da conservare per i vostri esperimenti di fluorescenza. Tuttavia il platinocianuro di bario non è di semplice approvvigionamento. Forse qualche amico che lavora presso un centro radiografico può procurarvi qualche pezzo di schermo ormai in disuso, oppure potete procurarvela presso un rivenditore di prodotti chimici.

Vorrei anche ricordarvi, che diversi minerali naturali presentano questo fenomeno. La **fluorite** per esempio, da cui il fenomeno trae il nome, sottoposta alla lampada di Wood, assume una bella colorazione azzurro /viola. La **calcite**

normalmente bianca si presenta di colore rosso se illuminata da luce di Wood lo stesso dicasi per la **stronzianite**. La **celestina** assume colore celeste. Diversi minerali radioattivi oltre che fosforescenti sono anche fluorescenti.

Per completare l'elenco delle possibili sostanze da usare per verificare il fenomeno della fluorescenza vorrei ricordare che anche gli scorpioni (si avete capito bene, ... parlo proprio degli aracnidi) sono fluorescenti ed alcune etichette usate per la segnalazione dei prezzi di materiali (vedi bollini dei prezzi al supermercato), o i dispositivi di segnaletica stradale, i pastelli speciali, i vetri all'uranio oppure vetri al didimio reperibili in laboratori di fisica o presso specifici rivenditori di materiali didattici, il famoso evidenziatore giallo ed alcuni giocattoli colorati presentano questa fluorescenza caratteristica. Una delle sostanze più eccitanti sono riuscito a trovarla smontando quelle lavagnette giocattolo rosse per bambini con le quali è possibile riprodurre dei disegni comprimendo una membrana di materiale termoplastico sopra una superficie più chiara. Nei punti in cui il materiale aderisce al fondo si osserva un cambiamento di colore. Questo termoplastico che costituisce la membrana delle lavagnette è estremamente attivo se illuminato da una lampada di Wood e produce una intensa luce rossa.

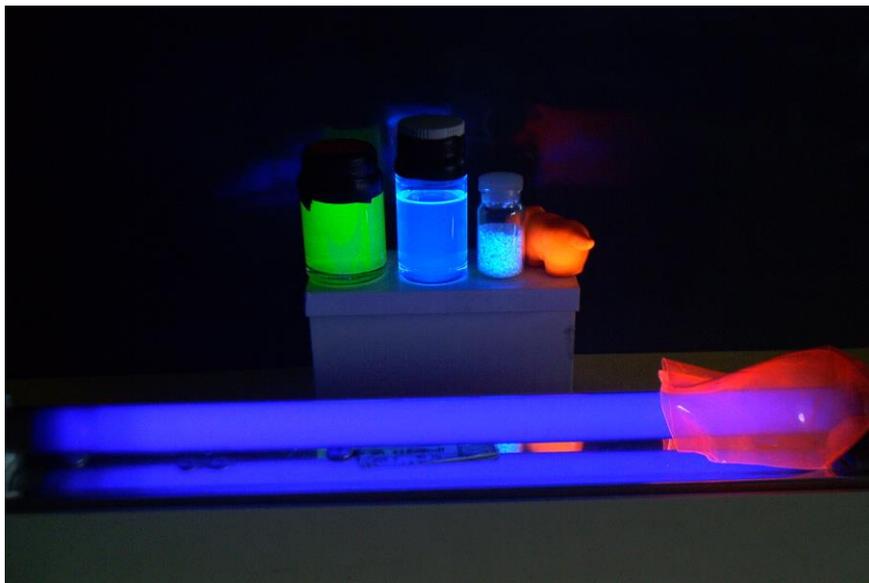


Fig. 16.3 - Sostanze fluorescenti poste presso una lampada di Wood -

Un liquido rosso molto utile per queste esperienze, dotato di intensa fluorescenza arancione quando è sottoposto a irraggiamento ultravioletto è prodotto da alcuni tipi di liquidi refrigeranti per radiatori di automobili. Quindi, in questo caso, per procurarvi il suddetto materiale potrete ricorrere a un qualsiasi rivenditore di ricambi per automobili, che potrà fornirvi molto facilmente il prodotto che utilizzerete per divertire i vostri allievi. La foto n. 16.3 è stata scattata nel mio laboratorio a luce attenuata. La lampada di Wood è posta orizzontalmente. Da sinistra si vede un contenitore in vetro che contiene fluoresceina, ad esso segue un altro contenitore sempre in vetro all'interno del quale è stato posto uno scintillatore organico fornitomi all'occorrenza da un amico, poi c'è un recipiente contenente del detersivo e infine, con un acceso colore arancione, c'è un giocattolino trovato nel cesto dei giochi dei miei figli.

Sulla lampada a destra è invece visibile il termoplastico di colore rosso ricavato sempre da un giocattolo, di cui prima abbiamo parlato.

5°Laboratorio

COME FAR SPARIRE TUTTI I COLORI

TARGET:

Scuola primaria e secondaria

MATERIALE OCCORRENTE:

Lampada al sodio tipo SOX90W Osram corredata di alimentatore, cartoncini colorati, torcia elettrica.

Ricordo che avevo appena 7 anni quando recandomi con la mia famiglia a passeggio con l'automobile di mio padre per le strade di Napoli, si passava sovente all'interno delle gallerie che collegavano Fuorigrotta con Mergellina. Assiduo lettore dei fumetti di Topolino, mi divertivo a vedere l'inspiegabile sparizione dei colori della copertina del fumetto che avevo tra le mani, quando l'auto passava veloce nel tunnel illuminato da una curiosa luce gialla. Mi ci vollero molti anni per capire la fisica del fenomeno.

Ancora oggi parte dell'illuminazione stradale è realizzata con le stesse lampade di allora, che poi non sono altro che lampade speciali al sodio che, seppur presentano una resa cromatica molto bassa - la luce che emettono è prevalentemente giallo arancio - hanno come controparte una efficienza luminosa molto elevata che le rende preferibili nei casi di risparmio energetico. Dobbiamo subito dire che ci sono due tipi di lampade al sodio in uso per la pubblica illuminazione. Un primo tipo è riempito con gas ad alta pressione ed ha una resa cromatica migliore dell'altra. Viceversa l'altro tipo di lampada al sodio si presenta con gas a bassa pressione e genera una luce gialla particolarmente pura. È quest'ultima lampada che dovremo adoperare per realizzare l'esperimento che intendo descrivervi.



Fig. 17.3 - Lampada SOX della Osram utilizzata per illuminazione stradale -

La figura n. 17.3, raffigura una lampada moderna a sodio a bassa pressione normalmente adoperata per illuminare alcuni tratti stradali. Si tratta del modello SOX 90W della OSRAM. Questa lampada necessita di un trasformatore particolare (autotrasformatore a dispersione), che può essere acquistato da

rivenditori specializzati di materiale elettrico. Proprio nella sessione precedente, dove parlavamo della fluorescenza, ho mostrato una figura che mostrava lo spettro di emissione luminosa di varie lampade di uso comune. Se scorrete qualche pagina indietro e osservate la figura n. 14.3, vi accorgete chiaramente della netta differenza di spettro di emissione delle lampade che ho illustrato. Soprattutto noterete la sostanziale differenza fra la lampada a sodio a bassa pressione e quella ad alta pressione. La lampada a sodio a bassa pressione come già detto in precedenza, lavora emettendo luce solamente nell'intervallo del colore giallo. Quando viene accesa, dopo aver atteso un tempo variabile tra i 5 e i 10 minuti per avere un funzionamento ottimale la luce della lampada emetterà prevalentemente radiazioni costituite da onde elettromagnetiche da **580 nm**. Ci troviamo di fronte ad un'emissione monocromatica. A questo punto da solerti insegnanti, dovrete preparare la vostra scena di lavoro, tenendo presente che i migliori risultati si otterranno con una oscurità quasi completa dell'aula. Preparata la lampada, disporrete in maniera ben visibile alla platea un gruppo di oggetti colorati dalle tinte più vivaci che riuscirete a reperire. La foto seguente mostra dei solidi geometrici fatti con del banale cartoncino colorato. Si tratta certamente di un bellissimo esempio scenografico in cui è possibile ammirare oggetti di vario colore e che rappresenta un'ottimizzazione di quel già trattato "elemento di attenzione" su cui lavorare per mantenere vivo l'interesse della platea, vi voglio tuttavia rassicurare che questo tipo di allestimento, certamente molto impegnativo, e che può andare bene per una trasmissione televisiva non è assolutamente indispensabile. Se non avete molto tempo o dimestichezza risulta molto più pratico fare uno striscione di cartoncini colorati attaccati uno di seguito all'altro e appenderlo sopra una parete. Ancora meglio se la progressione cromatica dei cartoncini viene allestita tenendo presente lo spettro tipico della luce rispettando la sequenza: viola, blu, azzurro, verde, giallo, arancione e rosso.



Fig. 18.3 - Scenografia per esperienze scolastiche con i colori -

Questo tipo di soluzione si presta per l'elevata praticità, dovuta al fatto che lo striscione può essere piegato facilmente e riposto successivamente. Personalmente, è stata questa la soluzione che ho adoperata tutte quelle volte in cui ho dovuto allestire rapidamente un seminario o conferenza sulla fisica della luce. Questi cartoncini di formato A4 sono reperibili in ogni cartoleria; l'attenzione maggiore va posta nel trovare i colori che servono. Poiché la lampada ha un buon flusso luminoso, non è importante la distanza tra questa e lo striscione colorato. È sufficiente che lo striscione sia presente da qualche parte nell'ambiente della prova, reso adeguatamente buio per l'esperimento. Un'ultima accortezza sta nell'assicurarsi che sullo striscione, o sugli oggetti colorati che avete deciso di piazzare al centro della scena, non deve esserci nessun bagliore luminoso proveniente da altre fonti. A questo punto possiamo passare all'esecuzione dell'esperimento vero e proprio. Prima di tutto bisogna accendere la lampada al sodio. Come già ricordato in precedenza, la peculiarità di quest'ultima è che necessita di un certo periodo di "riscaldamento" prima di cominciare ad emettere il proprio colore caratteristico. Appena sono trascorsi i minuti necessari per portare la lampada a regime, i discenti potranno osservare la sparizione completa dei colori. Ciò significa che, immerso in questa illuminazione monocromatica, nessuno potrà riconoscere il rosso dal verde oppure il viola dal blu e viceversa. Il cartoncino giallo e tutti gli oggetti dotati di colore chiaro, sembreranno diventati bianchi. I presenti percepiranno la sensazione che intorno a loro il mondo sia diventato bianco e nero anzi, in giallo e nero. In realtà voi farete osservare che gli oggetti che vi circondano hanno sfumature limitate dal giallo al nero perché l'ambiente è illuminato dalla sola luce monocromatica di tipo giallo. I pigmenti colorati degli oggetti che sono nella stanza non possono rimandarvi luce rossa o verde o blu, poiché queste radiazioni non sono presenti nelle emissioni prodotte dalla lampada che avete messo in funzione. Queste radiazioni sono contenute nella luce bianca che si chiama appunto policromatica ma non possono essere certamente presenti in una radiazione fornita da una lampada che produce solo lunghezza d'onda (o frequenza) di colore giallo.

A questo punto della lezione era mio solito improvvisare una semplice ma efficace sceneggiata. In modo molto naturale, accendevo infatti una normalissima torcia elettrica che avevo in tasca e illuminavo con il suo fascio policromatico gli oggetti che avevano perduto la loro bellezza dovuta alla mancanza dei colori. Il fascio della torcia, sostituendo la luce bianca del Sole, restituiva ai cartoncini e agli oggetti le componenti cromatiche perdute con la lampada al Sodio. Successivamente mi rivolgevo alla folla sorridente, e dichiaravo apertamente di aver messo in funzione il mio personale "**generatore di colori**". In effetti, essendo una fonte di luce policromatica consente la percezione di tutti i colori e in quel mondo surreale appena creato, la piccola torcia può ben essere definita a buon titolo, un generatore di colori.

Sono sicuro che avete esattamente compreso la valenza didattica di questa esperienza. Tramite questa semplice osservazione è possibile infatti comprendere la dinamica del colore e il significato reale della percezione. Inoltre, nella mente del discente si concretizza il concetto di radiazione elettromagnetica per quanto riguarda i suoi aspetti distintivi di lunghezza d'onda o frequenza.

Fa d'obbligo a questo punto parlare ai presenti di tanti altri casi simili che si possono presentare. Tanti altri casi dove, la mancanza di uno o di alcuni colori, trasforma completamente la visione di quel determinato ambiente. Per

esempio, basta parlare dell'acqua del mare che assorbe le radiazioni rosse. Nell'acqua degli oceani infatti, già a 20 metri il colore rosso è praticamente assente. Sarà questa la ragione per la quale il gambero rosso si sposta disinvolto e temerario in un ambiente pieno di predatori incurante del vivace colore che sfoggia la sua corazza ? Probabilmente è così, il gambero rosso a circa 20 metri di profondità non appare rosso ma nero. Poiché a quella profondità la radiazione rossa è mancante, il pigmento della corazza del crostaceo non rimanderà indietro nessuna radiazione e quindi il gambero sembrerà nero. Un crostaceo nero che si aggira fra le scogliere a oltre 20 metri di profondità risulta abbastanza mimetizzato da stare in un certo senso molto tranquillo. Verso la fine del allegato di questo modulo parliamo di nuovo (anche se brevemente) di questo fatto. Consiglio pertanto al lettore di visionare la figura 42.3.

NOTE:

A riguardo della lampada a sodio a bassa pressione, devo per correttezza avvisarvi che all'interno delle lampade commerciali, viene introdotto del gas neon. Questo gas è introdotto per facilitare l'innesco, in modo che esso avvenga ad una tensione di 400 V. La lampada, dal momento che viene accesa, presenta una colorazione rossastra proprio a causa di questo gas. La lampada quindi a regime, fornisce anche le radiazioni caratteristiche prodotte dal gas neon che vi è contenuto. Fortunatamente, la quantità estremamente piccola di questo gas non influenza i risultati dell'esperienza descritta anzi, a patto che l'esperienza possa essere effettuata in completa oscurità, la resa è considerata soddisfacente. Tuttavia bisogna evitare nell'ambiente di lavoro di avere oggetti con pigmenti risonanti alla lunghezza d'onda del neon.

6° Laboratorio

POLARIZZAZIONE DELLA LUCE

TARGET:

Scuola primaria e secondaria

MATERIALE OCCORRENTE:

pezzi di schermo polaroid.

La luce si presenta, durante il suo moto di propagazione nello spazio vuoto, come un'oscillazione che possiede due componenti ortogonali fra loro. Una componente è costituita dal campo elettrico l'altra dal campo magnetico. Ecco perché quando si parla di onde luminose, si parla anche di onde elettromagnetiche. Quando l'onda luminosa si propaga con una struttura limitata a questi soli due piani di oscillazione, si dice che è un'onda elettromagnetica polarizzata. Vedi figura.

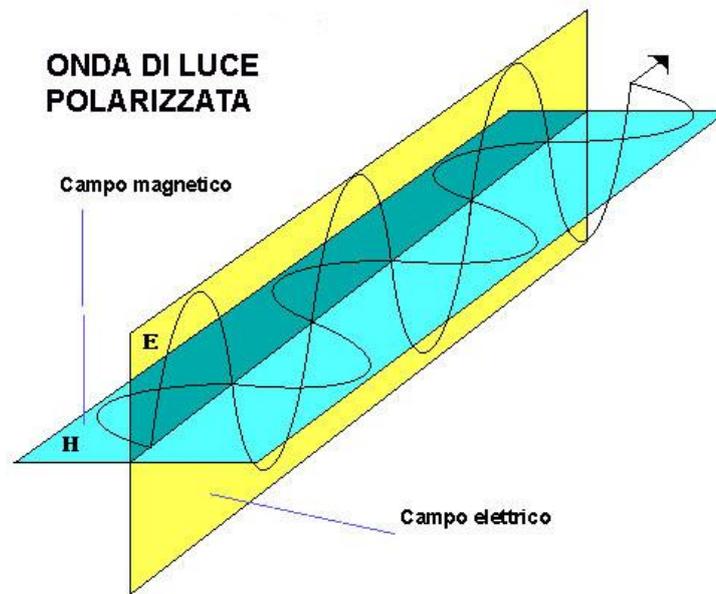


Fig. 19.3

Un'onda polarizzata è però un caso raro in natura, infatti, le varie sorgenti di onde luminose, come la lampadina elettrica, la fiamma di una candela, un gas incandescente, il Sole ecc. emettono onde luminose che si propagano su tutti i piani dello spazio. Inoltre, nella maggior parte dei casi, un raggio di luce è solitamente costituito da moltissimi gruppi ortogonali elettromagnetici che si propagano partendo da una sorgente lungo vari angoli dello spazio. In natura esistono però dei cristalli trasparenti che, se tagliati in modo da rispettarne gli assi di simmetria, si comportano come filtri al passaggio della luce, ciò vuol dire che quando un raggio di luce li attraversa, solo le onde elettromagnetiche che hanno una determinata direzione di polarizzazione sono favorite nel transito. Le altre onde luminose, il cui piano di polarizzazione non giace sulla stessa direzione dell'asse cristallografico, vengono fortemente attenuate o addirittura non passano. Uno dei cristalli naturali che presenta tale fenomeno della polarizzazione è la tormalina. Questo minerale è un silicato idrato di alluminio con presenza anche di altri metalli come litio, sodio, calcio, ma anche magnesio e ferro. Se un cristallo di tormalina, tagliato opportunamente, viene posto lungo il tragitto di un raggio luminoso, la luce verrà polarizzata lungo il suo asse ottico. Molte altre sostanze in natura presentano tale fenomeno della polarizzazione e così come per la tormalina in tutti questi casi il polarizzatore opera una discriminazione sui gruppi ortogonali elettromagnetici. Il polarizzatore quindi permette l'attraversamento delle onde di luce che oscillano su un determinato piano. Per verificare in aula quanto detto con un esperimento la cui semplicità ha dell'incredibile, basta procurarsi due pezzi di schermi tipo POLAROID. In diverse esperienze condotte nella mia vita di divulgatore ho ottenuto dei perfetti filtri Polaroid in grado di fornire ottimi risultati smontando la pellicola che coprono gli schermi a cristalli liquidi di orologi o videogiochi portatili. Per raggiungere in aula lo scopo desiderato occorre una lavagna luminosa, strumento indispensabile e quanto mai necessario in questo tipo di esperimento. Collocando una sola di queste pellicole sullo schermo della lavagna luminosa, vedremo la sagoma della pellicola stessa riprodotta sulla

parete dove stiamo proiettando le immagini. La sagoma sarà bene evidente poiché apparirà di un colore tendente al grigio. Infatti, la pellicola assorbe comunque un po' di radiazione luminosa e lascia passare solo quella porzione dotata di un particolare piano di oscillazione. Se sullo schermo poniamo la seconda pellicola sovrapponendola a quella posta precedentemente, vedremo ovviamente la luce un tantino più ridotta. Ma se facciamo ruotare una delle due pellicole, vedremo la luce attenuarsi in modo più sensibile fino a sparire del tutto quando i piani di polarizzazione delle pellicole saranno a 90° l'uno rispetto all'altro. Più la dimensione delle pellicole è grande più suggestivo è il fenomeno osservato. Ovviamente, a seguito dell'esperienza spiegherete alla platea che il secondo filtro polarizzatore, posto sul cammino dei raggi luminosi polarizzati dal primo, costituirà una barriera alla luce solo quando il suo asse di polarizzazione è posto in modo ortogonale all'asse di oscillazione del primo polarizzatore. Viceversa se il secondo polarizzatore è posto nella stessa direzione del primo, sarà allora possibile il passaggio della luce. È facile capire che il primo filtro opera una determinata polarizzazione al fascio di luce che proviene dalla lampada della lavagna luminosa. Poiché il secondo filtro tende a fare la stessa cosa è naturale che solo se i due filtri sono orientati nell'identica posizione, la luce riuscirà ad attraversare entrambe le superfici.

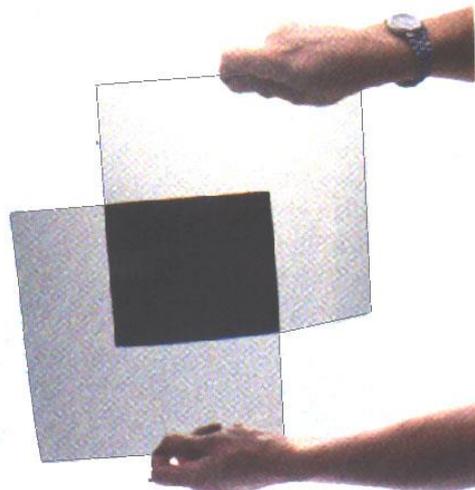


Fig. 19.3.1 - Polarizzatori posti in controfase -

7° Laboratorio

I COLORI CARATTERISTICI DEGLI ELEMENTI CHIMICI

TARGET:

Scuola primaria (solo media) e secondaria

MATERIALE OCCORRENTE:

Soluzione chimica di alcuni metalli (vedi testo), vetrino al cobalto, spiritiera o becco Bunsen, bicchierini in vetro, acido cloridrico, filo di platino,

Nell'allegato di questo modulo sono trattati con un certo grado di approfondimento le ragioni fisiche che stanno alla base dei fenomeni di produzione di luce da parte degli atomi. Per restare coerentemente in linea con le aspettative di chi legge queste pagine di teoria e si aspetta un discorso non troppo complicato, diciamo che i fenomeni legati all'emissione di luce da parte degli atomi riguardano la struttura dell'edificio atomico di un elemento chimico. In particolare sono gli elettroni periferici di un atomo che, se opportunamente stimolati da una certa forma di energia, cominciano a reagire producendo un determinato tipo di radiazioni luminose. Anche la fluorescenza di un determinato elemento chimico o di una particolare sostanza, così come abbiamo visto in un esperimento precedente, è basata su questo tipo di fenomeni. In questo laboratorio opereremo in modo da dimostrare alla platea che, se portiamo alla fiamma un certo tipo di atomi o di elementi chimici (che risultano essere due modi differenti per indicare la stessa cosa), questi ultimi restituiscono l'energia assorbita sotto forma di radiazioni luminose colorate. Ogni atomo produce un suo colore caratteristico, come se fosse un'impronta digitale di quella determinata specie chimica. In base a questa importante proprietà, i chimici analitici sono riusciti ad avere un metodo per rilevare mediante la luce emessa quali tipi di atomi sono contenuti nelle sostanze naturalmente presenti. Questa prova quindi può anche essere catalogata fra gli esperimenti che un professore di chimica potrebbe effettuare in una sua lezione. L'esperimento di cui parleremo tra poco è stato semplificato e congegnato in modo da essere facilmente riprodotto anche per allievi di scuola media. L'obiettivo è mostrare visivamente quanto detto in teoria a proposito del colore alla fiamma prodotto dai vari elementi. I chimici conoscono molto bene questo tipo di fenomeno e lo catalogano con il nome di "Prove alla Fiamma".

Per realizzare questa prova dovrete munirvi di alcuni accessori indispensabili. Per prima cosa dovrete procurarvi alcune provette in vetro dotate di tappo con chiusura ermetica, una serie di bicchierini in vetro (minimo due) o in mancanza di questi, qualsiasi altro tipo di contenitore può comunque andar bene, una spiritiera sicura e funzionante (se si vuole evitare di usare il becco bunsen), un filo di platino corredato di supporto in vetro oppure un filo di nichelcromo, acqua distillata e acido cloridrico (prodotto puro).



Fig. 20.3 - Kit completo per esperienze alla fiamma -

La figura 20.3 mostra il mio personale kit di lavoro che comprende tra l'altro anche un vetro al cobalto di cui parlerò tra breve.

A questo punto con molta pazienza dovrete preparare alcune soluzioni particolari. Per effettuare questo lavoro anche se non è necessaria un'eccessiva precisione sulle pesate delle quantità di sostanze da utilizzare negli esperimenti, occorre comunque l'aiuto di un chimico che vi aiuti a procurarvi queste ultime. Le sostanze occorrenti sono: potassio cloruro, calcio cloruro, bario cloruro, rame cloruro, litio cloruro, cobalto cloruro, stronzio cloruro e sodio cloruro (sale da cucina). Da questo elenco avrete certamente notato che tutti i reagenti necessari sono sali sotto forma di cloruri. Questa condizione è considerata preferibile per la buona riuscita della dimostrazione. Procurato tutto l'occorrente è necessario realizzare delle soluzioni concentrate di questi sali. Per stabilire una proporzione in modo da dare una linea guida all'insegnante che si appresta ad effettuare questo esperimento per la prima volta, è sufficiente un cucchiaino di caffè colmo di sali, sciolto in mezzo bicchiere d'acqua distillata per ottenere soluzioni molto stabili che possono essere conservate indefinitamente. In un bicchierino o in una piccola beuta a parte si deve poi realizzare una soluzione di acqua e acido cloridrico puro. Vedremo che può essere conveniente realizzare due bicchierini in sequenza che contengano la stessa soluzione. Per evitare di avere impurità che possono condizionare l'esito dell'esperimento sconsiglio vivamente di usare l'acido muriatico casalingo che, seppur economico, risulta costituito da acido cloridrico impuro; per questa prova è necessario servirsi di acido cloridrico di grado analitico e di buona qualità. La soluzione di acido cloridrico va realizzata ponendo 1 parte di acido cloridrico concentrato al 37% e due parti di acqua distillata. Avendolo più volte ribadito in precedenza, non mi soffermo sulla necessaria cautela che dovete necessariamente avere nel trattare con tali prodotti che sono corrosivi e pericolosi per la pelle e per gli occhi. Il filo di platino, munito di manicotto in vetro, può essere acquistato presso rivenditori specializzati di prodotti chimici. Riguardo alla mia personale realizzazione sono riuscito a trovarlo in una confezione di un "piccolo chimico" in disuso che mi fu regalato da un vecchio amico. Questo filo dovrà essere immerso più volte nella soluzione di acido cloridrico (HCl) e poi portato alla fiamma per essere purificato da eventuali impurità. La fiamma che occorre generare per effettuare in modo ortodosso questa prova dovrebbe essere generata da un becco bunsen, che non è altro che un cannello alimentato a gas. Per evitare il fastidio di adoperare questo tipo di strumento consiglio una buona spiritiera che, se alimentata ad alcol etilico puro, può risultare soddisfacente per l'esperimento.

Per realizzare la prova in aula occorre creare un minimo di oscurità. Sia chiaro che non deve essere completa, anche perché la luce è necessaria per operare con comodità e prudenza. Appena il filo di platino è pronto e ben pulito, occorre immergerlo per qualche secondo in una delle soluzioni del sale che abbiamo deciso di verificare. Supponiamo di immergere il filo di platino nella soluzione di cloruro di litio. A questo punto se poniamo il filo di



Fig. 21.3 - Colorazioni alla fiamma di alcuni elementi chimici -

platino alla fiamma della spiritiera vedremo tale fiamma colorarsi di uno splendido color rosso porpora. La colorazione si presenterà per pochi secondi e se vogliamo rivederla sarà necessario immergere di nuovo il filo nella soluzione di litio e riportarlo alla fiamma. Se si desidera verificare un altro elemento chimico, occorre pulire il filo di platino effettuando la procedura che prevede l'immersione del filo nella soluzione di acido cloridrico. Se ci sono due soluzioni di acido (e questo è preferibile) possiamo utilizzare in progressione per la pulizia prima una e poi l'altra in modo da essere sicuri di asportare tutti gli eventuali residui del sale chimico precedentemente adoperato. Curare adeguatamente la pulizia del filo di platino consentirà di non inquinare le soluzioni madri dei sali chimici e allungherà notevolmente il tempo di vita di queste soluzioni. Provando una dopo l'altra le soluzioni che abbiamo preparato potremo facilmente verificare che ogni elemento ha il suo colore caratteristico.

SODIO	colore giallo brillante e persistente
POTASSIO	sprazzi di colore violaceo (visibili al vetro al cobalto)
CESIO	colore rosso-violaceo
LITIO	colore rosso cremisi
CALCIO	colore rosso mattone
STRONZIO	sprazzi di colore rosso molto vivo
RAME	colore azzurro poco persistente
BARIO	colore verde persistente
COBALTO	sprazzi bluastri poco persistenti (non è presente la foto)

L'insegnante potrà in questo caso attirare l'attenzione degli allievi facendo loro notare che in cucina, quando cade dell'acqua salata da una pentola e va a finire sulla fiamma bluastri del gas, quest'ultima acquista un colore giallo. I sali di sodio infatti, presentano proprio una colorazione gialla caratteristica. Non fatevi trovare impreparati, se eventualmente un allievo presente vi dirà di aver assistito comunque al fenomeno, anche se non era stato ancora aggiunto sale da cucina all'acqua che bolliva. A questo punto risponderete prontamente che nell'acqua di rubinetto ci sono comunque percentuali di sodio perché acqua potabile non è acqua demineralizzata. Inoltre il saggio alla fiamma è molto sensibile quando

utilizziamo il sodio e tramite esso si possono rilevare quantità di sodio così piccole che la presenza di tale elemento in questo tipo di tecniche analitiche è considerata quasi un fastidio.

Un'ultima nota voglio utilizzarla per parlarvi brevemente del vetrino al cobalto il cui utilizzo è richiamato in tabella riguardo la prova alla fiamma da condurre col sale di potassio. Si tratta di un vetrino trasparente dotato di un'intensa colorazione blu chiamata appunto blu cobalto. In pratica, quando viene eseguita la prova alla fiamma sul potassio quest'ultimo presenta più di un colore caratteristico. Su questo argomento potete trovare molti dettagli nell'allegato di questo modulo. In ogni caso tenete presente che il potassio produce alla fiamma la sua radiazione caratteristica violetta (404 nm) ma produce anche una radiazione rossa (694 nm) che interferisce ovviamente con quella violetta impedendo di percepire chiaramente il colore. Ecco spiegata la necessità di utilizzare il vetrino blu il quale filtrerà la radiazione rossa ed anche un eventuale radiazione gialla di sodio purtroppo sempre presente, rendendo visibile alla platea solo la sua caratteristica colorazione violacea.

Vi ricordo che in mancanza del filo di platino potete usare anche un filo di nichelcromo (materiale usato per realizzare resistenze elettriche nei ferri da stiro, nelle stufe elettriche e negli asciugacapelli). Unico inconveniente riguarda il fatto che il filo di nichelcromo deve essere pulito bene e deve essere usato una sola volta per ogni prova alla fiamma effettuata in quanto dovete buttarlo dopo ogni campione esaminato.

8° Laboratorio

RIFRAZIONE DELLA LUCE

TARGET:

Scuola secondaria (primaria eventualmente solo osservativa)

MATERIALE OCCORRENTE:

Un blocco di plexiglas, un laser a semiconduttore.

Probabilmente molte volte vi sarete chiesti come dimostrare praticamente il fenomeno della rifrazione della luce senza ricorrere alla solita dimostrazione che si serve di un bicchiere d'acqua con un cucchiaino posto all'interno.

Per quanto l'idea del bicchiere è comunque molto semplice ed efficace in termini di risultato ottenibile, voglio proporvi un esperimento che richiede una certa preparazione strumentale ma che possiede una straordinaria efficacia didattica. Si ha fenomeno di rifrazione quando un raggio luminoso, passando tra due ambienti trasparenti di diversa costituzione fisica, subisce una deviazione dalla sua traiettoria originale. Questo accade poiché la luce assume velocità diversa a secondo delle caratteristiche del mezzo interposto.

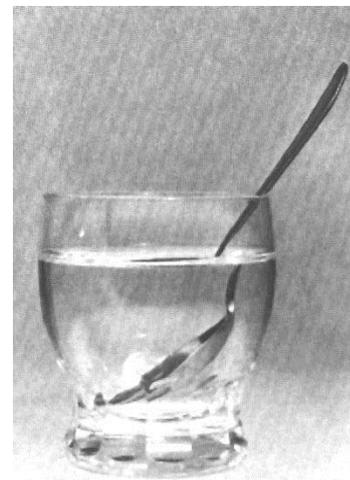


Fig. 22.3

Per esempio, la luce che nell'aria o nel vuoto ha una velocità di circa 300.000 km/s (299766,458 km/s), possiede una velocità sensibilmente minore nel vetro, nell'acqua o nella plastica trasparente. Anche quando un raggio di luce attraversa uno spessore di plexiglas (plastica trasparente) subisce una deviazione. Pensate addirittura che nel diamante la luce subisce una riduzione di velocità così ampia da arrivare ad una velocità di 120.000 km/s.

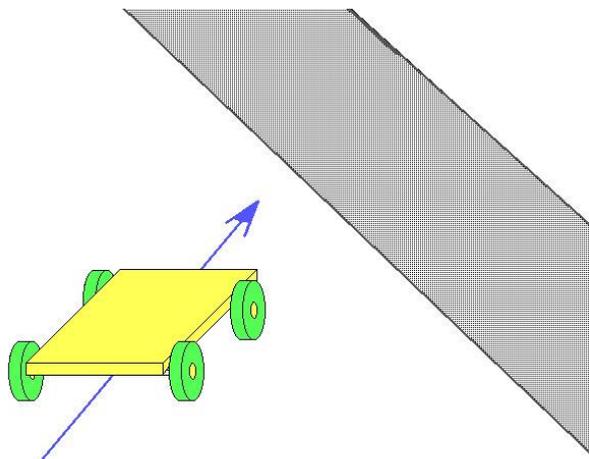
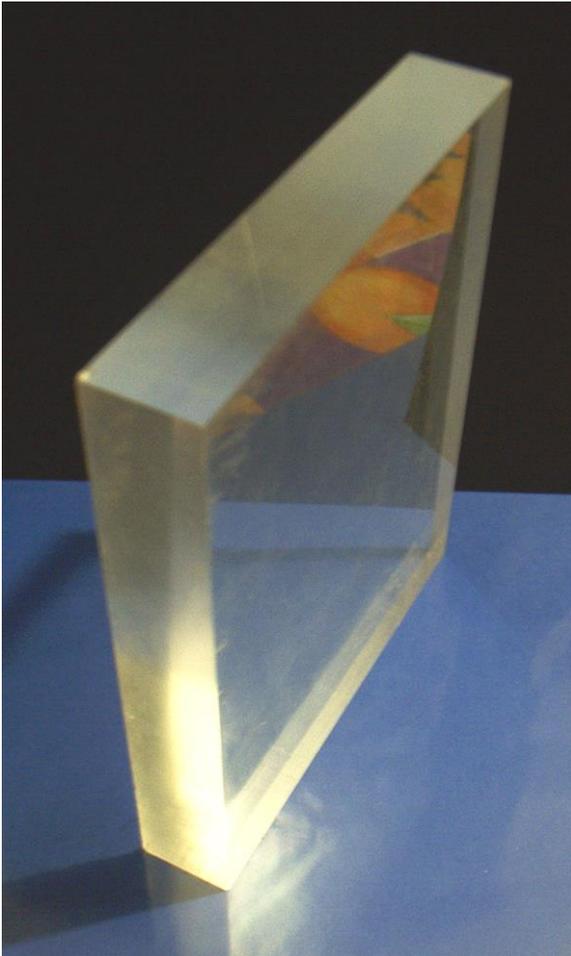


Fig. 23.3 - carrellino che attraversa un tratto dotato di attrito -

Questa è una delle ragioni per la quale i diamanti presentano quei meravigliosi giochi di luce e di colore. Il fenomeno non è solo prerogativa di un raggio luminoso, ma si presenta comunemente anche in altre situazioni sperimentali. Per esempio in letteratura scientifica si parla dell'esperimento del carrellino che, spostandosi con una certa velocità sopra una superficie liscia, devia il suo percorso appena viene fatto passare successivamente sopra uno strato di carta vetrata. Infatti, il carrellino, costituito semplicemente da 4 ruote in gomma e una base di supporto, quando passa dallo strato liscio allo strato di carta vetrata, riduce la sua velocità per attrito e quindi è costretto a deviare. Se volete realizzare questa esperienza, dovete costruirvi un carrellino molto stabile e soprattutto con un lungo asse fra le ruote. L'esperimento riesce meglio se adoperiamo una struttura più larga che lunga infatti, la deviazione lungo la sua traiettoria, avviene quando le ruote interne intercettano la superficie ruvida e rallentano a discapito di quelle esterne che si trovano ancora sulla superficie liscia. Risulterà molto importante curare opportunamente anche l'angolo con cui si dirige il carrellino verso la zona di demarcazione. Il carrellino, lo potete realizzare tramite un gioco di costruzioni per bambini. Risultati soddisfacenti si possono ottenere anche con cilindri rotanti in legno o di altro materiale pesante, lanciati obliquamente verso la superficie di carta vetrata.



Anche le onde sonore se incontrano un mezzo con caratteristiche di conducibilità sonora diversa deviano dal loro percorso subendo una rifrazione. A tale proposito vi invito a leggere il modulo “Il suono” che cita questo fenomeno.

Ma ora ritorniamo al nostro esperimento con il raggio di luce che attraversa un mezzo trasparente come il plexiglas. Per realizzare questo esperimento dovrete procurarvi un parallelepipedo in plexiglas di opportune dimensioni. Con un parallelepipedo di 24 X 20 cm con spessore di circa 4 cm ho ottenuto risultati molto soddisfacenti.

La foto mostra un parallelepipedo che mi fu regalato da un mio carissimo amico che lo usava come fermacarte grazie alle sue notevoli dimensioni. Appena procurato il blocco di plexiglas avete bisogno di un laser a luce visibile. Un tempo era tremendamente difficile approvvigionarsi di un laser del genere.

Fig. 24.3 - Parallelepipedo di plexiglas -

Oggi invece è possibile usare uno di quei piccoli puntatori laser a semiconduttore dal costo di pochi euro reperibili un po' ovunque. Per effettuare l'esperimento ho usato un laser industriale professionale Elio-Neon, ma vi posso assicurare che il risultato è identico anche se usate un puntatore laser a semiconduttore di cui sopra. È molto importante che il laser possieda una divergenza di fascio estremamente contenuta. Per usare parole più semplici, voglio dire, che il fascio di luce deve essere estremamente sottile.

Se qualche volta avete utilizzato un dispositivo laser, vi sarete accorti che questo fascio di luce risulta praticamente invisibile fino a che il laser non incontra nel suo cammino qualche ostacolo. Se spargete infatti della polvere di borotalco nell'aria sarà possibile percepire per pochi secondi la direzione di questo raggio di luce coerente. Se fate passare il raggio di luce laser nel blocco di plexiglas dovrete vedere il raggio di luce che attraversa lo spessore del blocco. Questo fatto accade poiché nel plexiglas sono comunque contenute delle impurezze o delle irregolarità nel polimero. Quello che però costituisce l'elemento osservativo più interessante è che il raggio di luce

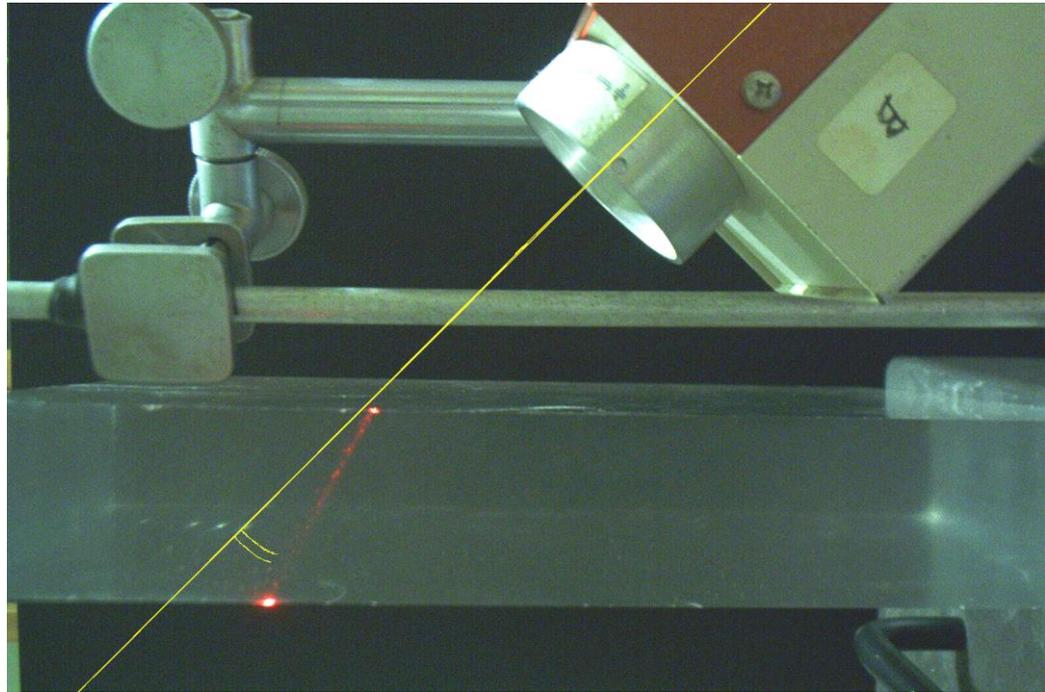


Fig. 25.3 - Fascio laser (in rosso) che attraversa il materiale -

laser risulta sensibilmente deviato rispetto alla sua direzione normale. Per osservare il fenomeno dovete lavorare molto vicino il bordo del blocco di plexiglas. Infatti, presso i bordi, il polimero presenta maggiori possibilità di rifrangenza per i difetti reticolari dovuti al taglio. Quindi, dovrete avere maggiore visibilità di scorgere il fascio laser quando questo lambisce il bordo del plexiglas. La figura n. 25.3 mostra chiaramente l'apparato sperimentale che ho approntato. Nell'immagine è possibile scorgere in alto a destra il laser ad Elio-Neon da 1 mW adoperato per questo esperimento. Sulla figura è stata disegnata una linea gialla per mostrare chiaramente l'angolo di deviazione del fascio di luce del laser. Posso assicurarvi che con molta pazienza, tramite un laser più maneggevole, ho approntato l'esperimento in varie occasioni formative, addirittura direttamente fra la platea dei discenti, ottenendo nella penombra ottime condizioni osservative. Eventualmente potete leggere l'allegato di questo modulo per raccogliere informazioni più dettagliate sul problema della rifrazione. Inoltre potrete utilizzare l'esperimento appena descritto per realizzare una misura in aula dell'angolo di rifrazione. Successivamente, potrete applicare la formula riportata nell'allegato e divertirvi a determinare l'indice di rifrazione del plexiglas e confrontarlo con quello mostrato nella tabella n. 2.3 presente verso la fine dell'allegato.

9°Laboratorio LUCE CHIMICA

TARGET:

Scuola primaria (solo media) e secondaria

MATERIALI NECESSARI:

Vedi testo

Gli esperimenti legati alla produzione di luce grazie all'uso della chimica sono i più affascinanti e certamente non sono difficili da realizzare. Per questa ragione ho pensato di preparare un laboratorio completamente dedicato alla chemioluminescenza, cioè la scienza che si occupa di produrre luce attraverso reazioni chimiche.

Alla base del fenomeno c'è sempre la stessa causa. Gli atomi, eccitati con una certa quantità di energia, restituiscono quest'ultima sotto forma di luce. Ci sono ovviamente un certo numero di modalità operative per ottenere una reazione chemioluminescente, in questo laboratorio vi elencherò alcuni semplici metodi che vi serviranno per dimostrare ai vostri allievi questi fenomeni. Un consiglio estremamente sbrigativo che mi viene subito in mente consiste nel proporvi di acquistare quei dispositivi di segnalazione che funzionano con luce chimica, i cosiddetti Light-Stick, che sono costituiti da un cilindro cavo di polipropilene, contenente una prima sostanza chimica, all'interno del quale è disposta una fiala in vetro sottile sigillata contenente una seconda sostanza. Non appena viene deformato l'involucro principale fino a rompere la fiala di vetro interna il primo liquido chimico, con funzione di catalizzatore reagisce con la sostanza contenuta nel cilindro esterno e la luce viene prodotta. L'emissione luminosa dei Light-Stick può durare anche più di 10 ore. Poiché è difficile approvvigionarsi delle sostanze chimiche adoperate per realizzare i Light-Stick, può essere una valida idea aprire il contenitore con molta cura, estrarre le due sostanze e conservarle separatamente per utilizzare successivamente un po' alla volta nelle varie prove. Normalmente questo lavoro necessita di una bisturi affilato oppure una lametta, tramite la quale è possibile tagliare dall'alto il contenitore cilindrico in polipropilene. Successivamente, con l'ausilio di una pinzetta, si estrae la fiala di vetro e la si pulisce accuratamente dall'esterno. Appena fatto questo, si apre la fiala con attenzione raccogliendo il prodotto in un piccolo contenitore di vetro sigillato, mentre il liquido viscoso esterno, contenuto nel cilindro di polipropilene, lo si raccoglie in un altro contenitore sempre dotato di chiusura ermetica. L'importanza di aver separato le due soluzioni vi permette di utilizzare quantità più ridotte dei preparati e quindi vi offre la possibilità di ripetere più volte la prova. Per le successive prove, oltre i due contenitori in cui sono collocate le due sostanze, vi serve solo una provetta di vetro per avere tutto l'occorrente necessario. Realizzando un minimo di penombra in aula, vi appresterete a introdurre nella provetta una parte del liquido contenuto nella fiala in vetro e due parti del liquido più viscoso, che era contenuto nell'involucro in polipropilene. Il preparato dovrebbe subito emettere luce. Per aumentare l'intensità della luce potete aggiungere dell'ammoniaca. Quest'ultimo espediente, pur dandovi una luce più brillante, riduce drasticamente i tempi di emissione luminosa a pochi secondi. Comunque è bene avvisarvi che i prodotti separati sono molto delicati e

quindi dopo alcune settimane o anche giorni, le sostanze non sono più in grado di reagire. Può essere interessante sapere che alcuni di questi dispositivi producono luce per mezzo di una reazione di ossidazione a opera di acqua ossigenata su un **estere ossalico**, inoltre è presente del **9,10 difenilantracene** (luce blu) che risulta la sostanza in cui si produce l'attivazione chimica.

È possibile ottenere forti emissioni di luce anche attraverso una reazione chimica che utilizza il **luminolo** o **luminol** (5-amino-2,3-diidro-1,4-ftalazindione) $[C_8H_7N_3O_2]$. Questa sostanza, in soluzione alcalina, reagisce con acqua ossigenata producendo luce anche molto intensa. Come curiosità vi rammento l'impiego del luminolo in miscela con perborato di sodio, ferricianuro di potassio e sodio fosfato tribasico, per la preparazione di tavolette che, gettate in acqua, emettono una luce molto intensa impiegata per segnalazione di naufraghi o battelli di salvataggio (vedi nota fine modulo).

Forse non tutti sanno che qualche bagliore luminoso può produrvelo anche un pane di zucchero se opportunamente percosso in una stanza completamente buia. Un pane di zucchero è un ammasso cristallino di saccarosio ($C_{12}H_{22}O_{11}$) in pratica un insieme di grossi cristalli che dovete procurarvi in qualche modo. Non provate con le zollette di zucchero perché, essendo costituite da un insieme di cristalli di zucchero troppo minuti, non funzionano. Una soluzione potrebbe essere quella di sintetizzarvi in proprio un cristallo di zucchero (vedi apposito modulo). Comunque se vi munite di un martello e ponete sopra un tavolo in una stanza buia il pane di zucchero, percuotendolo con un colpo secco fino a spezzarlo osserverete dei bagliori verdastri caratteristici. Questa reazione fotomeccanica si genera poiché i cristalli di saccarosio possiedono dei difetti nel loro reticolo cristallino che si comportano come centri di colore. Sono zone dove in qualche modo c'è una carica elettrica isolata che, se eccitata, emette energia sotto forma di luce.

L'esperimento che ora intendo presentarvi è un esempio caratteristico di luce chimica ed è stato effettuato con successo da un mio carissimo amico di nome Domenico Cirillo di San Nicola La Strada in provincia di Caserta e che ringrazio per avermi fornito tutte le informazioni necessarie. L'esperimento non è fra i più semplici da un punto di vista esecutivo ma sicuramente vi potrà destare interesse poiché le sostanze adoperate sono reperibili con relativa facilità.

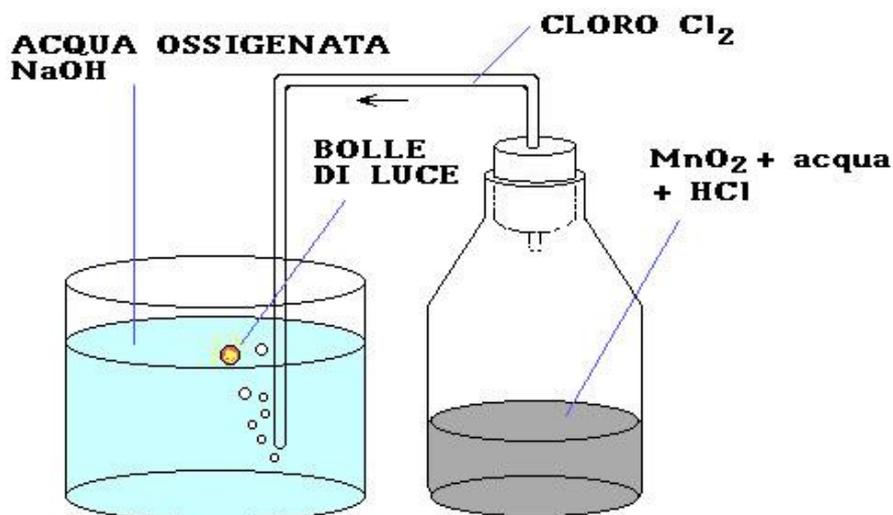


Fig. 26.3 - Generazione di luce per ossidazione dell'ossigeno -

Per effettuare l'esperienza avete bisogno di realizzare una sistemazione di apparati simile a quella mostrata in figura. In un contenitore trasparente dovete introdurre dell'acqua in soluzione alcalina per idrossido di sodio. Con 40 grammi di idrossido di sodio sciolti in 250 cc di acqua otterrete una soluzione pari a 4 molare (4M , così come dicono i chimici) sufficiente allo scopo. La soluzione è molto concentrata quindi gli effetti della sua aggressività sulla pelle sono più elevati e ricordatevi inoltre che si genererà del calore quando tenterete la dissoluzione del NaOH. Aggiungete alla soluzione dai 20 ai 40 cc di acqua ossigenata molto concentrata (36 volumi può essere l'ideale). Poi infilate un tubicino in vetro sagomato opportunamente in modo che i gas prodotti dalle reazioni chimiche che si svolgono nella bottiglia di destra, possano gorgogliare all'interno della soluzione di questo contenitore. La bottiglia di destra deve avere un tappo in gomma o in sughero forato al centro in modo da poter infilare l'altro capo del tubicino di vetro. Mi raccomando di operare in modo da realizzare un sistema in cui è possibile chiudere velocemente la bottiglia di destra allorquando le reazioni chimiche che vi si svolgono all'interno sono iniziate. Le reazioni chimiche che devono svolgersi in questa bottiglia di destra devono, in pratica, produrre un certo flusso di gas cloro. Questo gas, a contatto con l'ambiente alcalino e ossidante che avete prodotto all'interno del contenitore principale - quello di sinistra, per intenderci - subirà un processo di ossidazione che porterà a sua volta l'ossigeno gassoso ad emettere una luminosità arancione/rossa molto evidente. In effetti, quello che riuscirete ad osservare sarà costituito da una serie di bollicine di gas cloro che appena giunte in superficie si romperanno emettendo la luce rossa. Più avanti è riportata l'equazione chimica che sta alla base del fenomeno di emissione luminosa da parte dell'ossigeno. Mi preme fornirvi questa informazione pensando possa essere utile ad alcuni di voi, anche se non è indispensabile entrare necessariamente in quest'ordine di dettagli. La reazione di ossidazione risulta:



La notazione $h\nu$, in fisica, significa luce.

Occorre ora che vi fornisca informazioni sulle possibili reazioni mediante le quali produrre gas cloro dalla bottiglia generatrice di gas.

A tal fine ho sperimentato alcuni metodi molto semplici. Ho pensato di illustrarvene tre per permettervi di scegliere quello che più ritenete idoneo ai vostri scopi.

Per produrre cloro (1° metodo)

Si tratta di una reazione che si svolge a caldo e bisogna adoperare del biossido di manganese (MnO_2) e dell'acido cloridrico (HCl). Il biossido di manganese può essere acquistato in negozi specializzati per prodotti chimici oppure può essere estratto smontando una pila a torcia del tipo non alcalina, raccogliendo quella polvere nera che vi è contenuta. In effetti la polvere è costituita da un miscuglio di biossido di manganese e carbone ma quest'ultimo non modifica il risultato dell'esperimento. Per quanto riguarda l'acido cloridrico possiamo utilizzare anche un prodotto casalingo l'importante che sia del tipo più concentrato. Procurati i reagenti dovete procedere in questo modo: per prima cosa occorre preparare una soluzione di acqua e biossido di manganese. La metà di MnO_2 estratto da

una pila tipo torcia è sufficiente per circa 200 cc di acqua. Questa soluzione nera sarà riscaldata fino a quasi l'ebollizione e poi immediatamente versata nella bottiglia di destra nell'attesa di aggiungere la soluzione successiva. Questa è costituita da una soluzione commerciale di **HCl** al 22% pari a 20 cc. Tale quantità di acido va essere versata nella bottiglia di destra, che sarà subito tappata. Il gas cloro, comincerà ad uscire copioso dal beccuccio posizionato dal lato opposto del tubicino e comincerà a gorgogliare nella soluzione alcalina creando le bolle luminose. È molto importante non respirare i vapori di cloro, quindi consiglio vivamente di effettuare l'esperimento in ambiente molto arieggiato oltre a stare estremamente attenti quando maneggiate l'acido cloridrico. È bene ricordare che aggiungendo l'acido alla soluzione calda di biossido di manganese possono svilupparsi facilmente anche vapori di HCl, quindi la raccomandazione è di prendere tutte le precauzioni del caso.

Per produrre cloro (2° metodo)

Il secondo metodo è più semplice del primo ma occorre procurarsi del clorito di sodio **NaClO₂**. Questa sostanza è quella che viene adoperata nelle centrali di clorurazione degli acquedotti. La reazione chimica che viene prodotta dal clorito di sodio è "proprio" quella che viene normalmente realizzata presso queste centrali, tramite la quale si ottiene cloro gassoso che viene inviato nell'acqua per disinfettarla e renderla potabile. Bisogna introdurre nella solita bottiglia posta a destra dell'illustrazione n. 26.3 circa 8 cc di clorito di sodio che si presenta come una soluzione liquida giallo chiaro. Poi bisogna introdurre 15 -20 cc di acido cloridrico al 22%. La soluzione quasi istantaneamente diventerà giallo arancione e si vedrà distintamente la produzione di cloro gassoso di colore giallo verde fuoriuscire dalla superficie. Vi consiglio di non aumentare i quantitativi di liquidi indicati e vi ricordo ancora una volta di effettuare la prova in un locale provvisto di aerazione e soprattutto dotato di una finestra che vi servirà anche per riporre all'esterno l'apparato sperimentale mentre continuate la lezione. La reazione di produzione del cloro è molto vivace e quindi vi conviene provare l'esperimento prima di effettuarlo in aula. In caso fosse necessario, potremo ridurre la concentrazione dell'acido cloridrico che deve essere immesso per avere la reazione.

Per produrre cloro (3° metodo)

Per produrre cloro si può anche utilizzare una soluzione di acido cloridrico (la concentrazione dell'acido muriatico casalingo può andare bene allo scopo) e pochi grammi di permanganato di potassio **KMnO₄**. Il permanganato di potassio è un potente disinfettante ed anche un forte ossidante (attenzione perché è una sostanza nociva). Questo prodotto, che si presenta come una polvere violacea molto scura, ha la capacità di ossidare l'acido cloridrico producendo a sua volta cloro gassoso.

Se volete verificare l'effettiva emissione di cloro da parte di uno dei tre metodi mostrati, potrete servirvi di una cartina alla salda d'amido che si porrà in vicinanza della bocca della bottiglia in cui avviene una delle tre reazioni chimiche illustrate precedentemente. Se viene emesso cloro, la cartina, inumidita da qualche goccia d'acqua, diventerà azzurra. Una cartina alla salda d'amido si

prepara utilizzando una striscia di carta assorbente in cui è stata fatta assorbire una soluzione di **amido** e una di **ioduro di potassio (KI)**.

Mentre mi appresto a terminare per voi questo laboratorio, nella mia memoria si ridestano ricordi di decine di anni or sono quando giovanissimo mi accingevo in laboratorio a produrre luce chimica attraverso le reazioni con la fosfina. Ebbene, non riuscì mai a ottenere nessun valido risultato, ma l'occasione mi spinge a ricordarvi che, a volte, nei vecchi cimiteri dove i cadaveri sono seppelliti in casse di legno non perfettamente ermetiche, si osservava spesso il manifestarsi di un curioso fenomeno. Quando si verificavano particolari condizioni climatiche, le emanazioni dei cadaveri, che consistono anche in prodotti fosforati, producevano di notte nell'aria bagliori luminosi caratteristici che prendevano il nome di fuochi fauti.

Queste reazioni chimiche sono prodotte per l'ossidazione di una gas chiamato fosfina PH_3 . Guarda caso, questo gas è costituito proprio da fosforo primo elemento chimico che nottetempo ha mostrato agli occhi degli alchimisti le prime manifestazioni di luce fredda di tipo chimico negli alambicchi di questi arcaici ricercatori.

NOTE:

Attenzione, poiché vi troverete a gestire una fuoriuscita di gas cloro dalla vostra apparecchiatura chimica, vi consiglio di aggiungere, come ulteriore raccomandazione, sul contenitore di sinistra un coperchio forato al centro (una specie di cappa), sul quale fissare un tubo che convogli in qualche modo il cloro all'aperto.

10° Laboratorio

DIFFUSIONE DELLA LUCE

TARGET:

Scuola primaria e secondaria

MATERIALE OCCORRENTE:

Torcia elettrica, sigaretta accesa, contenitore trasparente, acqua, poche gocce di latte.

Perché il cielo è azzurro ? Ricordatevi che alle domande più semplici sono a volte legate le risposte più complicate. Per rispondere a questo quesito in modo esaustivo infatti, dovrete consultare l'allegato di questo modulo. Al suo interno infatti si parla del problema della diffusione luminosa, che risulta essere il fenomeno responsabile di alcune importanti proprietà della luce, tra cui anche quella relativa al colore del cielo. Ma cerchiamo di rispondere a questa apparentemente banale domanda attraverso l'esecuzione di alcune semplici esperienze. La diffusione della luce si verifica allorché un raggio luminoso si propaga in un mezzo trasparente come ad esempio un gas o anche un cristallo oppure un liquido. A seconda delle dimensioni delle particelle che compongono queste sostanze, il raggio luminoso può subire o meno il fenomeno della diffusione. Esso non è altro che un processo di riflessione della luce di tipo particolare. Mostrare oggi in aula questo fenomeno è estremamente semplice.

Anche un provvidenziale raggio di luce solare che filtra attraverso un orifizio e diffonde la sua luce tramite il pulviscolo atmosferico può essere un esempio molto semplice del processo di diffusione. Ma un vero e proprio processo di diffusione che funga anche da elemento di attenzione deve essere preparato in un modo più accurato. Se vi procurate uno di quei puntatori laser giocattolo, potete ottenere un evidente fenomeno di diffusione luminosa facendo passare il fascio di luce attraverso una soluzione liquida all'interno della quale avete avuto cura di disporre una sostanza colloidale come un detersivo in polvere, qualche goccia di latte, oppure un sale non completamente solubile. A volte mi sono servito di vetri smerigliati o lampadine con vetro bianco utilizzate ovviamente in modo passivo cioè non alimentate. In questo caso, per ottenere un ottimo esempio di diffusione, ho puntato semplicemente il fascio laser all'interno dell'ampolla di vetro. In altri casi ho utilizzato dei cristalli, che ho avuto la pazienza di realizzare in laboratorio.

Tuttavia, per ottenere osservazioni ancor più interessanti, voglio descrivervi una procedura sperimentale estremamente semplice che vi permetterà di dimostrare i vari fenomeni di diffusione conosciuti.

Ponete in un contenitore perfettamente trasparente un litro di acqua e aggiungete 4 o 5 gocce di latte. Se poniamo questo contenitore lungo il percorso di un raggio di luce bianca, come per esempio quello prodotto da una torcia elettrica, vedremo l'acqua all'interno del contenitore assumere una colorazione azzurra. La colorazione azzurra dell'acqua che contiene un poco di latte dissolto sarà certamente evidente già con la luce diffusa del giorno. Questo fenomeno è dovuto al fatto che le particelle di grasso contenute nel latte, si distribuiscono nella massa di liquido generando dei centri di diffusione per la luce poiché queste particelle di grasso hanno un diametro inferiore alla lunghezza d'onda della luce incidente si verificherà un processo di diffusione, chiamato "**diffusione di Rayleigh**". Se aggiungiamo più latte, oppure osserviamo il fascio della torcia elettrica ponendoci esattamente di fronte ad essa e avendo cura di far passare la luce in uno spessore di acqua più torbida, osserveremo una colorazione rossastra del raggio di luce. Questa colorazione si verifica poiché la luce, attraversando ampi strati di liquido ha più probabilità di trovare particelle sospese con diametro più grande (ecco perché si parlava di aggiungere un poco più di latte) e quindi subirà un processo di diffusione chiamato, "**diffusione di Mie**".

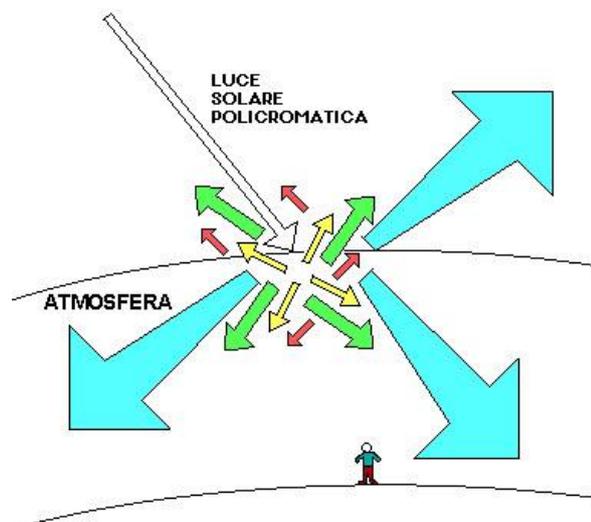


Fig. 27.3 - Diffusione di Rayleigh -

Quando il cielo è sereno, la luce del sole diffonde negli alti strati atmosferici tramite le molecole di azoto e di ossigeno che riempiono la nostra volta di cielo. Queste molecole essendo molto piccole consentono di ottenere la diffusione di **Rayleigh**, ecco perché il cielo è azzurro. Vedi foto n. 27.3.

Al tramonto invece, il sole ponendosi basso sull'orizzonte, attraversa innanzitutto più atmosfera, per mezzo della sua posizione relativa al nostro punto di osservazione e ha maggiori probabilità di trovare aria più contaminata di particelle inquinanti, di polvere e di smog, sempre presenti a livello del mare. Come conseguenza la luce diffusa assume una colorazione rossa. Lo stesso fenomeno del latte lo possiamo ottenere osservando il fumo di una sigaretta. Se la sigaretta è accesa, il fumo che si solleva da essa è azzurrognolo poiché le particelle di fumo sono piccolissime e prevale la diffusione di **Rayleigh**. Se aspiriamo il fumo e lo emettiamo di nuovo nell'ambiente, esso è leggermente più giallognolo. Questo accade, poiché il fumo aspirato è più carico di umidità e di conseguenza le particelle di diffusione che lo costituiscono sono più grandi. Prevalde quindi la diffusione di Mie. Se la luce invece percorre un ambiente che contiene particelle di dimensione ancora più elevate della lunghezza d'onda del fascio luminoso, accade che la diffusione avviene senza privilegiare nessun colore caratteristico con la conseguenza che tutti i colori che costituiscono il fascio di luce vengono diffusi. Un validissimo esempio di questo fenomeno ci è dato dal fatto che le nuvole appaiono bianche. Infatti, le goccioline di acqua che formano la nuvola hanno dimensioni più elevate della lunghezza d'onda della luce.

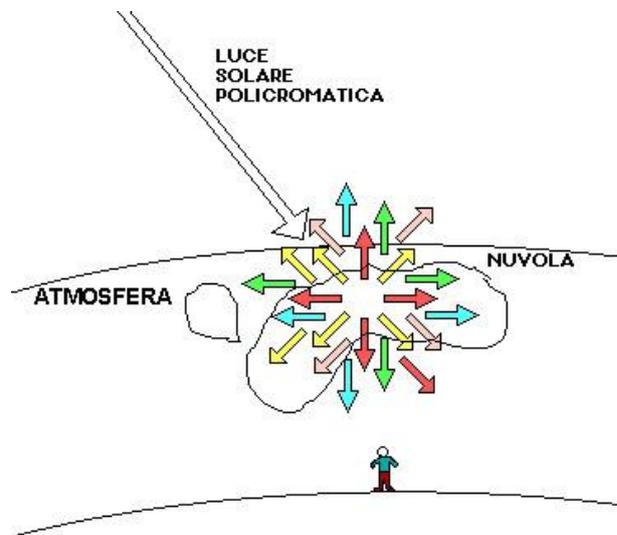


Fig. 28.3 - Diffusione cromatica -

In pratica, ogni gocciolina di acqua dispersa in seno alla nuvola, si comporta come un prisma che divide la luce in tutti i colori dello spettro. La presenza di tante goccioline, disposte caoticamente attorno ai centri di diffusione, somma di nuovo tutti i colori permettendoci di osservare da lontano una luce biancastra. Lo stesso dicasi delle polveri cristalline come lo zucchero, oppure il vetro polverizzato. Sempre allo scopo di offrirvi idee che potreste trovare utili per le vostre azioni formative, potete provare per esempio a mostrare agli allievi dei granelli di zucchero al microscopio. Essi, osservando lo zucchero tramite lo strumento, proveranno la sensazione di vedere dei blocchi di ghiaccio o di vetro.

Lo zucchero al microscopio è infatti trasparente. Tuttavia un mucchietto di zucchero osservato in modo naturale presenta una colorazione bianca poiché la luce diffonde tutti i colori dello spettro in modo uguale. I colori si uniscono di nuovo tutti insieme e così come succedeva con il cerchio di Newton la sensazione osservata è simile al bianco.

11°Laboratorio CORPO NERO

TARGET:

Scuola secondaria

MATERIALE OCCORRENTE:

Due blocchetti pieni di alluminio uno dei due è verniciato di colore nero, due termometri da 50°C, o anche da 100 °C, fondo scala

Questa semplice esperienza, che può in un certo senso essere addirittura rivolta ad un pubblico di scolari che frequentano i primissimi anni della scuola primaria, si propone di verificare con semplicità i problemi connessi all'assorbimento della radiazione elettromagnetica. Forse è un po' eccessivo chiamare questo laboratorio "corpo nero", ma certamente l'esperienza che intendo proporvi è allineata all'argomentazione relativa alla teoria corpo nero.

In fisica, si dice che il corpo nero è considerato un radiatore o un assorbitore perfetto. Questa affermazione significa che un corpo che presenta la capacità di assorbire tutte le radiazioni dello spettro è anche capace di emetterle con una certa facilità. Un corpo, che assorbe o emette in maniera soddisfacente tutte le radiazioni (anche quelle invisibili), è considerato un corpo nero. Tuttavia badate bene che anche il nostro Sole si comporta fedelmente ad un radiatore nero. Infatti esso emette tutte le radiazioni dello spettro. Quindi il concetto di corpo nero non riguarda necessariamente il colore del corpo. Tuttavia il colore è fondamentale, poiché ci fornisce indicazioni di come il corpo è influenzato dalle radiazioni elettromagnetiche. Nell'appendice di modulo troverete una tabella che mostra l'emittanza (quindi l'attitudine di un materiale a candidarsi come radiatore nero). Se guardiamo la tabella, vediamo che i corpi che hanno una forte emittanza, si comportano quasi come se fossero dei corpi neri ideali. Se un corpo è un radiatore di energia perfetto è anche un buon assorbitore di energia. Nella nostra semplice prova vogliamo dimostrare proprio questo.

Innanzitutto dovete procurarvi due blocchetti di metallo identici. Potrebbero essere ottimi due blocchetti di alluminio. Per esempio due cubi di circa 4 o 5 cm di lato. Sopra ad una delle facce del cubo, utilizzando un trapano, è necessario fare un foro di circa 5 mm di diametro con una profondità di 1 centimetro. In (ogni caso tenete presente che in) questo foro dovrà essere alloggiata l'ampolla di un termometro a mercurio che deve avere un fondo scala di circa 50 °C . In questo senso i fori saranno realizzati scegliendo le dimensioni più opportune legate al tipo di termometro che troverete a utilizzare. Uno dei due blocchetti di alluminio deve essere verniciato di colore nero. Si utilizzerà in questo caso una vernice a

spruzzo per metalli. I due blocchetti, con i due termometri infilati nei fori, devono riportare inizialmente un'identica temperatura (quella ambiente). Successivamente, essi vanno posti sopra ad una finestra ed esposti alla luce di una bella giornata di sole. Dopo circa 30 minuti, si potrà osservare che il termometro posto nel blocchetto verniciato di colore nero, riporterà una temperatura sensibilmente più elevata di quella riportata dal termometro inserito nel blocchetto non annerito. Questa semplice prova mostra che corpi scuri tendono ad assorbire tutte le radiazioni. Comportandosi come un ottimo esempio di assorbitore nero integrale. Un esempio quotidiano in tal senso è costituito da indumenti di colore scuro. Se questi abiti sono indossati in una giornata estiva, ci provocheranno una maggiore sensazione di calore rispetto ad indumenti molto più chiari.

Per realizzare un'esperienza che mostra un esempio di corpo nero emettitore perfetto, potete far bruciare un metallo. Vi informo, che con pochissimi grammi di magnesio potete ottenere un bellissimo effetto di un corpo nero quasi ideale in cui viene mostrata una emissione integrale di spettro radiativo. Per procedere nell'esperienza, procuratevi un nastro di magnesio che potete trovare presso un rivenditore di prodotti chimici (oppure in una scatola di Piccolo Chimico), ne bastano 2 o 3 millimetri. Tenete stretto il pezzetto di magnesio servendovi di una pressella (pinzetta) in acciaio e, mediante l'uso di un accendino o meglio ancora di un saldatore a gas, tenetelo all'interno della fiamma. Ad un certo punto (bisogna aspettare alcuni minuti) vedrete il magnesio bruciare con fiamma vividissima di colore chiaro, producendo nel contempo molto calore. Il punto luminoso che i vostri discenti potranno osservare è un emettitore nero quasi perfetto. Alla fine dell'esperienza vedrete al posto del pezzetto di magnesio una polvere bianca. Fatela osservare ai presenti e dite loro che si tratta di ossido di magnesio (MgO). Quello che è avvenuto davanti agli occhi di tutti è stata una pura e semplice combustione.

12° Laboratorio

L'energia della luce

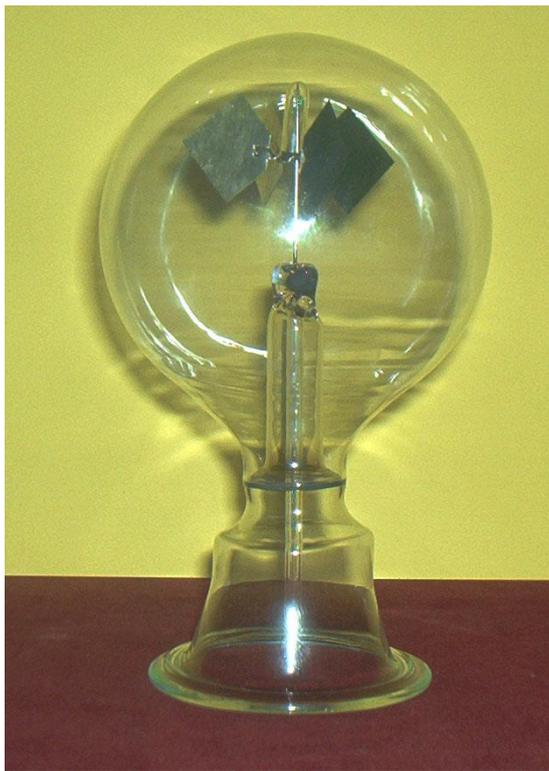
TARGET:

Scuola primaria e secondaria

MATERIALE OCCORRENTE:

Un radiometro di Crookes, un cartoncino fotografico, una lampada wood tascabile, una torcia elettrica.

Per terminare voglio proporvi due semplicissime esperienze che dimostrano come la luce sia una radiazione che trasporta una certa quantità di energia. È evidente che questa affermazione non ci stupisce. In sede oratoria potremo certamente ricordare agli allievi presenti che la fotosintesi clorofilliana, da cui dipende la vita sulla Terra, rappresenta l'espressione più evidente dell'apporto energetico della luce. Anzi, oltre ad essa, esistono numerosi altri esempi che possono, anzi devono, essere esaminati e proposti ai vostri discenti su come la luce si dimostra apportatrice di energia, fra i quali non ultimo la



trasformazione di energia luminosa in energia elettrica da parte delle cellule fotovoltaiche e le famose centrali termiche solari.

Ma veniamo all'esempio da realizzare in aula. Per effettuare questa esperienza dovete comprarvi un radiometro di Crookes. Si tratta di un congegno di bassissimo costo che potete trovare nei negozi più disparati. Il fatto che lo strumento abbia estesa la sua reperibilità, un tempo confinata unicamente nei laboratorio di fisica, non può far altro che allietarci. La foto n. 28.1.3 mostra l'apparecchio in questione.

Il radiometro è costituito da un contenitore in vetro leggero, quasi sempre di forma sferica all'interno del quale si trova un dispositivo a palette molto leggero in grado di ruotare su di un perno metallico molto sottile.

Fig. 28.1.3 - Radiometro di Crookes -

Il gruppo rotante o elica come è normalmente chiamato è poggato su questo perno verticale in modo da produrre il minimo attrito. Lo strumento è estremamente sensibile e se toccato l'elica al suo interno comincia a ruotare. Per questa ragione nell'ambito della dimostrazione bisogna aspettare pochi secondi affinché il movimento inerziale si arresti. Le palette sono realizzate in materiale leggero in genere in mica e sono fatte in modo da avere una faccia scura e l'altra di un colore riflettente.

Ed è proprio quest'ultima condizione che permette all'apparecchio di funzionare come sensibilissimo rilevatore di luce. Per ottenere risultati soddisfacenti è necessario utilizzare una torcia elettrica perfettamente funzionante in grado di produrre un flusso luminoso significativo. Appena provate ad illuminare il radiometro con questa luce, vedrete che esso comincerà a girare piuttosto velocemente. La luce che colpisce le palette del radiometro infatti, provoca un riscaldamento che sarà maggiore su quelle di colore nero rispetto al riscaldamento che si verifica sulle palette riflettenti. Questo squilibrio di calore fra le palette provoca la rotazione del mulinello grazie ad un momento meccanico. Questo fenomeno si verifica a causa della differenza di rinculo delle molecole contenute nell'ampolla di vetro che urtano le palette per agitazione termica.

Noterete che molto difficilmente otterrete un movimento da parte dell'elica se non usate una sorgente luminosa sufficientemente ricca di raggi infrarossi. Una torcia elettrica con lampadina ad incandescenza è considerata ottimale per questo scopo. Voglio ricordare che il funzionamento di questo semplice strumento ha sconcertato diversi fisici verso la fine dell'800, tra cui Maxwell, Reynolds, e Stoney. Se il lettore tentasse una ricerca, scoprirà che la spiegazione che abbiamo dato in queste poche righe circa la causa della

rotazione delle palette del radiometro, per quanto è considerata la più corretta non è la sola oggi esistente.

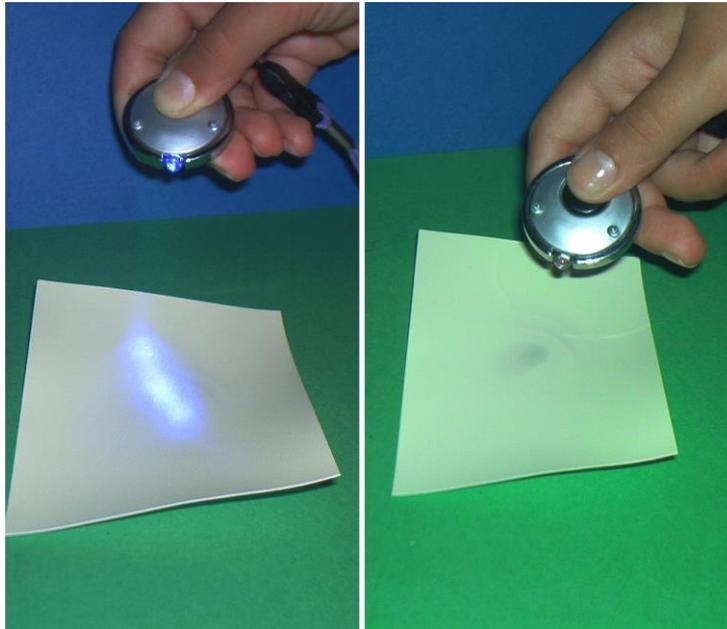


Fig. 28.1.4 - Fotoattivazione di un cartoncino fotografico per emissione UV -

Per il secondo esperimento dovete procurarvi un cartoncino fotografico. Mi riferisco a quei cartoncini muniti di emulsione fotografica per sviluppare fotografie bianco e nero. Per reperire questo cartoncino sensibile alla luce dovete chiedere ad un amico fotografo che possiede uno studio personale adibito allo sviluppo di foto. A tal proposito potete anche consultare il primo laboratorio del modulo "L'elettromagnetismo" dove parlo brevemente di questa tecnica. Appena venuti in possesso del cartoncino fotografico, dovete conservarlo in una confezione scura poiché non deve assolutamente prendere luce. Sistemato il cartoncino dovete procurarvi un altro indispensabile dispositivo. Si vendono da qualche tempo per pochissimi euro, delle piccole lampade led tascabili, dotate di emissione caratteristica tipo Wood. Questi dispositivi sono grandi poco più di un portachiavi e sono dotati di un led che produce una luce viola caratteristica simile a quella prodotta dalla lampada Wood a gas di cui abbiamo parlato in un precedente laboratorio. Di solito è reperibile sulle bancarelle, come sistema per verificare la filigrana delle banconote. Questo dispositivo, che non mi sono fatto mancare fra la mia attrezzatura di docente appassionato, produce uno spettro di emissione molto spostato sulle frequenze ultraviolette della luce. Procurato questo mini emettitore ultravioletto, siete pronti e potete procedere a fare la prova direttamente fra il pubblico dei vostri spettatori. Prendete dalla confezione uno dei cartoncini fotografici che si presentano giallastri o anche bianchi sul lato sensibile e ponetelo molto ravvicinato, quasi a toccarlo, con il raggio di luce prodotto dal led. Dopo una manciata di secondi, 4 o 5 secondi al massimo, vedrete la zona sul cartoncino interessata dall'illuminazione del led, completamente annerita. Spiegate ai vostri allievi che la luce ultravioletta è dotata di molta più energia della luce visibile e quindi è in grado di ridurre gli atomi di

argento che sono dispersi sull'emulsione fotografica molto più intensamente della luce naturale. Se poi volete accelerare il tempo di risposta in relazione all'annerimento del cartoncino fotografico, eccovi un trucchetto. Bagnate con il dito la parte del cartoncino fotografico con una soluzione di solfito di sodio (Na_2SO_3). L'annerimento avverrà a meno di un secondo dall'esposizione alla luce led ultravioletta. Ovviamente sarà un'operazione che dovete fare pochi minuti prima della prova. Altrimenti il punto del cartoncino che avete bagnato con il sale, si annerirà completamente nel giro di un'ora e questo accadrà anche senza che sia apportata la necessaria esposizione luminosa. Grazie a questo esperimento potete cogliere l'occasione per parlare degli aspetti fisici riguardanti l'assorbimento di luce da parte della materia e delle reazioni fotochimiche associate a questi fenomeni. Se provate ad illuminare con questa lampada speciale il radiometro di Crooks, non assisterete al movimento rotativo dell'elica. Infatti, le radiazioni prodotte dal led, pur essendo molto energetiche, hanno un bassissimo contenuto di radiazioni infrarosse e nel caso del radiometro di Crookes, come abbiamo già detto, sono proprio quel tipo di radiazione che provoca la rotazione del mulinello.

APPENDICE:

ESEMPI DI ILLUMINAZIONE MEDIA	
LUX (lm/m²)	AMBIENTE
Meno di 0.1	Luce di una lucciola ad 1 metro
Da 1 a 2	Luce di una candela ad 1 metro ($\cong 0.07 \text{ w/m}^2$)
100000	Luce naturale ore 12 cielo sereno
65000	Luce naturale ore 10 cielo sereno
35000	Luce naturale ore 15 cielo coperto
32000	Luce naturale ore 12 cielo coperto
25000	Luce naturale ore 10 cielo coperto
2000	Luce naturale un'ora dopo l'alba, cielo coperto
1000	Interno, lampade fluorescenti + luce finestra
1000	Luce naturale un'ora prima dell'alba
800 – 700	Catene di montaggio
700 – 500	Grandi magazzini
500 – 400	Interni con lampade fluorescenti
300 – 200	Interni
200 – 100	Scale interne

FLUSSO LUMINOSO ED EFFICIENZA LUMINOSA DI ALCUNE SORGENTI DI LUCE		
Sorgente	Flusso luminoso in LUMEN (lm)	Efficienza luminosa lm/W
Luce di una lucciola	$\cong 0.025$	600
Led (normali)	0.1 – 0.8	10 – 20
Led (alta efficienza)	10 - 32	100
Candela normale	$\cong 12,56$	0,1
Lampadina a filamento di tungsteno	200 – 2000	10 – 30
Lampadina a filamento di carbone	< 500	3
Lampade fluorescenti	4800 (a 65W)	40 – 70
Alogene per proiettori	2400 (A 100W)	20 – 30
Fluorescenti a risparmio	400 – 1500	120 – 180
Ioduri metallici	17000 (a 245W)	70 – 100
Sodio alta pressione	5600 (a 80 W)	70 – 125
Sodio bassa pressione	25800 (a 127W)	100 – 200
Proiettore Xenon (grande)	600.000	
Sole	$3,6 \cdot 10^{28}$	

SORGENTE	Radianza
Fissione di una bomba atomica	$2 \cdot 10^{12}$
Lampo	$6.8 \cdot 10^{10}$
Laser CO ₂ a 100 W su 0.012 cm ²	$8 \cdot 10^9$
Laser a semiconduttore GaAs 10 mW	$3 \cdot 10^7$
Luce di un filamento di tungsteno incandescente	$8.9 \cdot 10^5$
Sole osservato dalla Terra alle 12:00	$1.6 \cdot 10^4$
Cielo azzurro	7.9
Lampada fluorescente	6.8
Luna osservata dalla Terra	2.5

RADIANZA MISURATA IN cd/m²
PER SORGENTI LUMINOSE DI VARIO GENERE

UNITA' di MISURA FOTOMETRICHE

RADIOMETRIA

Riguarda misure che sono effettuate in generale sulla radiazione elettromagnetica

FOTOMETRIA

Riguarda misure che sono effettuate su radiazioni elettromagnetiche che comprendono la gamma che si estende tra 400 e 700 nm (spettro del visibile)

INTENSITA' LUMINOSA = 1 candela (cd)

È l'intensità prodotta da una superficie pari a 1/600.000 m² del corpo nero alla temperatura di solidificazione del platino pari a 1775 °C

1 LUMEN (flusso radiante) = 1 cd sr

1 LUX (illuminamento) = 1 lm/m²

ESPOSIZIONE ALLA LUCE = lux s

RADIANZA = watt/(m² sr) sarebbe come la luminanza in radiometria

LUMINANZA = (cd/m²) (NIT) riferito a superficie riflettente (STILB)

ENERGIA RADIANTE = Joule (lumen s) il flusso radiante = potenza

POTENZA PER UNITA' DI SUPERFICIE = W/m² (lm/m²)

LUMINANZA

[1 lumen = 1/680 watt-luce a 555 nm] (Conversione Radiometria/Fotometria)

In parentesi sono indicate le unità di misura in campo fotometrico

Coefficiente di emittanza media di alcuni materiali. Rapporto dello spettro emesso dal materiale diviso lo spettro emesso da un corpo nero ideale	
Materiale	Emittanza (ϵ) (a temperatura ambiente)
Acciaio lucidato	0.30
Ossidato	0.90
Zincato	0.28
Acqua	0.96
Alluminio lucidato	0.05
Ossidato	0.20
Anodizzato (a 540 gradi centigradi)	0.94
Argento lucidato	0.01
Asfalto	0.93
Carbonio	0.80
Carta bianca	0.90
Cartone per copertura	0.93
Cemento-amianto rosso	0.90
Cromo lucidato	0.08
Ferro lucidato	0.06
Ossidato	0.63
Zincato	0.25
Ghiaccio	0.97
Intonaco	0.92
Lacca di alluminio	0.65
Legno	0.90
Molibdeno	0.06
Mattoni	0.90
Marmo	0.95
Nerofumo	0.96
Neve	0.96
Ottone lucidato	0.10
Ossidato	0.61
Pitture ad olio	0.94
Rame lucidato	0.004
Ossidato	0.87
Smalto	0.95
Vetro	0.90
Zinco lucidato	0.02
Ossido di stagno (trasparente)	0.20

Assorbanza approssimata di alcuni materiali integrata per lo spettro del corpo nero		
Materiale	Intervallo (T in °K)	Assorbanza
Metalli lucidati		
Alluminio	523 – 873	0.039 – 0.057
Cromo	323 – 823	0.080 – 0.260
Ferro	423 – 1273	0.050 – 0.370
Nichel	293 – 623	0.045 – 0.087
Ottone	523 – 673	0.033 – 0.037
Rame	373	0.018
Zinco	523 – 623	0.045 – 0.053
Filamenti		
Molibdeno	1023 – 2873	0.096 – 0.290
Platino	303 – 1473	0.036 – 0.190
Tantalio	1573 – 3273	0.190 – 0.310
Tungsteno	303 – 3573	0.032 – 0.350
Altri materiali		
Amianto	313 – 623	0.930 – 0.950
Ghiaccio (umido)	273	0.970
Nerofumo	293 – 623	0.950
Gomma (grezza)	298	0.860
Fosforo di Nichel Ni-P	Non ci sono dati	La sostanza nera con il più alto grado di assorbanza

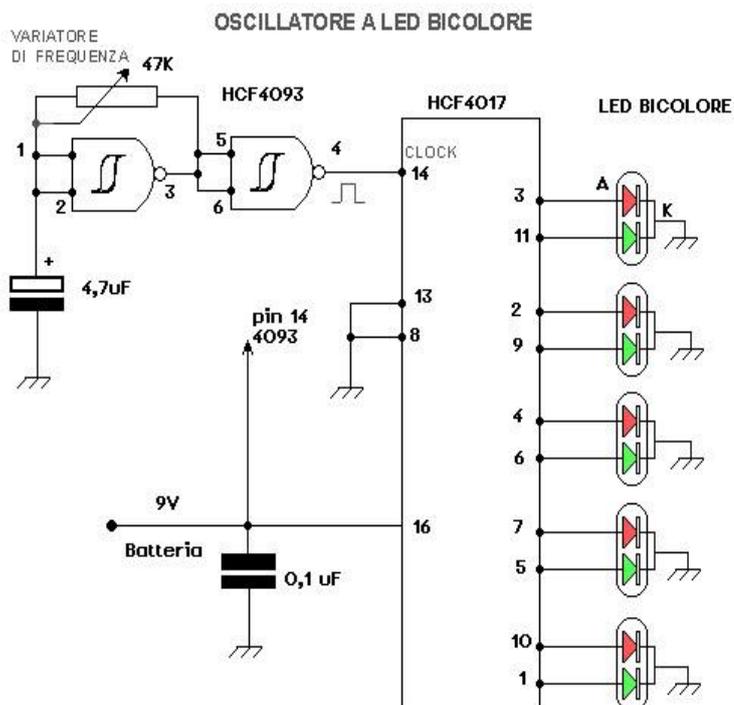


Fig. 29.3 - Schema del circuito descritto nel laboratorio n.1 -

ALLEGATO

Come viene generata la luce

L'elettrone è una particella dotata di carica elettrica. Secondo il professore Richard P. Feynman, l'essenza del suo campo, il significato della sua carica elettrica può essere ricondotto ad un'attività frenetica di scambio di fotoni virtuali fra tale particella e il vuoto. Questi fotoni di scambio rappresentano le unità fondamentali della luce, quindi il professor Feynman in qualche modo traduce il significato di campo elettrico in un campo elettromagnetico di luce. In base a questa teoria, l'elettrone può essere immaginato come una spugna che assorbe e restituisce in continuazione questi quanti di luce (o fotoni).

Tale peculiarità è in perfetto accordo con le evidenze sperimentale che mostrano come gli elettroni scambino eventuali eccessi di energia proprio tramite fotoni, che, come abbiamo detto, sono riconducibili essenzialmente a ciò che noi chiamiamo luce.

In pratica, quello che mi preme sottolineare è che l'elettrone ha una predilezione particolare a trattare i suoi scambi energetici tramite la luce. Anzi, è proprio questa sua particolarità che da' origine alla maggior parte della luce così come noi la intendiamo. Gli elettroni, sono quindi in qualche modo legati all'origine e sono gli artefici delle emissioni luminose nell'Universo.

Ma vediamo come questo avviene. Se l'elettrone transita indisturbato su di una specifica orbita, gli competerà una certa energia che dipende appunto dall'orbita stessa, e quindi dal numero quantico "n". Per un atomo idrogenoide (cioè dotato di un solo elettrone) possiamo calcolare l'energia dell'elettrone applicando la formula seguente:

$$E_n = 2 \pi^2 Z^2 e^4 m / (h^2 n^2) \quad (1.3)$$

Il termine "Z", che rappresenta il numero atomico, deve essere considerato unitario, poiché la formula è valida solo per atomi idrogenoidi. Il termine "m" è la massa dell'elettrone, "e" la carica elettrica e il termine "h" rappresenta la costante di Planck. La formula n. 1.3, esprime quindi la quantità di energia assunta da un elettrone che orbita su di uno specifico livello quantico definito a sua volta dal termine "n". Ad ogni modo, tutto questo ragionamento resta valido esclusivamente solo nel caso di un atomo idrogenoide.

Se forniamo ad un elettrone una certa quantità di energia, sufficiente a farlo raggiungere un livello appena superiore, l'elettrone salterà in un'altra orbita in modo da raggiungere quel nuovo stato energetico .

La nuova situazione tuttavia non potrà essere mantenuta dall'elettrone troppo a lungo questi, infatti, prima o poi tenderà a ridisporsi nell'orbita primitiva, per assumere il suo precedente livello di energia. Grazie a questo movimento, l'energia assorbita, sarà restituita immediatamente sotto forma di radiazione elettromagnetica con una frequenza caratteristica, che dipenderà dalla differenza di energia tra le due orbite.

Facciamo un esempio per visualizzare meglio ciò che accade all'elettrone: siamo in un campo sportivo e stiamo per lanciare in alto una palla; immaginiamo di avere la nostra palla posizionata inizialmente ad una certa altezza **h** dal

terreno. Potremo misurare facilmente il livello di energia potenziale che ha la palla tramite la semplice formula $E_p = mgl$ (massa X accelerazione di gravità X altezza). Questa energia rappresenta, per il nostro sistema terreno-palla, lo stato di energia più basso o anche quello di riferimento. Forniamo a questo punto l'energia necessaria, per esempio con un calcio o più semplicemente utilizzando un braccio, in modo da lanciare verticalmente verso l'alto la nostra palla. Quest'ultima comincerà a salire di quota e, dopo un tempo più o meno breve, raggiungerà un livello di energia potenziale più alto a cui è associata una certa altezza che dipenderà dall'energia impressa con il braccio.

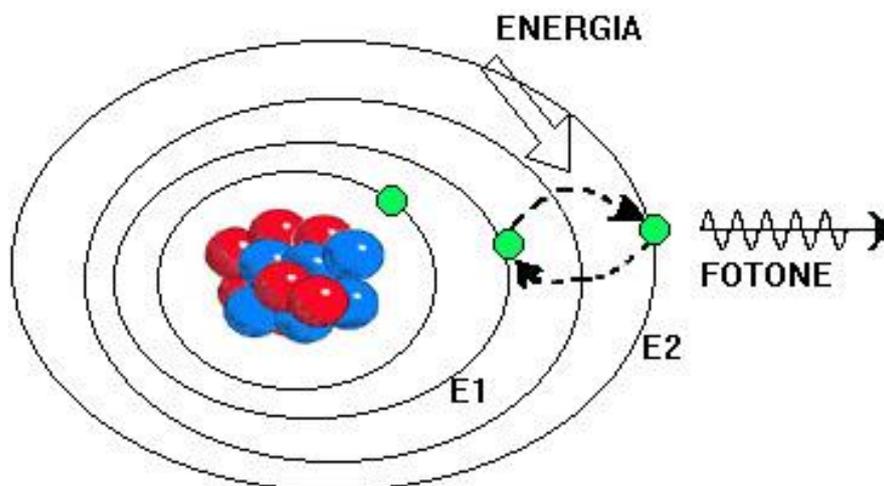


Fig. 30.3 - Salto energetico di un elettrone ed emissione di luce -

In modo simile al nostro elettrone dell'atomo di idrogeno che ritorna sulla sua orbita primitiva, la palla, raggiunta questa altezza massima, come l'esperienza quotidiana ci insegna, ricadrà verso terra disperdendo l'energia che le abbiamo fornito toccando il suolo ad una velocità pari a $V = \sqrt{2gl}$ - dove "l" è l'altezza massima che le abbiamo fatto raggiungere - oltre che sottoforma di calore (per attrito nell'aria) o per vibrazioni.

Mentre la palla ricade al suolo a causa del campo gravitazionale normalmente presente sul nostro pianeta, l'elettrone dell'atomo di idrogeno ricadrà verso l'orbita di partenza o primitiva a causa del campo elettrico attrattivo sprigionato a sua volta dal nucleo, che come sappiamo, è dotato di carica positiva.

Sempre per migliorare la comprensione di queste argomentazioni, colgo l'occasione per ricordare che spesso, durante qualche mia lezione o conferenza riguardo alla produzione di luce da parte degli elettroni, mi viene spontaneo sollevare a modo di esempio, la mia agenda, o qualche libro che porto con me, da un determinato punto di riferimento (spesso parto proprio dal suolo) per poi lasciarlo cadere. Facendo notare ai convenuti che il rumore prodotto dall'oggetto e perfino la vibrazione che potrebbe essere sentita nelle vicinanze del punto di caduta, è ovviamente prodotta dal quantitativo di energia $m \cdot g \cdot l$ fornito dalle mie braccia quando hanno sollevato l'oggetto ad una certa altezza "l" e poi restituito al suolo sotto forma di energia cinetica $E = \frac{1}{2}(m \times V^2)$.

L'agenda, un libro, ma anche qualsiasi altro oggetto che può essere utilizzato a tale scopo, è un corpo dotato di grosse dimensioni. I corpi macroscopici restituiscono l'energia sottoforma di oscillazioni di bassissima frequenza (suono). L'elettrone, confinato nel microcosmo atomico, è invece capace, per ovvie ragioni che dipendono dalla sua dimensione, a scambiare l'energia sottoforma di

oscillazioni a frequenza sensibilmente più elevata. Può aiutarci l'idea di considerare il fenomeno come una specie di risonanza.

L'elemento fondamentale che deve attirare il nostro interesse però, al di là di calcoli e considerazioni accessorie, è che tutto questo processo così elementare di assorbimento e restituzione di energia è ciò che in natura genera luce. Tutto quello che si trova intorno a noi può fare da spunto per cogliere tale fenomeno, attraverso le moltissime forme e sfumature diverse mediante le quali esso si manifesta. Per esempio, la parete bianca illuminata dalla luce, ci restituisce quest'ultima (nel senso che la vediamo illuminata) proprio grazie ai salti effettuati dagli elettroni degli atomi che costituiscono il pigmento della vernice utilizzata per colorare la parete stessa. Queste transizioni energetiche sono effettuate allorché la parete è sottoposta all'irraggiamento della luce ambiente. Oppure ancora, il filamento di una lampada ad incandescenza, che emette luce proprio grazie ai salti di livello che gli elettroni degli atomi del metallo che costituisce il filamento, sono portati ad generare grazie all'energia termica fornita dalla corrente elettrica che circola nel filamento.

È importante tuttavia sottolineare che, la frequenza del fotone luce emesso da un elettrone che salta di livello, non ha sempre le stesse caratteristiche anzi, essa dipende strettamente dalla differenza di energia fra i due livelli energetici tra i quali avviene il salto.

Dall'applicazione della formula di Planck possiamo esprimere l'equazione precedente n. 1.3, in modo da calcolare direttamente la particolare frequenza e di conseguenza l'esatto colore del fotone - e quindi della luce - che si genera dalla transizione elettronica tra i livelli n_1 e n_2 . Indicando con " ν " la frequenza per un atomo idrogenoide, la relazione può essere scritta come:

$$\nu = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (2.3)$$

Volendo essere completi in questa trattazione, vorrei mostrarvi altre formule pratiche calcolate da Rydberg e Ritz (non confondetevi con il musicista perché quello era Litz) per atomi polielettronici, cioè atomi diversi dall'atomo di idrogeno.

In effetti, nonostante la complessità formale delle formule che seguiranno, bisogna tener ben presente che la relazione che lega la frequenza del fotone prodotto dipende in ogni caso dalla differenza di energia fra i due livelli quantici presi in considerazione (vedi relazione n. 3.3). Solo che, nel caso di atomi dotati di più di un elettrone, queste energie non possono essere calcolate così semplicemente con la formula n. 1.3.

La diretta dipendenza fra la frequenza e la differenza di energia dei livelli energetici è data dalla formula seguente che illustra, con estrema semplicità formale, il caso generale applicabile per qualsiasi atomo o sistema quantico simile a prescindere dalle difficoltà di calcolo necessarie a ricavare le energie E_2 ed E_1 , caso per caso.

$$\nu = (E_2 - E_1)/h \quad (3.3)$$

Le formule successive, invece, sono ricavate dalla formula che abbiamo utilizzato in precedenza per un atomo idrogenoide e portano dei termini correttivi proposti dagli stessi Rydberg e Ritz.

$$\nu = A - \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3 (n + \mu)^2} \quad (4.3)$$

$$\nu = A - \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3 (n + \mu + \delta/n)^2}$$

Queste due formule, indicate al n. 4.3, sono entrambe utilizzabili, a seconda dei casi, per atomi polielettronici. I coefficienti "μ", e "δ", sono termini correttivi del numero quantico, entrambi minori di uno, mentre il termine "A" rappresenta il limite cui tende la frequenza "ν" al tendere di "n" all'infinito.

Voglio citare ancora una volta l'ing. Giacomo Giuliani, il quale, in una sua lezione di elettronica, alla quale ebbi la fortuna di assistere, disse queste testuali parole a proposito dell'emissione di luce da parte degli elettroni: *Come voi sapete i circuiti base di una radio, che permettono di produrre l'onda elettromagnetica portante sono costituiti da un circuito chiamato "LC". Questo circuito comprende un condensatore e un induttore (bobina). La frequenza di oscillazione dipende dalla formula seguente (5.3): Come è possibile vedere, la frequenza delle onde elettromagnetiche prodotte è inversamente proporzionale al valore dell'induttanza e della capacità del circuito. Questo significa che se utilizziamo condensatori molto piccoli e induttori altrettanto piccoli otteniamo frequenze*

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (5.3)$$

elettromagnetiche molto elevate. Vi faccio osservare che l'edificio atomico costituisce un esempio di circuito risonante "LC". Potremmo associare il termine "L" a quello dell'induttanza della spira atomica che si viene a creare considerando la traiettoria circolare dell'elettrone sull'orbita. Mentre potremmo associare la capacità, con la struttura che comprende l'elettrone e il nucleo positivo. Queste due entità si comportano infatti come due armature di un condensatore. Fra l'elettrone negativo e il nucleo positivo esiste infatti un campo elettrico. A questo punto è facile notare che, questi due parametri (induttanza atomica e capacità atomica) sono piccolissimi. In nessun modo potremo costruire un condensatore tanto piccolo e un induttore tanto infinitesimo. Resta prerogativa dell'edificio atomico possedere parametri così minuti di induttanza e capacità associata alla traiettoria e alla posizione dell'elettrone lungo l'orbita. Ed è appunto per mezzo di questi parametri così piccoli che l'atomo si comporta come un circuito "LC" risonante a frequenza molto elevata. L'atomo infatti produce onde elettromagnetiche così elevate da sconfinare nel campo della luce.

Ovviamente, questo esempio meraviglioso che illuminò la mia mente di giovane studente, è soltanto uno fra i tanti che ebbi la fortuna di acquisire

assistendo alle lezioni dell'ing. Giuliani. L'esempio è ovviamente rivolto a insegnanti di fisica o di elettronica, ed in qualche modo unifica i principi base relativi al funzionamento degli oscillatori elettronici a quelli che sono i principi fisici e matematici legati ad un atomo che emette onde elettromagnetiche, cioè luce. Quindi, per concludere, risulta chiaro che le principali emissioni luminose a noi note, sono prodotte grazie agli scambi di energia che si verificano attraverso i salti degli elettroni che avvengono all'interno di un atomo fra un livello e l'altro.

Altra caratteristica importantissima della luce che non possiamo assolutamente tralasciare in questa trattazione, è che essa è anche un fenomeno ondulatorio, cioè un'oscillazione del campo elettromagnetico prodotta su base atomica - vedi modulo "oscillatori e oscillazioni"- e, come tutti i fenomeni di questo tipo, è caratterizzato qualitativamente da una determinata frequenza o lunghezza d'onda.

La formula n. 6.3 mostra come possiamo calcolare l'intensità di un'onda piana in termini di fotoni - che sono le particelle elementari della luce, cioè i "treni" di onde luminose più piccole possibili -.

$$I = c N h \nu \quad (6.3)$$

"c" rappresenta la velocità della luce (299792458 m/sec), "N" il numero dei fotoni, e "h ν " il classico termine di energia determinato da Planck.

Il termine "I", definito intensità, ha, invece un significato del tutto generale, per ora sia sufficiente notare che questa relazione utilizza la velocità di propagazione dell'entità in oggetto e la sua frequenza.

I colori, e tutta la gamma di sensazioni cromatiche che percepiamo grazie alla luce, sono il nostro sistema di codifica delle varie frequenze delle onde luminose in arrivo. I colori sono proprio il risultato di tutta questa elaborazione, operata dai nostri centri della visione in risposta ad un preciso livello di energia che giunge ai nostri occhi. Il lettore può eventualmente approfondire questo aspetto leggendo il modulo successivo "Gli occhi e la visione".

Facciamo un esempio: supponiamo di porre in una fiamma ad alta temperatura dei sali di sodio (saranno sufficienti pochissimi microgrammi), il composto sublimerà istantaneamente. Gli elettroni periferici dell'atomo di sodio, sottoposti all'energia termica prodotta dalla fiamma, saranno spostati dai livelli energetici normali (livello 3s), ai livelli superiori 3p, 3d e anche 4p. In questo caso diremo che l'atomo di sodio è in uno stato eccitato. Stabilito che noi umani ci eccitiamo per cose un tantino diverse, analizziamo quello che succede quando questi elettroni ritornano sulle loro orbite primitive. Come abbiamo definito in questo capitolo, l'energia acquistata dagli elettroni sarà ceduta sotto forma di radiazione elettromagnetica con frequenza tale da essere in accordo con la relazione n. 3.3. Per gli elettroni che transiteranno dal livello 4p al livello 3s, corrisponde un quanto di radiazione elettromagnetica con frequenza pari a $9084 \cdot 10^{-14}$ Hz, a questa frequenza corrisponde una lunghezza d'onda di 330 nm ($\lambda = c/\nu$). Una lunghezza d'onda di questo tipo cade nella gamma delle radiazioni ultraviolette per cui, il nostro occhio, non riesce a rivelarla (la nostra banda di sensibilità si estende tra i 400 e 750 nm). Per quanto riguarda gli elettroni che transiteranno dai livelli 3d al livello 3p, il fotone prodotto avrà una lunghezza d'onda pari a 819 nm, (vicino infrarosso) anche in questo caso, la radiazione sarà per noi completamente invisibile.

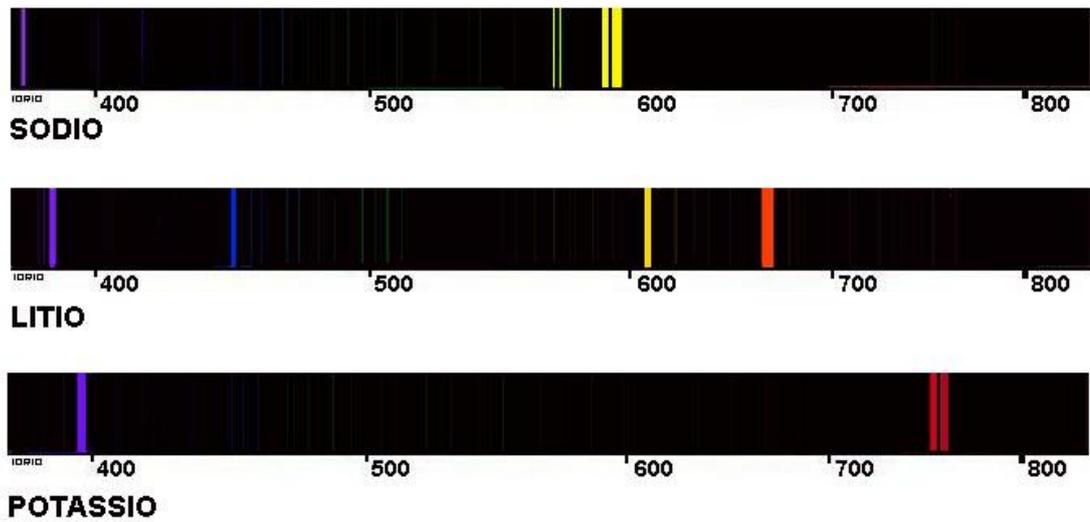


Fig. 31.3 - Spettri di emissione di alcuni elementi -

Molto diverso sarà invece il caso degli elettroni che ritorneranno dal livello 3p al livello 3s, questa volta infatti, la radiazione prodotta avrà una lunghezza d'onda di 589 nm, perfettamente individuabile dai nostri recettori visivi che la riconosceranno con la sensazione del giallo. Questa è la ragione che ci permette di veder nella la fiamma, all'interno della quale abbiamo posto i sali di sodio una vivida colorazione dotata di un intenso color giallo. In realtà, dobbiamo dire che il discorso diventa un tantino più complesso poiché vengono a verificarsi a carico degli atomi eccitati anche altre emissioni supplementari che non esamineremo in questa sede.

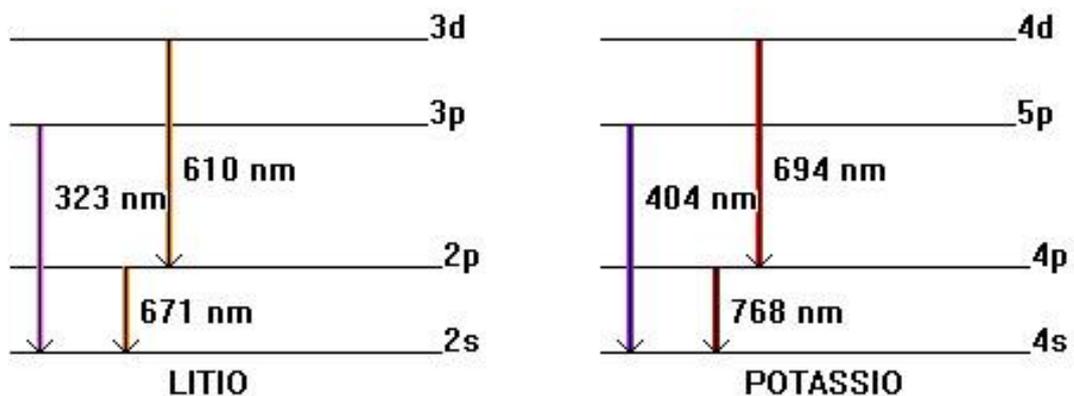


Fig. 32.3 - Transizioni elettroniche di alcuni elementi -

L'immagine n.32.3 ci mostra due diagrammi che illustrano le transizioni energetiche di altri due elementi noti. Anche in questo caso, qualora sottoponiamo dei campioni alla prova della fiamma, osserveremo una colorazione caratteristica per ogni elemento. Il litio ci apparirà di un acceso color rosso vivo, il potassio ci apparirà di uno splendido colore violetto.

Se invece del nostro occhio, utilizziamo uno spettrofotometro (strumento molto più completo) per analizzare le radiazioni prodotte da questi elementi, vedremo per ognuno di essi, uno spettro di righe caratteristico. È come se ogni elemento fosse contrassegnato da un'impronta digitale. Nella figura n. 31.3 sono stati mostrati gli spettri di emissione di alcuni elementi chimici come il sodio, il litio e il potassio. In queste figure si vedono chiaramente le righe caratteristiche di emissione degli elementi nominati.

Esistono anche gli spettri di assorbimento degli elementi chimici. Questi spettri si chiamano così per il fatto che il diagramma cromatico (cioè lo spettro di emissione continuo di colori) presenta delle bande scure nelle lunghezze d'onda dove questi elementi emettono normalmente radiazione. Questo effetto può essere ottenuto se utilizziamo l'elemento chimico non come emettitore eccitato, ma come assorbitore della radiazione luminosa.

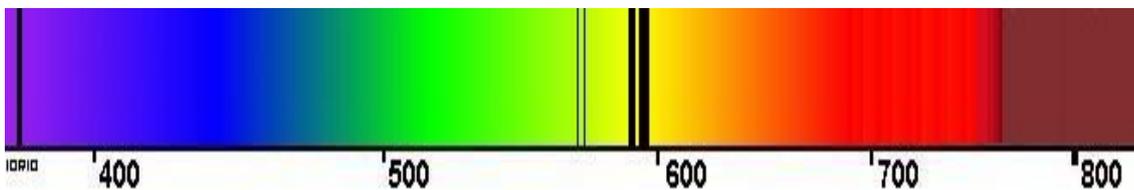


Fig. 33.3 - Esempio di righe di assorbimento del sodio -

Per esempio, se poniamo un gas contenente forti quantità di sodio sul percorso di una radiazione luminosa policromatica (emissione continua o luce bianca), e ne analizziamo la luce in uscita emessa dal gas tramite lo spettrofotometro, vedremo una figura caratteristica detta appunto spettro di assorbimento del sodio. Vedi fig. n. 33.3

Questo accade poiché il gas non riceve sufficiente energia per eccitarsi e per produrre a sua volta lo spettro di emissione caratteristico del sodio. Anzi, quest'ultimo, per risonanza, assorbe proprio le radiazioni cromatiche nei confronti delle quali è sensibile. Ecco perché lo spettro luminoso del gas presenta delle bande scure in corrispondenza alle sue tipiche emissioni.

Un filamento incandescente di una comunissima lampadina è un caso caratteristico di emissione policromatica. Infatti, la corrente elettrica che attraversa il filamento di tungsteno, produce un numero molto elevato di eccitazioni elettroniche. Queste transizioni di energie avvengono di continuo su diversi livelli energetici degli atomi di tungsteno sottoposti al flusso di calore, ed emettono l'intero spettro di colore caratteristico. La sensazione visiva è prodotta quindi da un numero elevatissimo di transizioni molto varie, che producono miliardi e miliardi di fotoni con frequenza diversa e quindi con colore diverso. Quando questi fotoni raggiungono i nostri occhi, i nostri recettori elaboreranno una sensazione complessiva che sostanzialmente ci riporta a un colore bianco. In poche parole abbiamo chiarito e spero con estrema semplicità, che la luce è un fenomeno che si origina a livello atomico per la transizione energetica di un determinato numero di elettroni. I fotoni sono quindi prodotti dagli atomi in risposta ad una determinata eccitazione e si concretizzano in una emissione di onde elettromagnetiche di una determinata frequenza e quindi di colore. I fuochi di artificio sono un esempio concreto di utilizzo di sostanze chimiche (atomi), per la produzione di emissioni cromatiche molto colorate, grazie alle quali ci siamo divertiti e stupiti nelle numerose feste di paese dove abbiamo avuto la possibilità di osservarli.

In questo caso, alcune polveri, appositamente preparate da maestri pirotecnici, vengono addizionate con elementi caratteristici che forniscono quelle precise transizioni che restituiscono tutta quella gamma di splendidi colori che si vedono balenare nel cielo durante le esplosioni. Sali di rame o di bario possono dare tinte che vanno sul verde; sali di litio o di calcio possono servire per creare bagliori rossi o arancione e, così via, in un universo di tonalità prodotte dalla combinazione degli uni con gli altri. In tutti questi casi, gli elementi utilizzati subiscono il fenomeno dell'eccitazione per mezzo dell'alta temperatura prodotta dalla reazione del comburente e dall'ossidante presenti nella polvere esplosiva e l'emissione luminosa diventa quindi possibile.

Un altro esempio interessante può essere offerto dalla colorazione suggestiva dei gas contenuti in speciali tubi (come i tubi al neon per insegne pubblicitarie). Gli atomi di questi gas sono eccitati da elevati campi elettrici applicati al tubo tramite elettrodi inseriti al loro interno. Gli atomi, pertanto, risponderanno con le transizioni energetiche caratteristiche specifiche per ognuno di essi. Anche il tubo laser è un esempio particolare di emissione stimolata mediante meccanismi di eccitazione atomica, .

Un caso molto interessante di colorazione assunta da un minerale è offerto dai cristalli di smeraldo e di rubino. Il rubino è un minerale di colore rosso costituito da ossido di alluminio (Al_2O_3) nel quale alcuni ioni di alluminio sono sostituiti con ioni di cromo (Cr^{3+}); nel reticolo cristallino del rubino, lo ione di cromo è circondato da sei atomi di ossigeno con legami al 63% ionico. Per questa ragione il rubino assorbe radiazioni a forte energia ed assume il colore rosso caratteristico. Lo smeraldo è un silicato di alluminio e berillio; come nel caso del rubino, un certo numero di ioni di alluminio sono sostituiti dallo ione cromo. In quest'ultimo caso però il legame del cromo con l'ossigeno è meno ionico, provocando uno spostamento della banda di assorbimento verso le zone a più bassa energia del rosso e del giallo conferendo allo smeraldo il colore caratteristico blu-verde.

I vetri fotocromatici utilizzati per realizzare occhiali di protezione per l'irraggiamento solare, che automaticamente diventano più scuri quando sono illuminati, sono un ulteriore esempio di reattività ottica da parte di atomi dotati di particolari caratteristiche. Per fare questi vetri si disperde nella composizione del vetro piccole quantità di ioni di europio (Eu^{2+}) e di titanio (Ti^{3+}). Questi vetri sviluppano sotto l'azione della componente ultravioletta della luce dei centri colorati che scompaiono quando cessa l'illuminazione. La reazione fotocromatica che si verifica in questi tipi di vetro è la seguente:



Lo ione Ti^{3+} possiede una colorazione bruna violetta mentre gli altri sono incolore.

In questo modulo abbiamo stabilito, se pure per adesso appena ad un livello superficiale, che la luce è costituita da quanti di energia $h\nu$ chiamati fotoni ed è rappresentata dalla pulsazione di un campo elettrico e magnetico che si propaga nello spazio con velocità "C" pari a 299.792.458 Km/s. Le manifestazioni energetiche che a volte erroneamente possono essere considerate come tanti fenomeni diversi, come l'emissione di calore, infrarossi, raggi X ecc, sono in realtà costituiti dallo stesso fenomeno ondulatorio. L'unico elemento discriminante è rappresentato dalla frequenza del campo

elettromagnetico, cioè dall'energia del fotone $h\nu$ che lo rappresenta. Nella sessione che seguirà sarò ancora più preciso su questo fatto, elencando altre importanti proprietà del fenomeno.

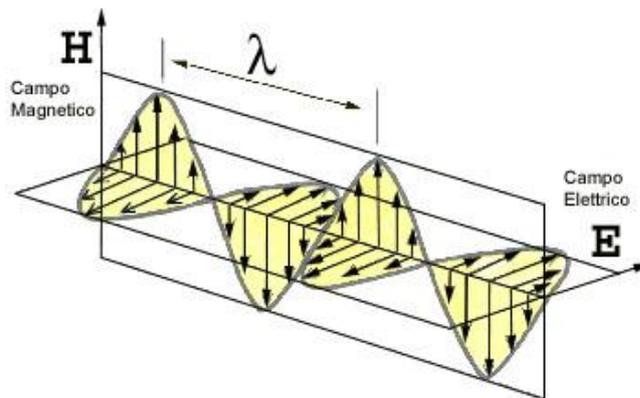


Fig 34.3 - Rappresentazione di un onda elettromagnetica -

Il Corpo nero

Abbiamo associato quindi che la luce è costituita da un onda elettromagnetica. Volendola rappresentare graficamente in modo molto semplificato potremo utilizzare la figura 34.3. Essa mostra il fenomeno svilupparsi su due piani ortogonali. Uno è il campo elettrico e l'altro è il campo magnetico. Quello che noi chiamiamo luce è solo una porzione dello spettro elettromagnetico che si estende tra le frequenze più basse e quelle più elevate. Il Sole per esempio è un emettitore integrale che produce tutto lo spettro elettromagnetico. I fisici chiamano il sole con un termine molto particolare (corpo nero). Questo nome è ovviamente associato al fatto che il profilo di emissione di energia elettromagnetica della nostra stella segue un andamento caratteristico che è tipico della fisica di emissione di un radiatore integrale o corpo nero. La figura n. 35.3 mostra i vari profili di emissione in base alla temperatura della sorgente. È importante osservare che il massimo di emissione di energia, relativo ad una determinata lunghezza d'onda, è associato ad una determinata temperatura della sorgente. La zona colorata evidenzia appunto l'intervallo relativo alla finestra della luce visibile, cioè quella percepita dai nostri occhi. In base a quanto detto e a quanto mostrato da tale grafico si può quindi affermare che, la teoria del corpo nero, dichiara che: *un corpo a temperatura superiore allo 0°K emette energia sottoforma di onde elettromagnetiche di tutte le lunghezze d'onda*. La formula seguente chiamata funzione di Planck esemplifica quello mostrato dal grafico di figura n. 35.3 :

$$W_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot T}} - 1 \right)}$$

(7.3)

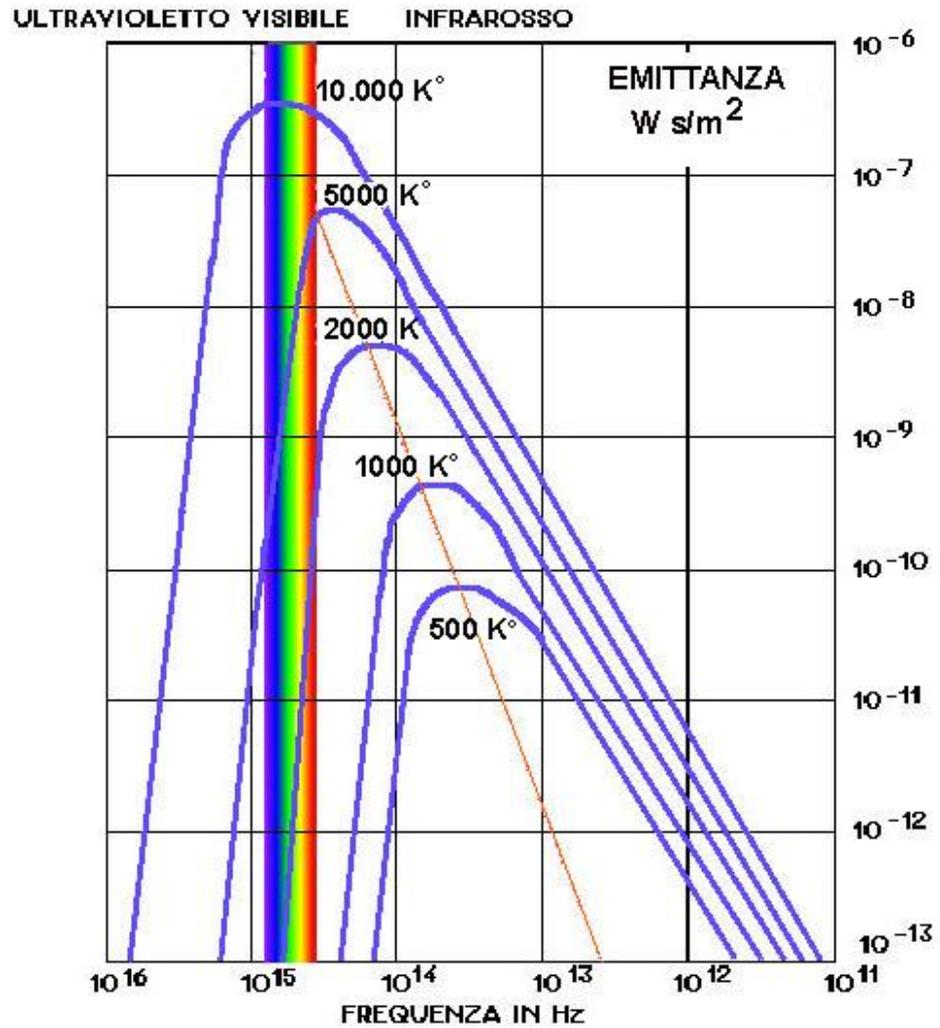


Fig 35.3 - Spettro di emissione di un corpo nero -

“ W_λ ” è l’energia misurata come emittanza in watt s/m^2 , “ λ ” è la lunghezza d’onda in metri, “ e ” è la base dei logaritmi neperiani (2,718281), “ T ” è la temperatura del corpo in °K, C_1 e C_2 sono due costanti. $C_1 = 3,7405 \cdot 10^{-16} W m^2 = 8 \pi h c$, $C_2 = 0,0143879 m \cdot K = h c / k$ (k = costante di Boltzman).

Alle temperature ordinarie, le onde a grande intensità (grande emittanza), cadono nel lontano infrarosso. Quindi non sono percepibili ai nostri occhi. A temperature superiori agli 800 °C questi massimi di emissione cadono nello spettro visibile. Questa è la ragione per la quale, se mettiamo un pezzo di ferro sul fuoco (per esempio un chiodo), appena la temperatura del corpo comincia ad assumere valori prossimi a 800 °C il corpo emette una luce rossastra.

Per calcolare l’energia totale emessa da un emettitore integrale o corpo nero dobbiamo ovviamente calcolare l’integrale della funzione di Planck. Il risultato di tale calcolo è rappresentato dall’equazione seguente:

$$E_t = \int_0^{\infty} w_\lambda \cdot d\lambda = \sigma \cdot s \cdot T^4$$

(8.3)

Dove “ E_t ” è l’energia totale (irraggiamento), emessa dal corpo nero, “ s ” è la superficie, “ T ” è la temperatura assoluta in °K, infine “ σ ” è la costante chiamata di **STEFAN-BOLTZMAN** che risulta pari a $5.6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ oppure a $1.36 \cdot 10^{-11} \text{ kcal/m}^2$.

È facile calcolare che un uomo nudo a 20°C ha una perdita di calore per irraggiamento pari a **148 kcal/h**. Questa informazione è molto utile per effettuare in aula alcune interessanti considerazioni termodinamiche sui locali affollati. Il metabolismo del nostro fisico, che risulta essere la causa di questa emissione di energia del nostro corpo, costringe i progettisti di ambienti chiusi a rivedere i propri calcoli termici. Un individuo infatti ha un metabolismo di circa **100 - 125 W** di potenza spesa a riposo (in corsa un uomo può spendere anche 160 W) 10 persone immobili in un ambiente forniscono quindi l’equivalente di calore prodotto da una stufa elettrica di 1kW.

Produzioni termiche di questo tipo non sono però in grado di generare emissioni luminose, in perfetto accordo con la teoria del corpo nero. Infatti, a temperature di circa 36 °C noi emettiamo calore sottoforma di infrarosso. Il calore dei nostri corpi può però essere percepito da alcuni animali, come i serpenti, che hanno organi sensoriali sensibili anche a queste lunghezze d’onda così elevate (vedi modulo successivo)

Tornando alla funzione di Planck vediamo cosa succede se proviamo a derivare questa funzione rispetto a λ . La lunghezza d’onda sarà espressa in μm se T risulta espresso in °K.

$$\lambda_{\max} = \frac{2897.8}{T} \quad (9.3)$$

La formula n. 9.3 è chiamata legge di Wien e perfeziona ulteriormente la nostra descrizione riguardante il comportamento del corpo nero. Infatti, aumentando la temperatura del corpo, la massima lunghezza d’onda ottenibile λ_{\max} diminuisce.

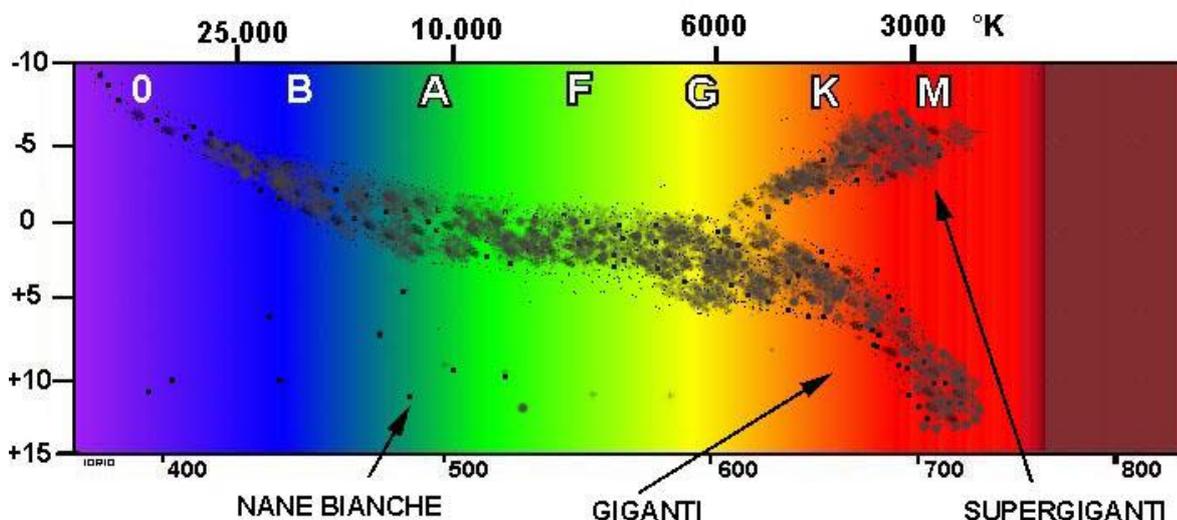


Fig. 36.3 - Diagramma di Hertzsprung-Russell sulla relazione tra la luminosità delle stelle e la loro temperatura superficiale -

Questo equivale anche a dire che la frequenza di picco del flusso di emittanza emesso dal corpo nero aumenta: in pratica, man mano che le vette dei grafici di fig.35.3 diventano alte (aumenta la temperatura), tutto il grafico corrispondente risulta spostato un po' più a sinistra (la lunghezza d'onda massima diminuisce). Il lettore può provare a considerare come esempio il filamento della lampadina. Quando la lampadina viene accesa ad una tensione più bassa di quella necessaria il filamento è rosso (minima frequenza elettromagnetica della luce visibile), se viceversa la lampadina viene alimentata con una tensione più elevata, il colore assume prima una tonalità giallognola poi diventa biancastra. Anche il nostro Sole ha un comportamento

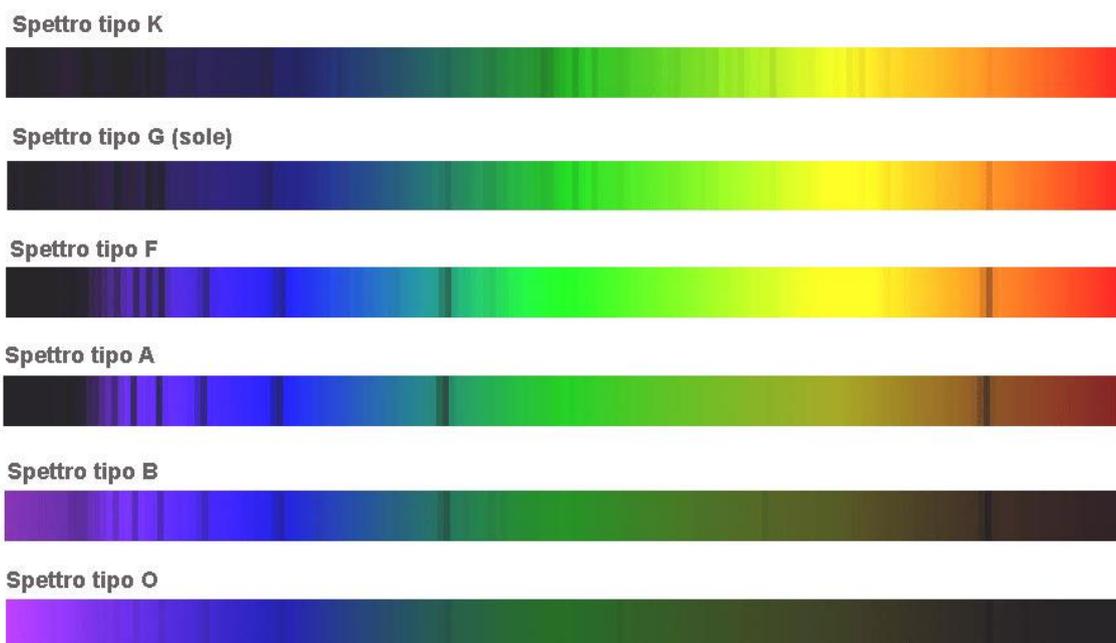


Fig. 37.3 - Spettri caratteristici di alcuni tipi di stelle -

analogo. La temperatura superficiale della fotosfera infatti è di circa 6000 °K. E se in questo caso proviamo ad applicare la legge di Wien utilizzando appunto la temperatura di 6000 ° K, otteniamo la lunghezza d'onda di circa 482 nm. Questa lunghezza d'onda risulta essere relativa al colore arancione. (Il lettore non deve dimenticare che la legge di Wien esprime la lunghezza d'onda del picco massimo dell'emissione del corpo nero). Ecco perché il Sole ha un colore tendenzialmente giallo.

Classe spettrale	Temperatura °K
M	3.500
K	4.000
G	6.000
F	7.500
A	10.000
B	20.000
O	50.000

Tab. 1.3

Lo spettro luminoso e le onde elettromagnetiche

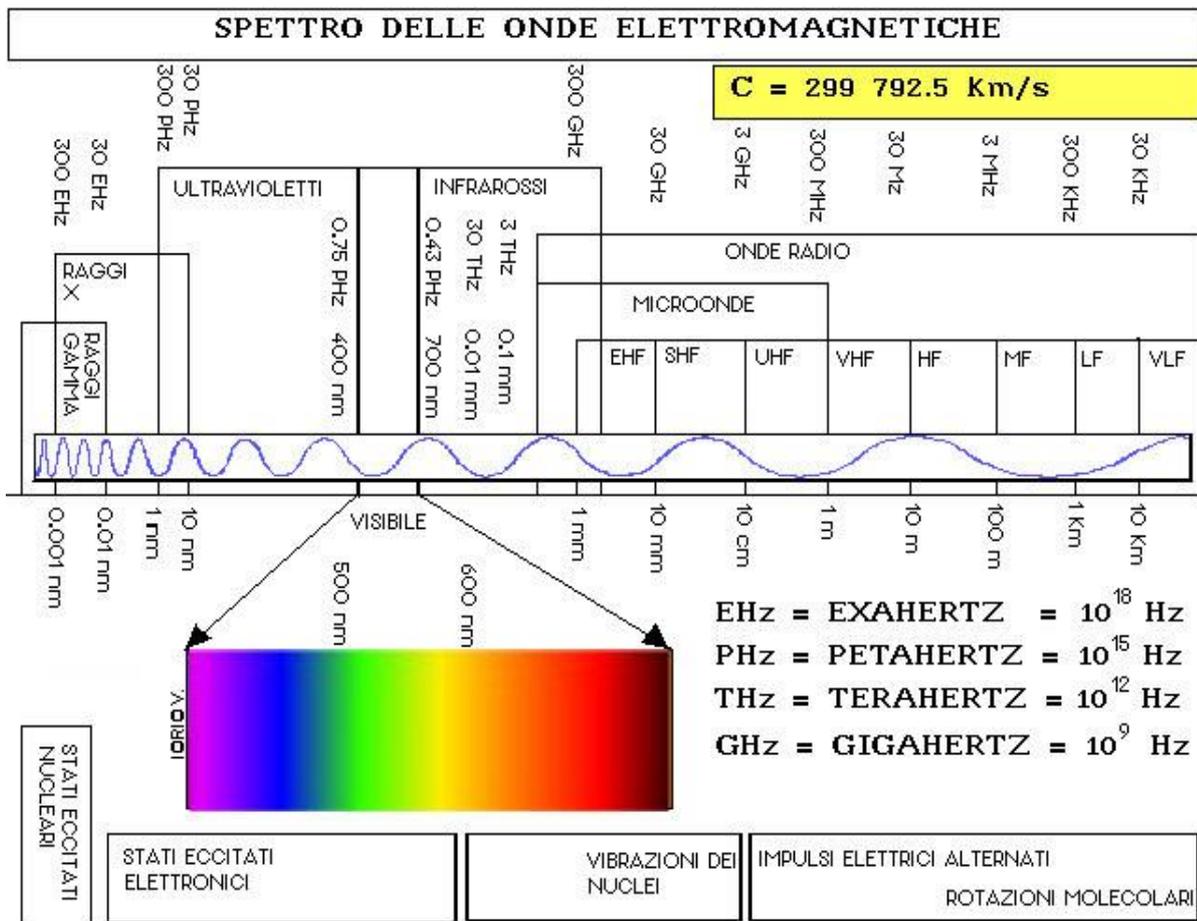


Fig. 38.3 - Spettro delle onde elettromagnetiche -

Come abbiamo avuto modo di capire in queste pagine, lo spettro naturale delle onde elettromagnetiche, comprende un intervallo molto più ampio di quello costituito dalla sola luce visibile. Oltre la gamma delle radiazioni, che il nostro occhio è in grado di percepire sotto forma di sensazioni cromatiche, esistono altre importanti emissioni che avvengono a frequenza più bassa di quella del colore rosso e a frequenza più alta di quella del colore viola. Le emissioni appena successive a quelle del rosso si chiamano infrarossi, viceversa le emissioni a frequenze superiori a quelle del violetto si chiamano ultravioletti. Oltre a queste appena citate, è importante ricordare che esistono molte altre importanti emissioni che si differenziano per la diversa frequenza dell'onda elettromagnetica. La figura n. 38.3 mostra l'intero spettro delle onde elettromagnetiche dalle frequenze radio fino a quelle dei raggi gamma.

Quindi, come già sottolineato in precedenza è importante tener presente che i nostri occhi percepiscono solo una piccola fetta delle onde elettromagnetiche: quelle che lavorano in un determinato intervallo tra **750 THz** e **430 THz**, cioè dal colore violetto al colore rosso. Dalla fig.38.3 si evince proprio questo: tutto l'universo fisico è produttore di energie elettromagnetiche, che si estendono su una gamma molto più elevata di quella percepibile coi soli occhi, che comprende le onde radio, le microonde, gli infrarossi, le radiazioni ultraviolette, i raggi X e i raggi gamma.

Ma torniamo ora a parlare della parte dello spettro percepibile dai nostri sensi, cioè la luce visibile: una lampadina a filamento, come abbiamo visto, presenta uno spettro elettromagnetico in accordo grosso modo con il profilo di emissione del corpo nero. Esistono come sappiamo anche altri tipi di lampade con emissioni molto diverse come mostra, infatti, la figura n. 14.3 (vedi laboratorio 4), ma, ora in questo caso basiamoci sulla semplice lampadina a filamento incandescente. Grazie alla sua luce è possibile riconoscere tutti i colori, dal rosso al violetto, e quindi individuare tutte le frequenze corrispondenti. Infatti, dall'analisi dello spettro elettromagnetico mostrato nella figura 38.3, quando vediamo un oggetto emettere un qualsiasi colore, avendo compreso appieno il significato fisico che sta alla base di tale fenomeno, possiamo facilmente divertirci a leggere la relazione delle grandezze fisiche che stiamo considerando: se per esempio ci trovassimo ad osservare un colore rosso immediatamente siamo in grado di dire che il colore rosso è pari a **430 THz**, e che ciò equivale a dichiarare che la sua lunghezza d'onda è di **700 nm**. Nel caso, invece di un colore violetto possiamo subito affermare che la frequenza di quell'emissione è pari a **750 THz** e dichiarare allo stesso modo che la sua lunghezza d'onda è di circa **400 nm**. Infatti, come abbiamo già visto in precedenza, poiché la luce è un fenomeno ondulatorio, queste grandezze sono legate tra loro grazie alla seguente relazione che include anche la velocità di propagazione del fenomeno:

$$C = \lambda \cdot \nu \quad (10.3)$$

Il termine "C" è la velocità di propagazione della luce pari a circa 300.000 km/s (299.792,458 km/s), "λ" è la lunghezza d'onda e infine il termine "ν" (si pronuncia **ni**) rappresenta la frequenza.

Grazie alla fisica quantistica possiamo associare ad un'onda elettromagnetica anche un aspetto corpuscolare (come abbiamo già ampiamente discusso nella precedente sessione). I cosiddetti fotoni sono infatti la rappresentazione quantistica di un pacchetto di onde elettromagnetiche. - Vedi appendice "b" alla fine del testo.

I fisici possono associare, indifferentemente all'energia elettromagnetica, sia un aspetto ondulatorio che un aspetto corpuscolare. Questo grazie ad un vecchio principio chiamato "**principio di complementarità**". Il principio di complementarità o dualismo onda-corpuscolo, definisce che il fenomeno elettromagnetico può manifestarsi in natura sia presentando il suo aspetto ondulatorio che quello corpuscolare (dipende dal tipo di esperimento fisico che viene effettuato). Per cui volendo esprimere il fenomeno in termini quantistici, è possibile attribuire un valore all'energia del pacchetto fotonico che costituisce un raggio luminoso o una generica onda elettromagnetica attraverso la seguente equazione:

$$W = h \cdot \nu \quad (11.3)$$

L'equazione n. 11.3 indica che l'energia di un fotone del campo elettromagnetico dipende da una costante, chiamata costante di Planck (**6.626 10⁻³⁴ j s**) ed è proporzionale alla frequenza della radiazione elettromagnetica (indicata nella formula col simbolo "ν"). Da questo fatto estremamente importante è possibile stabilire che se le onde elettromagnetiche hanno una frequenza molto elevata,

allora possiedono anche alti livelli di energia. Un esempio ci è offerto dal fatto che onde elettromagnetiche a frequenza di circa **450 Thz (rosso)** sono dotate di un'energia di circa **1.8 eV** e quindi sufficiente a ionizzare la materia, cioè allontanare gli elettroni dagli atomi. È ovvio che, salendo nella scala cromatica dal rosso al violetto, cresce proporzionalmente questa tendenza a ionizzare. Infatti, le radiazioni violette sono dotate di energia pari a **3,1 eV** e sono quindi più ionizzanti delle radiazioni rosse (Per essere più precisi e bene chiarire che le radiazioni rosse non riescono ad ionizzare tutte le sostanze chimiche presenti in natura. Infatti, alcune emulsioni fotografiche resistono abbastanza bene a queste soglie di energia). Da questo principio fisico dipende la ulteriore suddivisione dello spettro elettromagnetico in due intervalli definiti con le notazioni "**Radiazioni ionizzanti**" e "**Radiazioni non ionizzanti**". Questo per caratterizzare qualitativamente gamme di radiazioni ad elevata energia come le radiazioni gamma, i raggi X, i raggi ultravioletti e la luce dello spettro ottico che comprende principalmente i colori ad energia più elevata e gamme di radiazioni diverse come gli infrarossi, le microonde e le onde radio.

Per concludere questo paragrafo ricordiamo che i fisici che studiano le radiazioni luminose per trattare quantitativamente i pacchetti di fotoni che interferiscono con la materia, utilizzano un'unità di misura riferita ad una mole di fotoni che viene chiamata EINSTEIN (similmente al concetto della mole dei chimici per quanto riguarda la quantità di sostanza chimica). Questa grandezza fisica corrisponde alla formula $h \nu N_0$, dove " $h \nu$ " è la formula 11.3 che abbiamo già conosciuto e " N_0 " è il numero di Avogadro, pari a $6.034 \cdot 10^{23}$

La rifrazione

La luce si propaga nel vuoto alla ormai nota velocità di **299.792,458 km/s**. Questo valore rappresenta per i fisici una costante importantissima chiamata "**C**". Anche nell'aria la luce si propaga con una velocità molto vicina al valore appena indicato. Nei materiali trasparenti invece, si propaga ad una velocità molto diversa e in modo sensibilmente più basso. Nel diamante per esempio la velocità di propagazione raggiunge i **120.000 km/s**. Come conseguenza di queste constatazioni viene definito **indice di rifrazione relativo di una sostanza** il rapporto fra la velocità della luce nell'aria (o nel vuoto) e il valore che essa assume nella sostanza presa come riferimento.

Queste differenze di comportamento fra i vari mezzi discendono dal fatto che, essendo) la luce un fenomeno elettromagnetico, la sua velocità dipende ovviamente dalle caratteristiche elettriche e magnetiche del materiale che essa percorre. È facile dimostrare che la velocità "**u**" di un raggio di luce in un materiale trasparente dipende da:

$$u = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r}} \quad (12.3)$$

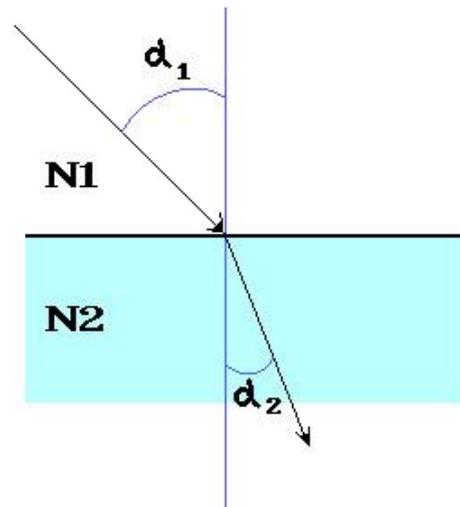
I valori di ϵ_r e μ_r sono caratteristici di ogni materiale e sono quindi rintracciabili in apposite tabelle. I valori di ϵ_0 e μ_0 , relativi alla costante dielettrica e la permeabilità magnetica del vuoto rispettivamente, sono noti e valgono

rispettivamente $8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ e $12.56 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$. In base a quanto è stato detto prima, a proposito dell'indice di rifrazione relativo, risulta facile dimostrare che il valore di tale indice di rifrazione assoluto di un determinato materiale può essere calcolato con la seguente formula:

$$n_a = \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \quad (13.3)$$

La figura n. 39.3, mostra il fenomeno della rifrazione (di un raggio di luce che passa da un mezzo, caratterizzato da indice di rifrazione pari a N_1 , ad un altro mezzo, caratterizzato da indice di rifrazione pari a N_2). Da tale figura si osserva che il raggio incidente, attraverso il mezzo N_1 (per esempio l'aria) raggiunge la superficie di separazione con un'inclinazione pari a un angolo α_1 calcolato dalla normale del piano di incidenza. In questo passaggio, tale raggio di luce viene rifratto con un angolo α_2 all'interno del materiale con indice di rifrazione N_2 . È facile dimostrare matematicamente che il rapporto fra il seno di α_1 e il seno di α_2 corrisponde esattamente al rapporto fra gli indici di rifrazione assoluti dei due mezzi, N_1 e N_2 e, di conseguenza, all'indice di rifrazione relativo N_{21} fra i due mezzi. Da cui la formula (legge di Snell):

$$\frac{\text{sen } \alpha_1}{\text{sen } \alpha_2} = \frac{N_2}{N_1} = N_{21}$$



(14.3)

Fig. 39.3 - Angolo di rifrazione -

Poiché l'indice di rifrazione e di conseguenza l'angolo di rifrazione, dipende anche dalla frequenza dell'onda elettromagnetica, avremo che segnali luminosi di frequenza elevata saranno deviati in misura maggiore rispetto a segnali di frequenza più bassa. Ed è proprio sulla base di questa constatazione che funziona il prisma ottico. Da quanto specificato e approfondito finora, sappiamo che un raggio di luce policromatico (come la luce bianca visibile) contiene tutti i colori dell'iride. Se facciamo entrare in un prisma, con una opportuna angolazione, un fascio ristretto di luce bianca, otterremo per ogni componente colorata e quindi per ogni frequenza, una determinata deflessione secondo l'indice di rifrazione associato a quella frequenza. Come risultato, avremo un ventaglio di colori ognuno separato da un angolo che dipenderà dal valore della frequenza di quella specifica radiazione. Questo fenomeno di scomposizione del raggio di luce bianca nelle sue componenti cromatiche

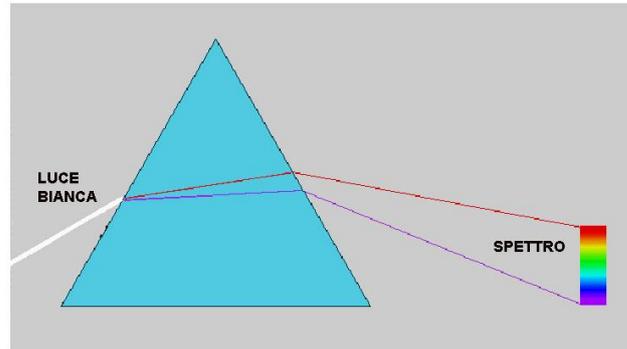


Fig. 40.3 - Dispersione cromatica di un prisma -

è regolato dalla legge di Cauchy la cui figura n. 41.3 ne mostra l'andamento. In questo caso viene indicato come esempio la variazione dell'indice di rifrazione di un cristallo di quarzo al variare della lunghezza d'onda del fascio

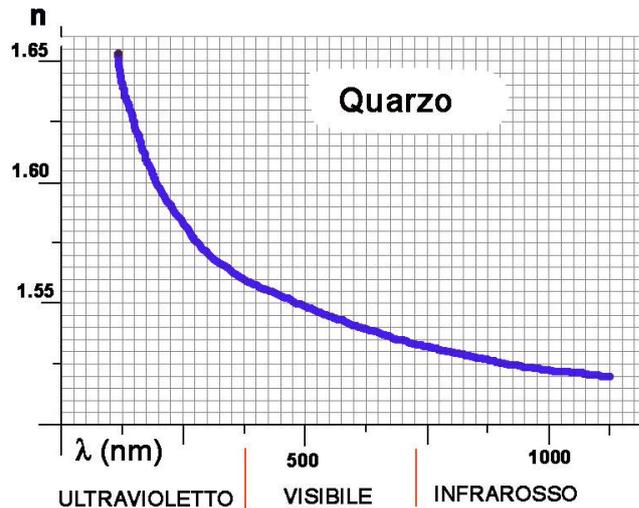


Fig. 41.3 - Variazione dell'indice di rifrazione in un cristallo di quarzo al variare della lunghezza d'onda incidente (legge di Cauchy) -

incidente. La formula n. 15.3, è l'espressione matematica generale formulata da Cauchy.

$$n^2(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2} \tag{15.3}$$

La formula successiva (16.3) è invece la particolarizzazione relativa al quarzo, nella quale si sono sostituiti ai coefficienti "a" e "b", i valori corrispondenti a questo materiale. È da questa relazione che è stato ricavato il grafico di fig. 41.3

$$n^2(\lambda) = 2.327 + \frac{1.528 \cdot 10^5}{\lambda^2(nm)} \tag{16.3}$$

materiale	n=c/v
Vuoto(valore esatto)	1
Aria	1.000294
Idrogeno	1.000139
Ossigeno	1.000272
Ghiaccio	1.31
Acqua	1.33
Alcool	1.36
Vetro	1.50
Diamante	2.5
Sale	1.54
InP (fosfuro di indio)	3.2
Zaffiro	1.76
Quarzo	1.54
Glicerina	1.47
Rubino	1.779
NaCl	1.53
Olio di cedro	1.5
Plexiglas	1.48
Polietilene	1.54
Calcite	1.65
Glicerolo	1.474
Balsamo del Canadà	1.53
Acetone	1.3
Tormalina	1.268
Zucchero	1.535
InGaAs	3.52

Tab 2.3 - Indici di rifrazione di alcuni materiali -

La tabella n. 2.3 indica, per alcuni materiali trasparenti, l'indice di rifrazione. Ci sono dei particolari cristalli, come lo Spato d'Islanda (calcite) nei quali il fenomeno di rifrazione che si verifica risulta più complesso. In questi cristalli infatti si osservano due deviazioni del raggio luminoso. Quando si verificano situazioni di questo genere, si parla di **raggio ordinario** e **raggio straordinario**. Questo particolare fenomeno di doppia rifrangenza risulta molto utile nelle tecnologie fotoniche quando è necessario dividere un raggio luminoso in due raggi distinti (splitter). In base alla presenza o meno di questo fenomeno, i cristalli si dividono in due importanti categorie: **monorifrangenti** e **birifrangenti**. Nei primi la luce si propaga con la stessa velocità in tutte le direzioni, e di conseguenza la luce incidente è sottoposta ad una sola deviazione rispetto alla direzione di propagazione nel vuoto o nell'aria. Nei secondi, invece, il raggio di luce si scinde in due raggi che si propagano con velocità diversa e che risulteranno deviati di angoli diversi. La ragione di questo comportamento è insita nella struttura molecolare del cristallo.

La diffusione della luce

Il fenomeno della diffusione della luce (in inglese: scattering) è dovuto all'interazione fra le onde elettromagnetiche costituenti la luce e le particelle del materiale attraversato tali raggi. Le caratteristiche del fenomeno dipendono dal rapporto fra la lunghezza d'onda " λ " della luce e la dimensione " r " delle particelle.

La lunghezza d'onda della luce, come abbiamo già detto, va da 400 nm a 700 nm, e sulla base di questo dato possiamo esaminare tre casi ben distinti:

$r \ll \lambda$: se la dimensione delle particelle è molto minore della lunghezza d'onda dei fotoni incidenti, il fenomeno è descritto dalla teoria di Lord Rayleigh, che prevede che l'intensità della luce diffusa decresce con la quarta potenza della lunghezza d'onda della luce. Questo significa che le componenti della luce a lunghezza d'onda più bassa (come l'azzurro/blu) vengono diffuse maggiormente delle altre come il rosso e il verde. Ed è proprio per questo motivo che il cielo ci appare azzurro: della luce bianca proveniente dal Sole, la componente rossa viene deviata meno di quella blu-azzurro che invece, avendo lunghezza d'onda più elevata viene dispersa in tutte le direzioni.

$r \approx \lambda$: se la dimensione delle particelle è approssimativamente uguale a quella della lunghezza d'onda della luce, il fenomeno è descritto dalla teoria di Mie: il risultato fondamentale è che la luce blu-azzurra viene deviata meno di quella rossa.

La condizione ottimale per rendersi conto di questo effetto la si può ottenere osservando il cielo quando il Sole è alto a mezzogiorno. In questo caso si osserva un cielo meno azzurro e con prevalenza di toni gialli. Tale fenomeno risulta in un certo senso complementare a quello descritto in precedenza per la diffusione di Rayleigh .

$r \gg \lambda$: se le dimensioni delle particelle colpite dai raggi luminosi hanno dimensioni molto maggiori della lunghezza d'onda della luce, allora queste ultime diffondono allo stesso modo tutte le componenti della luce visibile che mantiene inalterata la sua colorazione. Questo è il motivo per cui le nuvole, che sono formate da goccioline d'acqua in sospensione di grandezza molto superiore alla lunghezza d'onda della luce solare, ci appaiono bianche.

Riguardo la diffusione di Rayleigh che risulta essere la causa del meraviglioso colore azzurro del nostro cielo, occorre specificare che essa viene generata dalla presenza di azoto e ossigeno in condizioni di elevata purezza che si trovano negli strati più alti della nostra atmosfera. Sono proprio le molecole che compongono questi gas che, una volta colpite dalla luce, reagiscono come degli oscillatori risonanti. Da un'analisi particolareggiata di questi specifici oscillatori si deduce che l'ampiezza d'onda di quelli con frequenza elevata (oscillatori UV) risulta molto più elevata rispetto all'ampiezza d'onda degli oscillatori a frequenza più piccola (oscillatori IR). Questo fenomeno è regolato dalla seguente formula elettrodinamica (formula 17.3) ricavata da Wien che giustifica pienamente la diffusione di Rayleigh. Essa mostra l'ampiezza della diffusione luminosa " I " che dipende dall'ampiezza di oscillazione di carica elettrica " A " al quadrato, dalla frequenza o pulsazione " ω " della radiazione incidente elevata alla quarta potenza e da altre costanti come la carica dell'elettrone e la velocità della luce.

(17.3)

$$I = \frac{1}{3} \left(\frac{e^2}{c^3} \cdot \omega^4 \cdot A^2 \right)$$

Perché l'acqua del mare è blu?

Il colore che avvertiamo guardando l'acqua del mare è un altro esempio di diffusione luminosa. Per essere più precisi, dobbiamo distinguere due casi: se guardiamo l'acqua del mare sotto una certa angolazione possiamo scorgere il colore celeste o azzurro del cielo dovuto alla riflessione della superficie, osservando invece la massa d'acqua nella sua interezza si distingue una prevalenza di verde azzurro. Questa particolare colorazione si presenta, poiché l'acqua assorbe le lunghezze d'onda del rosso più intensamente di quelle degli altri colori. La figura n. 42.3 mostra l'assorbimento spettrale dell'acqua al variare della profondità. Dalla stessa figura si può osservare come appena oltre la soglia dei 20 metri di profondità, le lunghezze d'onda del rosso possono essere praticamente considerate assenti. A quella profondità l'acqua assume un colore verde azzurro. Un oggetto di colore rosso localizzato ad una profondità di circa 15 – 20 metri apparirebbe quindi di colore nero. Nei laboratori di questo modulo abbiamo accennato a questo fatto e abbiamo parlato del gambero rosso e della mimetizzazione della sua livrea.

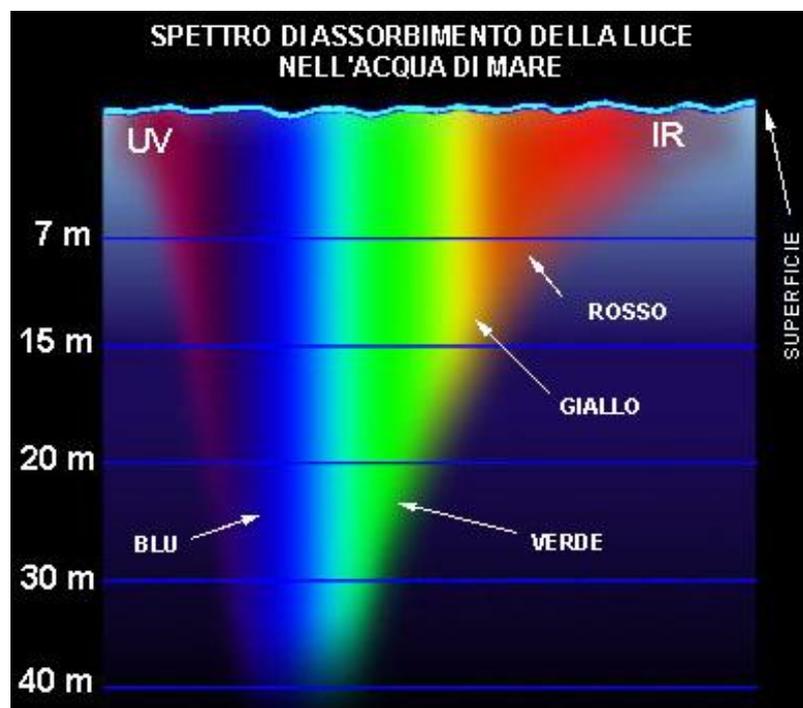


Fig. 42.3

Ricordo con simpatia un giorno che durante una lezione di cui si discuteva di queste cose, un allievo presente, che praticava sport subacqueo mi disse << Professore credo si stia sbagliando, io mi porto continuamente a 20 e anche a 30 metri di profondità e il rosso lo vedo benissimo ...>> quindi io risposi con calma : << Credo che tu ti stia riferendo al fatto che porti con te una torcia elettrica attraverso la quale illumini i fondali che vai ad esplorare... >> Il giovane annui con un cenno del capo...ed io risposi << ebbene, sei tu che porti il colore rosso la giù a quella profondità, per questo riesci a vederlo >>

C'è un'altra storiella molto divertente a proposito di Lord John William Strutt Rayleigh (1842-1919) che mi fu raccontata da un caro amico ricercatore, che evidenzia il carattere estremamente goliardico dell'illustre scienziato inglese insignito di premio Nobel nel 1904 (per aver scoperto il reticolo di diffrazione, e contemporaneo dell'illustre professor Maxwell di cui ereditò, alla morte, la cattedra di fisica all'università di Cavendish. Pare che Lord Rayleigh si trovasse coinvolto come testimone in un'udienza. Nel momento in cui il professore sedette al banco dei testimoni fu interrogato da un avvocato che gli fece anche qualche domanda non inerente alla causa in atto. Pare che il professore allora era già molto conosciuto e, durante l'interrogatorio, pare che l'avvocato gli avesse domandato chi fosse al momento lo scienziato vivente più bravo di tutti. Rayleigh rispose subito, con tono molto divertito, ottenendo fra l'altro un plauso sorridente generale da tutta la sala, che doveva essere certamente lui quello più bravo. Alla fine dell'udienza un amico, che lo aveva accompagnato gli chiese se non fosse stato troppo indelicato a fare una simile affermazione anche se solo per scherzo in presenza di un così vasto pubblico. Ma egli rispose con queste testuali parole: << Mio caro, vorrei ricordarti che io ero sotto giuramento >>.

NOTE 1:

Nella formula n.8.3, che permette di calcolare l'energia emessa da un emettitore integrale, abbiamo supposto implicitamente l'emittanza pari a 1. Se il materiale ha un valore di emittanza "ε" diverso dall'unità, esso dovrà essere aggiunto come rappresentato qui di seguito. Il termine "ε", può essere ricavato dalla tabella presente nell'appendice di modulo.

$$E_t = \int_0^{\infty} w_{\lambda} \cdot d\lambda = \sigma \cdot s \cdot T^4 \cdot \varepsilon$$

NOTE 2:

Per ottenere una simpatica prestazione (o elemento di attenzione) in un'aula nella quale si sta parlando di fenomeni luminosi, di cui è possibile raggiungere per tale contesto un po' di penombra, si può facilmente preparare una polverina che a contatto con l'acqua produce una luce blu-verdastra.

La polverina è una miscela di questi seguenti prodotti che deve essere utilizzata in giornata o in ogni caso anche dopo qualche giorno ammesso di aver avuto cura di prepararla in modo opportuno e averla conservata in ambiente completamente asciutto. La base di questo fenomeno luminoso è conseguente all'uso di una sostanza chiamata **luminol** (circa 200 euro per 25 grammi di prodotto). Questa molecola in ambiente alcalino e ossidante perde azoto e produce fotoni a 425 nm.

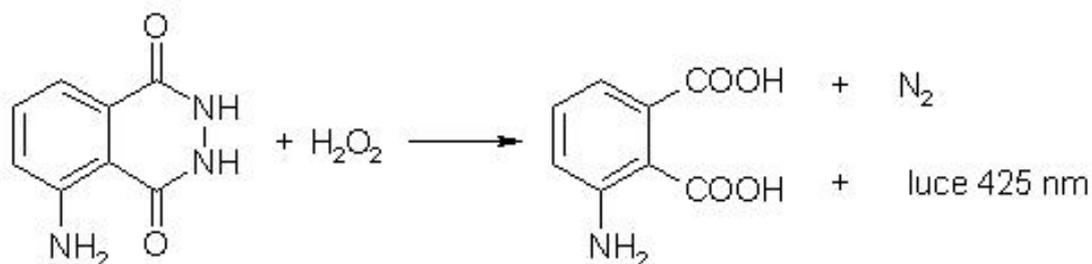


Fig. 43.3 - Luminol ossidato dal perossido di idrogeno -

La formula per ottenere una prestazione ottimale in modo da sviluppare una luce della durata di una decina di secondi è la seguente: 7 - 8 g di **Na₃PO₄** , 3 g di **NaBO₃** , 6,3 g di **K₂CO₃** , 4 g di **K₃[Fe(CN)₆]** ed infine 0,1 g di **luminol** (3-aminophthal-Hydrazite). La figura 43.3 mostra un esempio del luminolo ossidato dall'acqua ossigenata, nel nostro caso precedente invece, come ossidante adoperiamo il perborato. Il carbonato di potassio e il fosfato di sodio determinano l'ambiente basico di lavoro, il ferricianuro di potassio invece ha funzioni di catalizzatore.

Una variante che non ho avuto il piacere di verificare ma, che ho trovato in rete, prevede la preparazione di due soluzioni che verranno successivamente miscelate. La prima soluzione è costituita da 4 g di **Na₂CO₃**, 0,2 g di luminolo, 24 g di **NaHCO₃**, 0,5 g di **(NH₄)CO₃** e 0,4 g di **CuSO₄** in 1 litro di acqua distillata. La seconda soluzione si prepara diluendo 25 ml di acqua ossigenata (**H₂O₂**) al 3% portati a 500 ml con acqua.

Ricordo al docente che alcuni dei prodotti adoperati sono tossici e quindi consigliabile molta prudenza e soprattutto assicurarsi di pulire accuratamente le vetrerie utilizzate.

NOTE 3:

Uno dei modi per esprimere il concetto di luce in egiziano antico è rappresentato dal simbolismo geroglifico mostrato nella figura 44.3. La pronuncia, per quanto

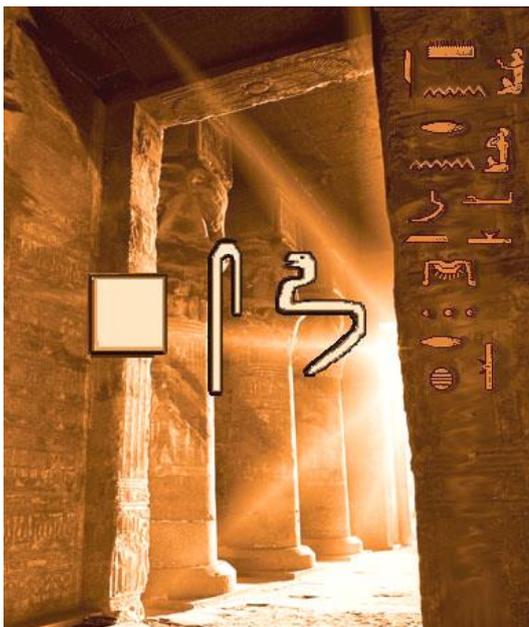


Fig. 44.3 - Trascrizione geroglifica della parola "luce" o "dorso" -

molto relativa, potrebbe essere fonemicamente scandita come: [Psej]. Sorprende che analizzando in dettaglio il significato della simbologia, otteniamo la seguente interpretazione: Il primo simbolo è la pietra tagliata; simbolo della materia grezza che deve essere lavorata, in ogni caso è un simbolo che esprime il significato di materia. Il secondo simbolo è la benda di lino per avvolgere le mummie, simbolo di unione, operatore che stabilisce un legame. Il terzo simbolo è infine l'ideogramma del serpente, simbolo che rappresenta la corrente astrale che scende dall'alto, il magnetismo. Sì,...letteralmente sono proprio queste le diciture esoteriche che troviamo in letteratura e che esprimono la simbologia raffigurata.

