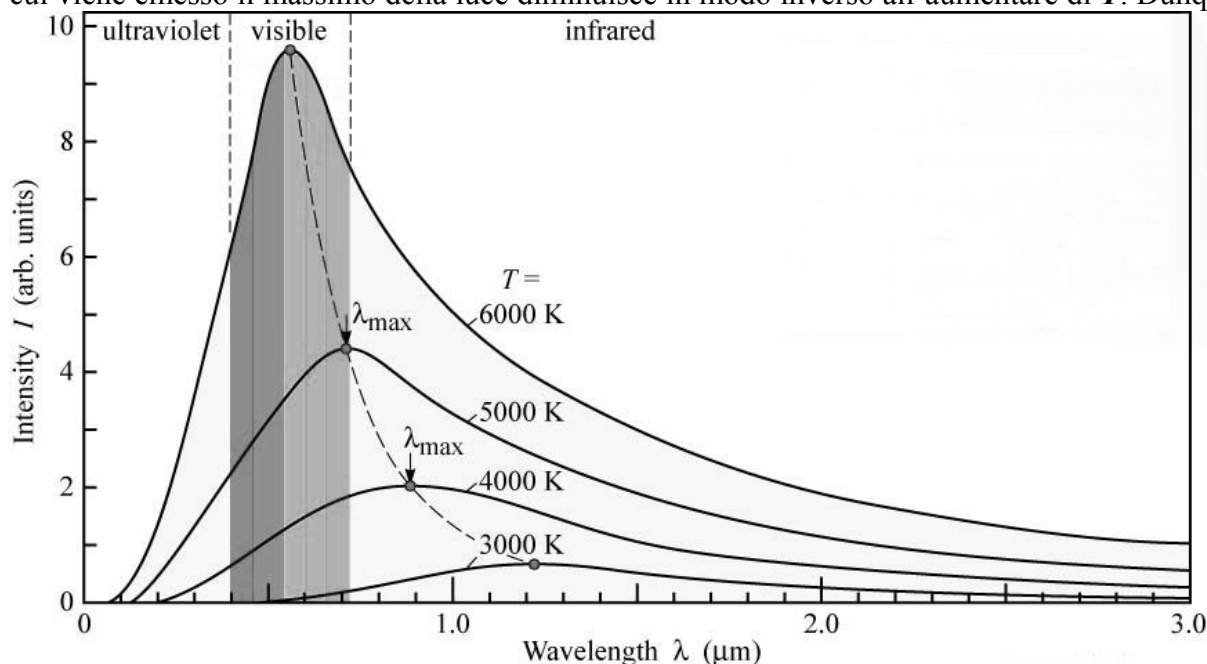


Ci avviciniamo all'infrarosso (16/01/08)

Sulla scorta di quanto abbiamo ricordato nel salotto precedente in merito alla natura ondulatoria e quantistica della luce, cominciamo ad avvicinarci alla radiazione infrarossa, cercando di capire quale sia la sua importanza in campo astronomico. Per far questo, dovremo ricordare i due principali meccanismi di emissione di luce, almeno per quanto riguarda l'infrarosso stesso.

Il meccanismo universale di emissione di luce è quello di "*corpo nero*". Senza entrare in troppi dettagli, diremo che un oggetto *opaco* qualsiasi, se viene riscaldato, emette uno spettro continuo di radiazione elettromagnetica. La quantità di luce emessa è proporzionale alla quarta potenza della temperatura, e quindi l'emissione aumenta notevolmente all'aumentare di T . La lunghezza d'onda a cui viene emesso il massimo della luce diminuisce in modo inverso all'aumentare di T . Dunque, per



temperature basse, si avranno *onde lunghe* (prima radio, poi all'aumentare di T si giungerà all'infrarosso, quindi alla luce visibile tra 5000 e 7000 °K, e per temperature superiori il massimo di emissione si sposterà nell'ultravioletto e quindi nei raggi X). Comunque, a qualsiasi temperatura, un po' di luce viene emessa in ogni banda, dai raggi γ al radio, come in figura.

Dunque, capiamo immediatamente perché l'astronomia di sorgenti astronomiche "*fredde*", per esempio a 3000 °K come le stelle di piccola massa e le giganti rosse, richiede osservazioni nell'infrarosso vicino, attorno a 1 – 2 μm : questi oggetti rilasciano solo una frazione piccolissima della loro luce nel visibile, mentre la frazione maggiore è nell'infrarosso.

C'è però un secondo meccanismo di emissione che bisogna analizzare un po' in dettaglio, perché la sua comprensione è preliminare a quella del perché l'infrarosso si possa osservare poco dalla superficie terrestre, e sia necessario inviare sonde oltre l'atmosfera. L'emissione di fotoni dovuta a transizioni quantistiche.

Abbiamo familiarità col modello molto grossolano dell'atomo come piccolo sistema planetario, e sappiamo pure che le orbite degli elettroni non possono essere qualsiasi, ma sono solo a certi livelli di energia. Questo modello è sufficiente per capire i discorsi che seguono.

Focalizziamo la nostra attenzione su un atomo d'idrogeno, ovvero un protone centrale con un solo elettrone che gli orbita attorno. Tra i due esiste una forza di attrazione elettrostatica non indifferente (trascuriamo del tutto gli effetti magnetici). In media, l'elettrone tenderà a disporsi sulla più interna delle orbite possibili, e la meccanica quantistica ci permette di calcolare l'energia di questa orbita, cui assegneremo il numero progressivo $n=1$. Poi esisterà anche un'orbita più lontana,

anzi ne esistono infinite, ma soffermiamoci solo sulla seconda, che indicheremo con $n=2$. Se vogliamo portare l'elettrone sulla seconda orbita, lo dovremo allontanare dal protone. Per far questo dovremo spendere una certa quantità di energia, poiché dovremo vincere l'attrazione tra elettrone e nucleo. Dunque, l'energia dell'elettrone a $n=2$ sarà maggiore di quella che aveva nel livello fondamentale $n=1$. Supponiamo di aver portato l'elettrone sulla seconda orbita per mezzo di pinzette da elettrone, e di lasciarlo lì. Poiché tutti gli oggetti tendono a spostarsi verso la configurazione di energia minore, anche l'elettrone, nel giro di pochissimo tempo, ricadrà sulla prima orbita, liberandosi dell'energia in eccesso sotto forma di un fotone. A conti fatti, essendo l'energia del fotone uguale ad $h\nu$, potremo calcolare la frequenza del fotone emesso, e il risultato è 2.47×10^{15} hertz. La lunghezza d'onda corrispondente è $0,1216 \mu\text{m}$. Ricordando che il violetto si trova a circa $0,4 \mu\text{m}$ concluderemo che il fotone emesso in questa transizione atomica è nell'ultravioletto. Se volessimo generare una radiazione di corpo nero avente il massimo a questa lunghezza d'onda, dovremmo scaldare un oggetto fino a circa $15.000 \text{ }^\circ\text{K}$, e dunque la radiazione emessa nella transizione atomica fondamentale dell'idrogeno si può considerare "calda".

Ora consideriamo un atomo di sodio, nel cui nucleo ci sono 11 protoni e 12 neutroni. Esso avrà anche 11 elettroni, distribuiti su tre orbite. In base alle regole della meccanica quantistica, la prima, più vicina al nucleo, ne conterrà due; la seconda otto, e la terza, la più lontana dal nucleo, uno solo. Ragioniamo su quest'ultimo: anche esso avrà una certa energia rispetto al nucleo, e potrà essere portato in un'orbita più alta. Rispetto al nucleo, però, la sua distanza sarà più elevata rispetto al caso dell'idrogeno, e l'energia in proporzione minore. Dunque, quando l'elettrone dell'ultima orbita sarà tirato su e poi lasciato andare, anche lui emetterà un fotone, ma di energia minore, e quindi di lunghezza d'onda maggiore. A parte dettagli, la lunghezza d'onda corrispondente sarà di $0.589 \mu\text{m}$, e perciò il sodio emetterà una riga spettrale gialla, corrispondente a una temperatura di corpo nero pari a circa $6000 \text{ }^\circ\text{K}$.

Ci domandiamo: quali atomi emetteranno righe spettrali nell'infrarosso? Atomi ancora più grandi del sodio, e quindi con elettroni periferici sempre più lontani? Non esattamente. Via via che i nuclei atomici si fanno sempre più grandi, è vero che gli elettroni esterni sono sempre più lontani, ma il nucleo è sempre più pieno di protoni e l'attrazione elettrostatica aumenta per cui, alla fine, più o meno tutti gli atomi emettono luce tra il visibile e l'ultravioletto. Dove potremo trovare qualcosa che emette righe spettrali nell'infrarosso? Dovrà essere qualcosa di "poco carico". Per esempio, una molecola.

Prendiamo, infatti, la molecola dell'acqua, in cui due atomi d'idrogeno e uno di ossigeno sono legati in maniera tenue: non con un vero e proprio scambio di elettroni come in un sale (per esempio il cloruro di sodio), ma piuttosto come effetto di polarizzazione elettrostatica (deformazione delle nubi elettroniche, che diventano asimmetriche, e dunque si esercitano delle deboli forze elettriche residue). L'energia che tiene assieme questi tre atomi, dunque, è bassa. Possiamo pensare di perturbare la struttura di questa molecola che, essendo asimmetrica, può essere posta sia in vibrazione, che in rotazione attorno a un asse. Sempre a causa della meccanica quantistica, anche i modi di vibrazione e rotazione non possono avere qualsiasi energia, ma solo valori ben precisi. Ma, essendo le energie di legame piuttosto basse, anche le energie di rotazione e vibrazione saranno basse e dunque, se la molecola passa da un livello energetico a un altro, anche l'energia emessa sarà bassa. Il fotone corrispondente sarà dunque nell'infrarosso.

Ecco, perciò, che cominciamo a capire che le principali sorgenti di luce infrarossa, a parte le stelle fredde, possono essere le nubi interstellari dove sono presenti molecole a due – tre atomi. Ed ecco pure che scopriamo perché le osservazioni nell'infrarosso sono così importanti: la luce visibile ci dice molte cose sulle stelle, perché esse emettono comunque luce di corpo nero anche nel visibile; il resto della materia nello spazio, invece, non emette luce di corpo nero, e quindi non può essere osservata nel visibile: poiché quasi tutto ciò che non è condensato in stelle emette nell'infrarosso, quest'ultimo ci permette di conoscere le componenti non stellari dell'universo. La prossima volta utilizzeremo questi concetti per investigare problemi di trasparenza all'infrarosso.