

FISICA DEL LASER

Ovvero: come si crea un raggio laser?

Il raggio laser è una radiazione elettromagnetica di estrema monocromaticità, coerenza e di bassissima divergenza.

Esso viene generato mediante pompaggio di energia in un elemento attivo. L'elemento attivo può essere un cristallo, uno o più gas, un liquido o un semiconduttore.

Per semplicità spiegherò la genesi di un raggio laser rosso utilizzando un rubino sintetico come elemento attivo e una lampada flash come pompa d'energia.

Anzitutto sono necessarie alcune premesse.

Per capire il laser, bisogna capire l'atomo. Per capire l'atomo, bisogna capire l'energia.

L'energia è una grandezza fisica particolare. Essa non è infinitamente divisibile o frazionabile, come si potrebbe pensare. Esiste infatti una quantità energetica minima e pertanto indivisibile. Qualsiasi quantità di energia non può che essere che multiplo intero di essa. Parliamo del **fotone**, o **quanto di luce**.

Il quanto è un portatore di energia. La minima energia trasportabile da un quanto corrisponde ad $1,6 \cdot 10^{-34} \text{ j*s}$ in base alla formula di Planck $E=h\nu$ dove h equivale all'omonima costante pari a $1,6 \cdot 10^{-34} \text{ j*s}$; ν è la frequenza dell'onda e E è l'energia trasportata dal quanto.

Per capirci, non esiste un'energia pari a $2 \cdot 10^{-34} \text{ j*s}$, perché non è un multiplo intero di $1,6 \cdot 10^{-34} \text{ j*s}$. Pertanto lo spettro energetico non è continuo, ma discreto. Volendolo rappresentare, non assomiglia ad un piano inclinato, ma ad una scala a gradini.

Ed ora parliamo dell'atomo.

Un atomo è composto da particelle che si chiamano elettroni, protoni e neutroni (il discorso sarebbe ovviamente più ampio, ma tralascio il discorso su quark e simili che appesantirebbero la spiegazione senza peraltro arricchirla).

L'elettrone ha una carica elettrica negativa, il protone positiva, il neutrone neutra.

In un atomo ci sono tanti elettroni quanti sono i protoni, sicché di norma un atomo è elettricamente neutro (diversamente parleremmo di uno ione).

Il numero di protoni identifica l'elemento di cui l'atomo è costituente.

Il nucleo è composto da protoni e neutroni (quest'ultimi servono a interporsi tra protone e protone come una specie di collante, senza il quale i protoni avendo carica elettrica identica si respingerebbero).

Gli elettroni orbitano attorno al nucleo occupando orbitali ben definiti e dipendenti da un certo livello energetico (che sappiamo essere a gradini). A maggior energia corrisponde un orbitale più esterno e viceversa.

Fornendo energia ad un atomo, gli elettroni la assorbono e saltano quindi ad occupare orbitali più esterni, dipendenti dall'energia assorbita (che sappiamo essere multiplo intero di un quanto). I livelli energetici legati ai vari orbitali variano da elemento a elemento, caratterizzandolo. Un atomo con uno o più elettroni saltati su orbitali energetici maggiori si dice *atomo eccitato*.

Un elettrone che assorbe energia e salta in un determinato orbitale (pertinente all'energia assorbita) viene a trovarsi in una situazione innaturale e instabile (tutto ciò che sale prima o poi scende!), per cui dopo un tempo che può andare dal millesimo al miliardesimo di secondo, ritorna spontaneamente allo stato fondamentale, ossia di non eccitazione, restituendo l'energia che aveva assorbito sotto forma di quanti di luce di una frequenza ben definita e dipendente dall'elemento a cui l'atomo appartiene.

Su questo principio è possibile identificare un materiale facendo quello che i chimici conoscono come "esame alla fiamma". Ad esempio, se poniamo un filo di rame su di una fiamma sufficientemente calda (un fornello a gas con fiamma azzurra va bene), noteremo che questa si colora di un bel verde "cacatua" (dal colore dell'omonimo pappagallo): questo perché l'energia fornita dalla fiamma eccita gli atomi di rame, dai quali gli elettroni ricadendo nello stato fondamentale restituiscono l'energia assorbita sotto forma di luce verde; luce che è composta da fotoni (o quanti, che dir si voglia) di frequenza ben definita, tipica del rame, corrispondente appunto alla luce verde "cacatua". Analogamente le gocce d'acqua salata bollente che fuoriuscendo dalla pentola cadono sulla calda fiamma la colorano di un colore giallo/arancio, tipico del sodio in esso contenuto.

In entrambi i casi la luce emessa è frutto di un'emissione spontanea di fotoni, la quale avviene in maniera disomogenea e non in fase, come avverrebbe in una semplice lampadina colorata.

Ma torniamo al nostro laser al rubino.

Da un punto di vista chimico il rubino è costituito da sesquiossido di alluminio contenente atomi di cromo che gli conferiscono un colore rosso intenso.

Se forniamo energia al rubino, ad esempio sotto forma di luce bianca particolarmente intensa come quella prodotta da una lampada flash, eccitiamo gli atomi di cromo, con le ormai note conseguenze.

Dopo un certo tempo gli elettroni eccitati decadono nello stato fondamentale, emettendo fotoni spontaneamente e con direzioni casuali che si disperdono.

Se però il rubino viene opportunamente sagomato, ad esempio a forma cilindrica, e delle due basi circolari tra loro parallele, una viene resa riflettente al 100% (nel verso interno al rubino) e l'altra viene resa riflettente al 95% (sempre nel verso della faccia opposta e interna al rubino), accade che alcuni fotoni, solo quelli che sono perfettamente ortogonali alle due facce parallele e speculari si riflettono all'interno del rubino, costituendo un *sistema ottico oscillante*.

Supponiamo di investire un atomo di cromo non eccitato con fotoni di energia $E=h\nu$, cioè esattamente pari all'energia che l'elettrone emetterebbe in forma fotonica nello stato eccitato.

In questo caso può avvenire che uno dei fotoni incidenti induca l'atomo ad eccitarsi. La transizione avviene a seguito dell'assorbimento, da parte dell'atomo, del fotone incidente. È questo il fenomeno dell'assorbimento, che è causa dell'attenuazione di un raggio luminoso quando si propaga in qualsiasi mezzo (eccetto che, ovviamente, nel vuoto).

Proviamo ora a colpire un atomo eccitato con fotoni di energia E sempre uguale ad $h\nu$. In tal caso può avvenire che uno dei fotoni incidenti passi vicino ad un elettrone dell'atomo eccitato, stimolando l'emissione fotonica e facendolo ritornare allo stato fondamentale. Questo per risonanza emette un fotone con fase e direzione identica al fotone che l'ha stimolato. Un po' come un diapason oscillante che avvicinato ad uno inerte, lo fa oscillare alla stessa frequenza e con la stessa fase. Essendo poi in fase, le due oscillazioni si sommano, amplificandosi. Questo sia nel caso dei diapason che degli elettroni. Questa è un'*emissione stimolata*.

Ma per avere una amplificazione stimolata è necessario che il numero di atomi eccitati sia superiore a quello degli atomi che rimangono nello stato fondamentale, altrimenti avremo un assorbimento dell'energia pompata, e non un'emissione stimolata. Solo certi materiali consentono ciò. Sono i materiali che vengono definiti *attivi*. Se il pompaggio avviene in un materiale attivo, l'onda elettromagnetica che si propaga nel sistema produrrà prevalentemente emissioni stimolate piuttosto che assorbimento energetico.

Poiché l'emissione stimolata produce fotoni in fase e direzione identica di quelli stimolanti, otteniamo un'amplificazione *coerente* dell'onda elettromagnetica incidente. Il fatto poi che il tutto avvenga tra due superfici parallele riflettenti, ossia in una *cavità ottica risonante*, fa sì che venga selezionata automaticamente l'onda la cui lunghezza è multipla della distanza tra i due specchi, mentre le altre si disperderanno. Tale onda selezionata (un elemento attivo potrebbe essere idoneo a risuonare a diverse frequenze) transiterà più volte riflessa nella cavità, stimolando altre emissioni coerenti e man mano amplificandosi. Essendo uno dei due parzialmente riflettente, il raggio così formatosi da fotoni coerenti, isodirezionati e monocromatici, lo potrà attraversare e uscire: è il *raggio laser*.-