

Spettri

Natura non facit saltus?

di Crisostomo Sciacca

a.
Raggi da sorgenti laser.



Un arcobaleno, un raggio di sole che si rifrange in un bicchiere di cristallo intagliato e colora la parete, corpi solidi incandescenti (che diventano sempre più “candidi” all’aumentare della temperatura), stelle di tutti i colori: l’esperienza ci porterebbe a concludere che la luce assume infinite tonalità diverse, senza discontinuità. Ma è questa la regola, la luce si manifesta sempre con distribuzioni di colore senza interruzioni, ha uno *spettro continuo*? Non proprio, e se ne accorse nel 1814 Joseph Fraunhofer, scomponendo la luce solare con prismi e reticoli di diffrazione in grado di “sparpagliare” i colori con grande dettaglio: apparve l’usuale arcobaleno, ma interrotto da una miriade di fasce scure, senza apparente regolarità. Per capire il messaggio “scritto” da questa incomprensibile alternanza di colori e di oscurità dovevano passare cento anni di pazienti esperimenti di spettroscopia su gas di tutti i tipi, con strumenti sempre più

precisi, ma soprattutto si doveva attendere la nascita di un nuovo modo di interpretare la realtà, guardandola con occhio “quantistico”.

Serviva prendere sul serio ciò che Max Planck nel 1900 aveva avanzato come ipotesi, e cioè che i corpi emettessero onde elettromagnetiche non già come descritto dalla fisica classica, in modalità continua, ma in quantità discrete, in “quanti”, quelli che circa 25 anni dopo sarebbero stati battezzati “fotoni”, i quanti della luce.

E serviva il lavoro di Niels Bohr, che nel 1913 ideò un modello atomico analogo al nostro sistema solare, con il nucleo positivo al centro e gli elettroni negativi orbitanti intorno ad esso, aggiungendo però un’ipotesi coraggiosa e allora arbitraria: solo alcune orbite sono permesse, cioè gli elettroni possono occupare solo un numero discreto di *livelli energetici*, non già avere un’energia di qualunque valore.

Inoltre, per il principio di conservazione dell'energia, se un elettrone "cade" da un'orbita lontana a una più vicina al nucleo (passa cioè da un livello energetico più alto a uno più basso) emette un quanto di luce con frequenza precisa, pari alla differenza di energia tra i due livelli, divisa per quella che è una delle costanti fisiche più importanti nella scienza, la costante di Planck h .

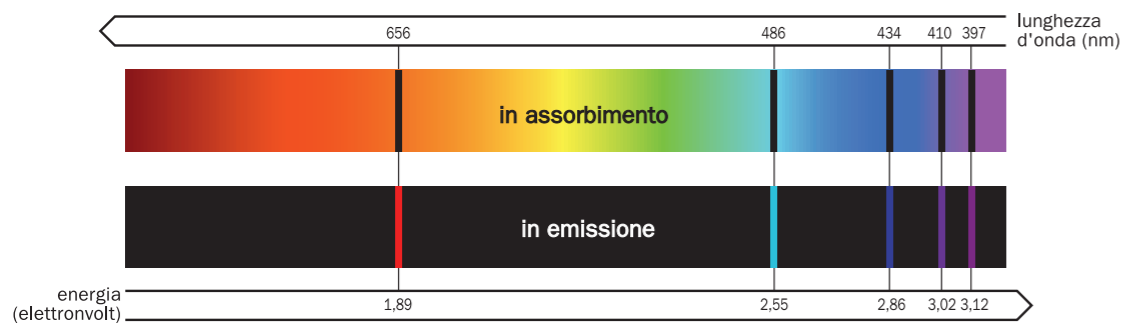
Il processo inverso è anche possibile: un quanto con l'energia "giusta", pari cioè alla differenza di energia tra due livelli, può essere assorbito dall'atomo e porta un elettrone da un livello inferiore a uno superiore. Se poniamo tra noi e una sorgente "bianca" (contenente cioè luce di tutte le lunghezze d'onda) un campione di un certo gas, solo porzioni ben precise dello spettro verranno assorbite, quelle con energie di valore pari ai "salti" energetici, mentre tutti gli altri colori attraverseranno indisturbati il campione. Avremo così una spettroscopia *ad assorbimento*, proprio quella osservata da Fraunhofer nello spettro solare,

solcato da righe oscure tipiche della miscela di gas di cui è composta l'atmosfera solare. Il messaggio da decifrare era, quindi, la composizione chimica del Sole (vd. figg. b e c)! Se invece osserviamo un gas, i cui atomi subiscono transizioni da livelli alti (orbite lontane dal nucleo) a livelli più bassi, si vedranno solo righe di colori diversi su fondo scuro e stiamo facendo una spettroscopia *a emissione* (vd. fig. c). Oltre agli atomi, anche nuclei e particelle possono emettere o assorbire fotoni con energia ben definita (vd. approfondimento p. 23). I sistemi semplici sono gli unici a farlo? Tutt'altro. Siamo circondati da laser monocromatici, nel visibile come nell'infrarosso o nell'ultravioletto, con innumerevoli applicazioni, e led (*light emitting diodes*) di tanti colori si trovano ovunque, dagli indicatori sui pannelli degli apparati elettronici agli schermi televisivi di nuova generazione. *Natura non facit saltus?* Molto, molto spesso, quasi sempre, "salta"!



b. Il francobollo commemorativo di Joseph Fraunhofer, con lo spettro di assorbimento del Sole.

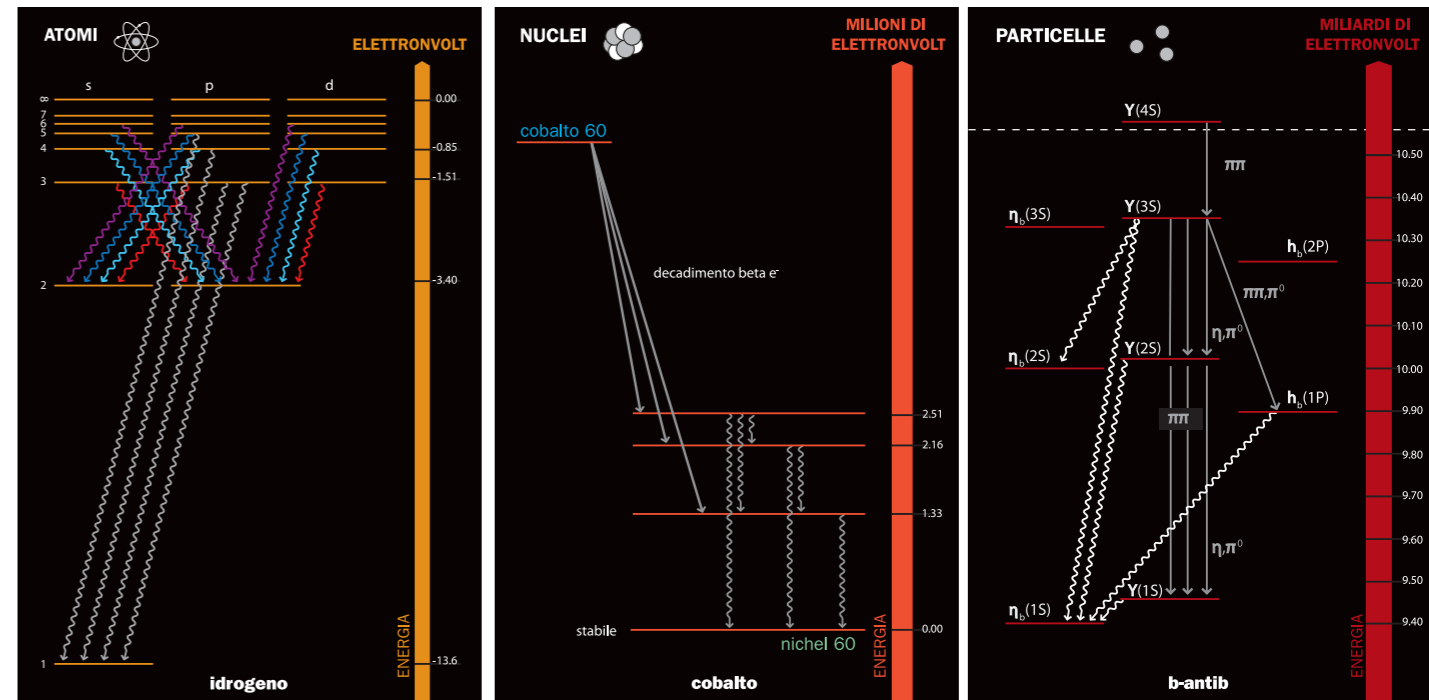
SPETTRO DELL'IDROGENO



c. Spettro dell'idrogeno in assorbimento e in emissione.

Colori quantistici

1. Livelli energetici e transizioni con emissione di fotoni: in fisica atomica (fotoni con energie dell'ordine degli eV, a sinistra), nucleare (milioni di eV, al centro) e delle particelle elementari (fino a miliardi di eV, a destra).



La struttura discreta, "a righe", dei fotoni emessi si ritrova anche in sistemi elementari diversi dagli atomi, come è raffigurato negli esempi in fig. 1. A sinistra sono rappresentati i livelli energetici consentiti nell'atomo d'idrogeno, secondo il modello di Bohr; le frecce indicano le transizioni possibili, con frequenza tanto più alta quanto più distanti sono i livelli. Ogni elemento chimico ha "righe" di frequenza e intensità caratteristiche, una sorta di inequivocabile "impronta digitale". In particolare, sono raffigurate le energie permesse per l'elettrone dell'atomo di idrogeno, corrispondenti ai numeri quantici "principali" (1,2,3,...) e "orbitali" (s,p,d,...). Sono indicate alcune transizioni tra livelli a energia superiore e a energia inferiore, con emissione di fotoni di energia pari alla differenza tra i due livelli coinvolti. In colore sono indicati i quattro fotoni del visibile (gli altri sono nell'infrarosso o nell'ultravioletto), appartenenti alla "serie di Balmer" (Balmer era uno spettroscopista della seconda metà dell'800): gli stessi colori li vediamo in fig. c, nello spettro di emissione dell'idrogeno.

Ci si può chiedere se questa caratteristica dei fotoni, con valori discreti dell'energia, sia riservato solo al mondo atomico. Non è così, troviamo strutture a livelli energetici anche nella fisica dei nuclei e persino nel mondo delle particelle elementari. I fotoni emessi nelle transizioni all'interno del nucleo, o quando una particella decade in un'altra di massa inferiore, hanno energie ben precise, sempre

pari alla differenza tra quelle degli stati iniziali e finali. Con una importante differenza: se le energie in gioco nelle transizioni tra stati atomici o molecolari sono dell'ordine degli elettronvolt, nei nuclei parliamo di energie anche milioni di volte superiori e addirittura, nel caso delle trasformazioni tra particelle elementari, l'energia dei fotoni può essere anche miliardi di volte superiore. In particolare, l'esempio di "alchimia" nucleare raffigurato al centro di fig. 1 è quello del neutrone appartenente a un nucleo di cobalto 60, che subisce un decadimento beta (cioè si trasforma in protone emettendo un elettrone e un neutrino). Si ha così un nucleo con un protone in più e un neutrone in meno, cioè un nucleo di nichel 60 in uno dei suoi livelli energetici ("stati eccitati"), con successive transizioni al livello fondamentale con emissione di fotoni (diretta o in cascata), di nuovo con energie pari alla differenza tra i livelli interessati.

In fig. 1 a destra è raffigurata la famiglia dei mesoni costituiti da una coppia quark-antiquark di tipo "beauty". Gli stati possibili sono diversi, a seconda dello stato nel quale i due quark sono legati, e a ciascuno corrisponde una particella diversa, con masse differenti. All'interno della famiglia, sono possibili transizioni con emissione di particelle (linee continue) oppure di fotoni (linee ondulate). Anche qui, l'energia emessa nella transizione è data dalla differenza di energia tra gli stati coinvolti.

Biografia

Crisostomo Sciacca insegna all'Università "Federico II" di Napoli e ha svolto attività di ricerca nel campo della fisica delle particelle elementari, in vari esperimenti presso i Laboratori di Frascati, di Stanford e al Cern.