

FISICAST

per
SxT

Vedere le Particelle Elementari

di
Riccardo Faccini



Vedere le Particelle Elementari

Riccardo Faccini

Abstract:

Come si fa a vedere le particelle elementari? Di che colore è un elettrone o un protone? Con questa puntata di Fisicast diventerete esploratori dell'infinitamente piccolo.

INIZIO

Inizio ritornello "Di che colore è la pelle di Dio" (<https://www.youtube.com/watch?v=3N50nSDxyIo>)

Chiaramente la pelle di Dio non è un argomento per FISICAST, però oggi affronteremo una domanda parimenti intrigante: "Di che colore è un elettrone?". O meglio, spiegheremo come si fa a vedere elettroni, protoni, quark, nuclei atomici e tutte quelle affascinanti particelle che abbiamo descritto in una puntata di FISICAST dedicata.

Con noi c'è oggi Riccardo Faccini del Dipartimento di Fisica della Sapienza.

Q: Ma allora Riccardo di che colore sono l'elettrone e il protone?

A: Tu come li immagini?

Q: Beh per me l'elettrone è un piccolo puntino nero, mentre il protone è un pallocco rosso...

A: Allora ti do una buona notizia: potrai continuare ad immaginarli così perché non hanno alcun colore! O meglio, per loro il colore non esiste.

Q: Ah, cominciamo bene questa puntata, e perché?

A: Ti rispondo con una domanda, cosa avviene quando vedi un oggetto?

Q: Beh un raggio di luce rimbalza sull'oggetto ed entra nel mio occhio, dove si forma l'immagine.

A: Bravissima. E cosa determina il colore di un oggetto?

Q: Ehem, qui si fermano le mie conoscenze ...

A: La luce è composta dalla somma di tante onde elettromagnetiche ognuna delle quali con una diversa "lunghezza d'onda", cioè distanza tra due creste successive. Ad ogni lunghezza d'onda corrisponde la percezione di un colore diverso: le più lunghe ci danno la sensazione del rosso, le più corte del viola e in mezzo tutti gli altri colori

dell'arcobaleno. La luce bianca è la somma di tutti i colori, mentre la luce colorata contiene solo alcune lunghezze d'onda.

Ogni materiale, se illuminato con luce bianca, assorbe alcune lunghezze d'onda e riflette indietro le altre. Al mio occhio non arriveranno dunque tutte le onde, ma solo quelle che non sono assorbite.

Q: E il colore sarà stabilito dalle lunghezze d'onda che tornano indietro.

A: Bravissima!

Q: E perché questo non vale anche per elettroni e protoni?

A: Perché queste particelle sono più piccole della lunghezza d'onda della luce visibile, che quindi "le scavalca" senza essere assorbita né riflessa e perciò non solo non puoi sapere il colore, ma non vedi nemmeno la particella!

Q: Se ricordo bene però esiste della luce con lunghezze d'onda più corte del violetto, e immagino che ce ne saranno alcune abbastanza corte da dirmi dov'è un elettrone o un protone... basterebbe illuminare le particelle con queste onde per vederli!

A: Complimenti, sei stata ingegnosa! Per usare correttamente i termini, si parla di "luce" solo quando si ha un'onda elettromagnetica in grado di essere vista dall'occhio umano. Le onde di cui tu parli in effetti esistono e si chiamano "raggi gamma".

Qui però sorge un altro problema, legato al fatto che quando si guarda a livello microscopico un'onda elettromagnetica, essa è in realtà composta da particelle.

Q: Insomma, la luce è un'onda o una particella?

A: Entrambe, questo è il dualismo onda-particella che ogni tanto esce fuori nelle nostre puntate: se ti ricordi l'abbiamo introdotto quando parliamo di Effetto Fotoelettrico. Le onde elettromagnetiche (cioè la luce e i raggi gamma, per capirci) quando interagiscono con una particella si comportano come se fossero loro stesse una particella, detta fotone. La cosa importante è che c'è un legame tra la lunghezza dell'onda e l'energia della particella equivalente: maggiore è la lunghezza dell'onda e minore è l'energia della particella e viceversa. Quindi un'onda che oscilla su distanze corte si comporterà come una particella con tanta energia e viceversa. I raggi gamma sono i fotoni più energetici che esistono e dunque corrispondono alle lunghezze d'onda più corte possibili.

Q: OK, ma cosa c'entra questo con il fatto che non posso usare un raggio gamma per vedere un elettrone?

A: Tu stai giustamente suggerendo di sparare un raggio gamma sull'elettrone o il protone e vedere se torna indietro. Peccato però che se faccio questo con un raggio gamma, ossia un fotone molto energetico, l'elettrone verrà spazzato via, come una boccia colpita con forza da un'altra boccia. Risulterà cioè che per vedere un elettrone ne dovrei modificare il moto: se sta fermo lo metto in moto, se si muove lo devio.

Q: E questo è un problema?

A: Tipicamente sì perché per vedere un elettrone dovrei osservare svariati fotoni che vi rimbalzano contro. Ma se dopo ogni rimbalzo l'elettrone si trova in una posizione diversa, l'immagine sarebbe intollerabilmente sfocata.

L'unico modo per non alterare il moto di una particella osservata con la luce è usare fotoni di bassa energia. Ma come abbiamo già detto questo comporta che la lunghezza d'onda corrispondente è grande e quindi posso facilmente sbagliare di molto la valutazione su dove si trova l'elettrone.

Q: Allora fammi riassumere: se osservo un elettrone con dei raggi gamma lo vedo bene, ma poi ne perdo le tracce perché lo colpisco con troppa energia, mentre se uso fotoni di bassa energia non lo disturbo, ma lo vedo male.

A: Esatto, questo è il principio di indeterminazione di Heisenberg: più accuratamente conosco la posizione di una particella, meno accuratamente ne conosco la velocità e viceversa.

Q: Ah non avevo mai pensato in questi termini. Quindi... non si può usare qualcosa simile al microscopio per guardare una particella... ma allora come si aggira il problema?

A: Come potresti osservare un uomo invisibile? Ricoprendo il terreno di un materiale sul quale possa lasciare delle impronte.

Q: Affascinante... e come sono fatte le impronte di un elettrone?

A: Dipende dal materiale con cui decidi di far interagire l'elettrone. Le tecniche usate si possono riassumere, molto brutalmente, in due categorie. Parliamo per cominciare dei "tracciatori", dispositivi in grado di seguire l'elettrone lungo un percorso, senza alterarlo eccessivamente. Per capire come funziona immagina che un uomo invisibile attraversi una foresta magica: quando l'uomo passa vicino ad un albero quest'ultimo si illumina tanto più quanto più gli è passato vicino. Guardando il bosco nel suo insieme da un aereo posso chiaramente dire che tragitto ha fatto l'uomo, anche se non posso vederlo direttamente.

Q: E come fate a costruire degli alberi magici?

A: Nel caso per esempio di un rivelatore chiamato "camera a fili", gli alberi magici sono dei fili metallici posti all'interno di un contenitore pieno di gas e disposti come una scacchiera. Questi fili sono connessi ad un generatore di tensione molto elevata, immaginalo come una pila molto potente. Alcuni fili sono connessi al polo positivo (semplificando molto la realtà, tanto per capirci, quelli posizionati in corrispondenza delle caselle nere della scacchiera), gli altri al polo negativo.

Quando una particella con carica elettrica attraversa il recipiente, essa strappa alcuni elettroni agli atomi del gas. Gli elettroni estratti vengono accelerati dal campo elettrico e urtano altri atomi del gas, strappando a loro volta altri elettroni. Si sviluppa così una valanga di elettroni che viene attratta dai fili connessi al polo positivo producendo una corrente elettrica.

Q: E dalla corrente misurata si capisce a che distanza dal filo è passato l'elettrone?

A: Sì. In realtà lo si capisce misurando in che momento comincia la corrente. Visto che gli elettroni ci mettono del tempo ad arrivare al filo più vicino, il tempo di inizio della corrente nel filo è legato alla loro distanza dal filo.

Q: Però mi sfugge una cosa, ma se io guardo il rivelatore cosa vedo? Si accende qualcosa? Nell'esempio della foresta di alberi magici gli alberi si illuminavano.

A: Il rivelatore in sé è tipicamente sigillato e non lo si guarda. Quello che facciamo è misurare a che distanza da ogni filo è passata una particella. L'equivalente della foto scattata alla foresta magica dall'alto è un'immagine che produciamo al computer, in cui disegniamo in corrispondenza di ogni filo un cerchio largo quanto la distanza della particella dal filo stesso. Con questa immagine riusciamo a ricostruire dove è passata la particella. Questa informazione però nelle nostre ricerche non ci basta.

Q: Ah no? Che altro vi serve sapere?

A: Ci serve sapere quanto vanno veloci queste particelle.

Q: Ma come fate a dire quanto va veloce? Dalla velocità con cui si "accendono gli alberi"?

A: No, non possiamo essere così precisi anche perché tutte le particelle che studiamo noi hanno praticamente la velocità della luce, pochissimo di meno. Per misurare quanto vanno veloci le particelle si possono sfruttare altre due loro proprietà.

In primo luogo, si può sfruttare il fatto che un campo magnetico fa curvare le particelle cariche e che la curva che fanno è tanto più stretta quanto è minore la loro velocità. Anzi ad essere precisi quanto minore è la loro "quantità di moto", cioè il prodotto tra la loro massa e la loro velocità. Se dunque immergo il rivelatore a fili in un campo magnetico (per esempio lo pongo tra i due poli di un magnete, una grossa calamita) allora osserverò una traiettoria curva e dalla sua forma potrò misurare la quantità di moto della particella.

Q: Ottimo! Questo metodo mi sembra che vi permetta di misurare tutto quello che vi serve!

A: Non proprio, per ben tre motivi: da un lato questo metodo funziona solo per le particelle cariche, perciò per quelle senza carica elettrica devo inventarmi qualcos'altro. Inoltre, se la quantità di moto di una particella è troppo grande (cioè se una particella è troppo pesante o troppo veloce) la sua traiettoria potrebbe curvare di così poco da sembrare dritta. Infine, produrre campi magnetici lungo tutta la traiettoria di una particella non è sempre possibile, per motivi tecnici.

Q: OK mi sembrano degli ottimi motivi per non usare sempre questa tecnica. Cos'altro vi siete inventati?

A: Un'altra possibilità è far rilasciare tutta l'energia cinetica della particella, quella cioè legata al suo moto, all'interno di un oggetto e misurarla. Sbattendo infatti una particella contro un materiale abbastanza denso, la sua energia cinetica viene ceduta al materiale. La maggior parte dei materiali si riscalda e basta. Pensa a un martello che colpisce la testa di un chiodo: il martello si ferma (cioè perde la sua energia cinetica) e il chiodo si scalda. Ci sono però alcuni materiali che invece di scaldarsi (o meglio, oltre a scaldarsi) emettono un po' di luce.

Q: Ah, e come fanno?

A: Il caso più semplice da descrivere è quello dei "calorimetri", che sono dei rivelatori per elettroni e fotoni di alta energia. Quando i fotoni entrano dentro un materiale tendono a produrre un elettrone e la sua anti-particella (il positrone). A loro volta gli elettroni e i positroni prodotti, viaggiando dentro al materiale emettono dei fotoni, che nuovamente producono coppie elettrone-positrone e così via. Ad ogni suddivisione però l'energia dei fotoni diminuisce, perciò ad un certo punto gli elettroni e i positroni prodotti saranno così mosci che l'unica cosa che riusciranno a fare sarà strappare un elettrone dagli atomi del materiale. Se questo materiale è scelto in modo opportuno, gli atomi, nel riaggiustarsi dopo il colpo subito, emetteranno un po' di luce: tecnicamente si dice che "scintillano".

Morale della favola, se colpiti da fotoni o elettroni energetici alcuni materiali, detti "scintillanti", si illuminano in modo proporzionale all'energia della particella che li ha colpiti.

Q: Quindi fammi riassumere: per misurare l'energia di una particella la fate andare a sbattere contro un materiale scintillante e guardate quanto si accende?

A: In soldoni sì... in realtà in un tipico processo che intendiamo studiare vengono prodotte molte particelle, che sono intercettate da un gran numero di tasselli di materiale scintillante posti attorno al campione da osservare. I tasselli che sono colpiti da una particella si accendono, gli altri no. Come nel rivelatore a fili, noi non guardiamo direttamente questa luce perché è troppo debole, ma usiamo dei rivelatori, chiamati "fotomoltiplicatori", che emettono una corrente elettrica proporzionale alla luce raccolta. Quindi, alla fine della fiera, anche in questo caso abbiamo un'elettronica che ci dice quanta energia è stata depositata in ogni tassello. Sappiamo così dove sono andate le particelle e quanta energia avevano al momento di scontrarsi col materiale del rivelatore.

Q: Hmmm questo mi fa capire che in effetti le particelle che misurate non ci sono più dopo la misura.

A: Esatto: questa è una differenza sostanziale tra i tracciatori, come la camera a fili che ho descritto prima, e i calorimetri di cui stiamo parlando ora. I primi alterano pochissimo il moto delle particelle, mentre i secondi sono completamente distruttivi.

Q: Grazie per le spiegazioni. Quando hai cominciato a parlare di come osservare elettroni e protoni, immaginavo di poterli vedere all'interno degli atomi, mentre qui hai sempre parlato di particelle in movimento...

A: Hai ragione. Gli elettroni e i protoni che stanno dentro l'atomo non si vedono con le tecniche che ti ho descritto. D'altronde anche un uomo invisibile fermo non lascia una scia di impronte. La loro presenza però si può dedurre indirettamente, ed è così che sono stati scoperti. Se per esempio illumino degli atomi con una luce di lunghezza d'onda opportuna, posso vedere che gli atomi se la "mangiano", perché la sfruttano per cambiare orbita ai loro elettroni. Oggi giorno vedere quali lunghezze d'onda vengono mangiate dagli atomi permette di capire che atomi ci sono in un materiale.

Oppure, posso vedere che i nuclei degli atomi, se bombardati con elettroni di energia opportuna, li fanno rimbalzare in un modo che si spiega solo se i nuclei sono composti da particelle più piccole, come se fossero dei sacchetti pieni di palline...

Q: Ma allora mi potrai dire qualcosa su come si vede un bosone di Higgs.

A: Sì, ma per questo ci vuole un'altra puntata!

FINE