

FISICAST

S<sup>per</sup>X<sup>T</sup>

Il microscopico zoo  
delle particelle elementari

di

Riccardo Faccini



# **Il microscopico zoo delle particelle elementari**

*Riccardo Faccini*

## **Abstract:**

**Cosa saranno mai queste fantomatiche particelle elementari? Come si riconoscono? Di quanti tipi sono e come si comportano? Oggi FISICAST vi porterà per mano nel fantastico zoo delle particelle elementari per conoscere un mondo fatto di elettroni, quark e muoni che parlano tra loro con fotoni e gluoni: il nostro.**

## **INIZIO**

**Cosa saranno mai queste fantomatiche particelle elementari? Oggetti misteriosi o realtà con le quali abbiamo a che fare quotidianamente? Ce ne parla oggi Riccardo Faccini del Dipartimento di Fisica della Università "La Sapienza" di Roma.**

**Q: Ciao Riccardo, la prima cosa che colpisce di questa puntata è il titolo. Cosa intendi con "Il microscopico zoo delle particelle elementari"?**

A: Nel pensare il tema delle prossime puntate, mi sono venuti in mente molti argomenti interessanti e legati al mio lavoro. Per esempio: "come si vedono le particelle elementari" oppure "come funzionano le tecniche di diagnostica quali la radiografia, la PET o la scintigrafia"? Tutte tecniche che usano le particelle elementari come strumenti...

Però questi temi presuppongono che i nostri ascoltatori conoscano tutte le specie delle particelle elementari e ciò mi sembra un po' come guidarli attraverso le gabbie di uno zoo molto variegato.

**Q: Beh! Come temi mi sembrano molto interessanti, ma certo devi prima fare uno sforzo per dare delle basi di fisica delle particelle elementari ai nostri ascoltatori. È così difficile?**

A: Non credo, almeno al livello di questo podcast, anche perché si tratta di fenomeni che, almeno in parte, sono di esperienza quotidiana. Direi che ormai questo è diventato il motto di FISICAST!

**Q: Diciamo che la realtà attorno a me sta diventando sempre più piena di aspetti interessanti. Allora cominciamo; sono proprio curiosa di sapere come farai a sostenere che le particelle elementari sono parte della mia vita quotidiana!**

A: Bene, eccoti servita: di cosa è fatto il microfono che hai davanti a te?

**Q: Ad una persona normale direi che è fatto di metallo e plastica, ma visto che sei tu, mi lancio nei miei ricordi del liceo e dico che è fatto di atomi.**

A: Ottimo, e questi atomi sono particelle elementari?

**Q: Mi avvalgo della facoltà di non rispondere. Sono sicura che c'è un tranello. Non mi hai ancora definito cosa sia una particella elementare ...**

A: Giusto, vedo che il nostro corso intensivo di fisica e logica scientifica sta avendo effetto. Una particella è elementare se si comporta come se non fosse fatta di parti più piccole. Per capirci, immagina di avere un salvadanaio con delle monete all'interno.

Scuotendolo, sentiresti il suono delle monete che si muovono all'interno e colpendolo con sufficiente forza lo spaccheresti, rivelando i suoi componenti. Esso cioè si comporta come un oggetto composto. Se invece prendi una singola moneta, tutto questo non avviene, poiché non è composto di parti più piccole. Un oggetto così, lo chiamiamo "elementare".

**Q: Beh, la moneta si rompe comunque se colpita con sufficiente forza.**

A: Sì, perché nella realtà essa è composta di atomi per cui non è "elementare". Perché però si comporti come una particella elementare, devi immaginare che la moneta sia infinitamente piccola, un singolo pezzo del quale non esistono parti e che dunque non può rompersi. Una particella elementare infatti non si può spezzare; può al massimo decadere, cioè scomparire per trasformarsi in altre particelle (elementari o meno).

Ora che ti ho definito una particella elementare, non puoi esimerti dal rispondere: l'atomo è una particella elementare?

**Q: No, perché è a sua volta costituito da elettroni e nuclei, giusto?**

A: Esatto! L'atomo non è elementare. Infatti, la parola "atomo", che vuol dire "indivisibile", fu coniata dal filosofo greco Democrito, il quale aveva compreso che per spiegare le trasformazioni chimiche bisognava ipotizzare che la materia non fosse continua ma composta di corpuscoli non ulteriormente scomponibili; noi oggi sappiamo che gli atomi non sono elementari, ma composti da nucleo ed elettroni, ma il nome "atomo" è rimasto.

L'elettrone invece è davvero elementare: per quanto tu possa colpire un elettrone per tentare di spezzarlo, non ne usciranno mai dei costituenti (o almeno non ne sono usciti finora... aumentando l'energia dei colpi non sai mai quel che succede!).

E il nucleo? È elementare?

**Q: Allora ... tornando alle mie conoscenze liceali ... direi di no, è formato da protoni e neutroni.**

A: Perfetto, e protoni e neutroni, sono elementari?

**Q: Urca! Ricordo che a questo punto si parlava dei quark che li costituiscono ... ma poi non chiedermi se i quark sono elementari!**

A: Effettivamente ricordi benissimo: protoni e neutroni sono costituiti da quark di due tipi: "up" e "down". I due tipi differiscono per la carica elettrica, positiva per il tipo up e negativa per quello down. E questi sono, al netto delle conoscenze odierne, elementari.

**Q: Al netto delle conoscenze odierne? Vuol dire che non siete sicuri?**

A: Beh, in realtà non possiamo mai essere sicuri: una particella potrebbe non essere elementare, ma comportarsi come elementare nei nostri esperimenti se non abbiamo a disposizione abbastanza energia per romperla. Nell'esempio del salvadanaio, se il colpo che do è troppo debole, non ne percepisco in alcun modo il contenuto.

**Q: OK, però al momento credete che tutta la materia che ci circonda sia costituita da particelle elementari di tre tipi: il quark "up", il quark "down" e l'elettrone, giusto?**

A: Esatto, e le forze che li legano sono così forti che a noi gli oggetti che abbiamo in mano sembrano degli oggetti tutti interi, ma in realtà sono tutti costituiti da milioni di miliardi di miliardi di particelle elementari.

**Q: Quindi, se io avessi un microscopio sufficientemente potente, vedrei gli elettroni ed i quark dentro questo microfono?**

A: In realtà non è possibile usare il microscopio per vedere gli elettroni, ma ci sono altri strumenti di cui parleremo in una puntata apposita. Per quel che riguarda i quark, invece, essi sono così uniti insieme che non è possibile neanche concettualmente vederli da soli. Neutroni e protoni sono come dei salvadanai con tre soldi dentro ma durissimi da rompere. Tu senti che ci sono delle monete dentro, con tecniche raffinate (per esempio una radiografia se fatti di plastica) puoi vedere quante sono, ma non riesci mai ad avere le monete in mano. In realtà è ancora più interessante di così. Se li colpisci molto forte, allora ti possono scappar fuori degli altri piccoli salvadanietti (di forma e colore diverso) con dentro due monete: i "pioni" che sono formati da due quark. Questa caratteristica ha il nome tecnico di "confinamento".

**Q: Bene, ho capito che elettroni e quark sono particelle elementari che ho sempre vicino. C'è altro?**

A: Beh, innanzitutto c'è la luce, le onde radio, le micro-onde, e così via ... queste sono tutte forme diverse con cui si presenta la stessa particella elementare, il "fotone". Nota che la stessa particella costituisce sia il segnale che ti fa parlare al telefonino, che la luce che ti fa vedere gli oggetti, sia i raggi X usati per una radiografia. Su questo ci dovremo passare un'intera puntata.

**Q: Rispondi però per favore ad una domanda che mi attanaglia da tempo. Qual è la differenza tra la materia e la luce? La materia ha una sua consistenza, mentre la luce no. Direi che non hanno la stessa natura ...**

A: Effettivamente sono due cose ben distinte ed è molto importante rifletterci. La materia è fatta di elettroni e quark, oggetti che non sono facili da creare e che non si trasformano facilmente in qualcos'altro. Essi possono coesistere indefinitamente in atomi, oggetti stabili che danno quella sensazione di "consistenza". I fotoni, che

costituiscono la luce, hanno invece un ruolo diverso e sono molto più facili da creare e da far scomparire. Essi sono i "mediatori" della forza elettromagnetica.

### **Q: Oddio! E che vuol dire?**

A: Si insegna a scuola che due oggetti elettricamente carichi si attraggono se le loro cariche sono di segno opposto e si respingono se di segno uguale. Per esempio, viene tipicamente mostrato che se strofini un palloncino gonfiato sopra un panno di lana e poi lo avvicini a dei pezzettini di carta, questi ultimi ne sono attirati. Potresti verificare poi che se strofini due palloncini e li avvicini, essi si respingono.

A livello macroscopico diciamo che c'è stata una forza a distanza, che cioè si esercita anche se i corpi non si toccano. Se però si guarda il fenomeno a livello microscopico, due corpi carichi (per esempio due elettroni) interagiscono tra di loro, scambiandosi fotoni. Immagina due persone su una pista di pattinaggio su ghiaccio. Cosa succede se una delle due ha una palla (meglio se pesante) in mano e la lancia all'altro?

### **Q: Chi riceve la palla viene spinto indietro...**

A: Giusto! Ed inoltre, non essendoci attrito, chi lancia la palla parte nella direzione opposta a quella nella quale è andata la palla. Quindi i due pattinatori si comportano come particelle di carica uguale, si respingono. Se non vedessi la palla, direi che è una interazione a distanza, ma in realtà si sono scambiati la palla. Nella interazione tra due elettroni il ruolo della palla è fatto dai fotoni.

### **Q: Bello! Tornando alla mia domanda originaria, la differenza tra materia e luce è che la materia è stabile, mentre la luce è qualcosa che vive solo il tempo dello scambio?**

A: Alle energie in gioco alla temperatura ambiente, sì! Non c'è modo di creare o distruggere elettroni o quark con queste energie, quindi, semplificando molto, possiamo dire che la radiazione (nome più generale della "luce") si distingue dalla materia perché viene continuamente generata e riassorbita. E' questo il caso della luce di una lampadina che viene generata da elettroni in movimento, o da atomi eccitati, e viene riassorbita dal nostro occhio... ma di esempi ne potremo vedere moltissimi nelle prossime puntate.

Se poi vogliamo essere pignoli, per quel che riguarda la materia esistono sostanze che non sono stabili, ma si trasformano in altre emettendo particelle. Queste sono le sostanze radioattive, ma sono per fortuna molto rare e ne parleremo diffusamente nel futuro.

Ora però continuiamo la nostra carrellata di particelle elementari. Ce ne sono in particolare altre tre che ci colpiscono in continuazione.

### **Q: Mamma mia, che impressione! Da dove vengono?**

A: Vengono tutte dal cielo. Cominciamo dai "neutrini elettronici", che nascono dalle reazioni che producono la luce ed il calore nel sole. Veniamo pertanto bombardati di neutrini elettronici dal sole, però la maggior parte di loro attraversa, senza disturbare,

la terra. Essi sono infatti elettricamente neutri e dunque non hanno contatti né con la luce, per motivi che poi ti spiego, né con la materia ordinaria che è carica elettricamente.

**Q: OK, e poi?**

A: Ci sono i "muoni", che nascono nell'atmosfera quando i cosiddetti raggi cosmici (tipicamente protoni di alta energia provenienti da fuori la galassia) la urtano. Essi sono a tutti gli effetti la versione cicciona degli elettroni, essendo la loro massa circa 200 volte quella degli elettroni. E ne arrivano molti: pensa che al livello del mare ne arrivano cento ogni secondo in ogni quadrato di lato un metro!

**Q: Uh! E non ci fa male venir bombardati da queste particelle?**

A: In effetti essere colpiti da queste particelle comporta un irraggiamento così come la radiazione nucleare. Però la quantità se ne riceve con i muoni è estremamente piccola ed anche è stato mostrato che, se essa non ci fosse, la capacità degli organismi di reagire alle mutazioni genetiche sarebbe peggiore. Sembra quasi una sorta di "vaccino" alle mutazioni genetiche. Per chi passa molto tempo ad alta quota, per esempio in aereo, l'irraggiamento è maggiore e viene tenuto sotto controllo.

**Q: OK, ma tu dicevi che i tipi di particella che ci bombardavano dal cielo sono tre, ne manca una!**

A: Sì, perché, laddove si creano i muoni, nascono anche i corrispondenti "neutrini", particelle che si comportano come quelli che vengono dal sole, ma non sono le stesse. Questi neutrini si chiamano muonici, mentre quelli che vengono dal sole elettronici.

**Q: Aiuto, fammi riepilogare: la materia è fatta di elettroni e di quark up e down; la luce di fotoni e poi esistono i muoni ed i neutrini elettronici e muonici. Spero che abbiamo finito, perché la cosa mi sembra tutt'altro che elementare...**

A: Mi dispiace deluderti, ma siamo lontani dall'aver finito. Ora vengono delle particelle che esistevano nei primi istanti dell'universo quando tutto si muoveva ad altissima velocità e le energie in gioco erano dunque maggiori rispetto ad oggi.

**Q: E come fate a sapere cosa c'era all'inizio dell'universo? Come fate a vedere cosa è successo miliardi di anni fa?**

A: Riproducendo le condizioni in laboratorio. Per cominciare, fammi introdurre il concetto di antimateria. Per ogni particella esiste un compagno dotato di carica opposta. Perciò, oltre all'elettrone, esiste l'anti-elettrone, generalmente chiamato positrone, oltre al quark, l'anti-quark, e così via ...

Quando una particella si scontra con la sua antiparticella, le loro masse si trasformano in energia, vista l'equivalenza tra massa ed energia nella relatività speciale, equivalenza che sarà trattata in una prossima puntata di FISICAST. Da questa energia può venir fuori qualunque particella, a patto che ci sia abbastanza energia per produrla. In questo modo riproduciamo le condizioni che la cosmologia ci insegna esserci state subito dopo il big-bang.

**Q: Va bene, ci sono. E quali particelle vengono fuori in questi vostri esperimenti?**

A: Per prima cosa sono state osservate repliche "pesanti" delle particelle ordinarie. Oltre ai quark "up" esistono i quark "charm" e "top", mentre le repliche dei quark "down" sono i quark "strange" e "bottom".

**Q: È un caso, o per ogni particella mi hai menzionato due copie? È come se per ogni particella ci fosse una taglia small, medium e large?**

A: Sì, le particelle di materia sono tutte replicate tre volte, anche se solo quella "small" esiste stabilmente nel mondo odierno. Così anche gli elettroni esistono in versione "medium" (i muoni, di cui abbiamo già parlato) ma anche "large" (i "tau"), ed i neutrini sono di tre tipi: elettronico, muonico e tauonico. Il fatto che siano tutti replicati ed allo stesso modo è oggetto di studio da decenni da quella che si chiama "fisica del sapore".

**Q: E quali sono le repliche ingrossate dei fotoni?**

A: La radiazione non compare (almeno a tutt'oggi) in forma replicata. Però, per ogni tipo di forza esiste uno o più mediatori e questi si comportano come radiazione. Infatti, la forza elettromagnetica non è l'unico modo in cui delle particelle possono parlare.

**Q: Giusto, ricordo di aver studiato la forza elastica (quella che si sente quando si stira una molla ... giusto? ...), la forza gravitazionale, la forza di attrito ...**

A: Ehm ... apprezzo che ti sia lanciata ed i tuoi ricordi sono corretti. Però la forza elastica e la forza di attrito sono manifestazioni macroscopiche della forza elettromagnetica, sono cioè dovute alla forza elettromagnetica tra gli atomi che costituiscono la molla o i due corpi che si strofinano creando attrito. L'unica forza nuova che hai menzionato è la forza di gravità...

**Q: ... che dunque mi verrai a dire che è dovuta allo scambio di particelle tra oggetti pesanti.**

A: Esatto, a livello microscopico i corpi che si attraggono con forza gravitazionale si scambiano "gravitoni".

**Q: Urca! Ma mica si vedono particelle che fanno avanti e dietro tra me ed il pavimento!**

A: Certo! Come spiegheremo in una prossima puntata di FISICAST, per vedere una particella occorre che essa interagisca con la materia che la circonda. Va detto poi che i gravitoni, sebbene i teorici concordino sulla loro esistenza, non sono stati osservati neanche in laboratorio: è l'unica particella di cui parliamo oggi che manca all'appello.

**Q: Ma come fanno due corpi ad attrarsi lanciandosi oggetti? Nell'esempio che hai fatto qualche tempo fa, i due pattinatori si respingono!**

A: Giusto, la metafora utilizzata è intuitiva nel caso della repulsione, meno nel caso dell'attrazione. Per immaginarti come possa funzionare nel caso dell'attrazione, immagina che a scambiarsi la palla non siano due pattinatori sul ghiaccio, ma due

tennist. In questo caso i due rimangono vicini fintanto che si scambiano una palla, dopo di che si allontanano. Lo scambio della palla è un motivo per stare vicini, un legante tra i due.

**Q: OK, accetto anche l'esistenza anche dei gravitoni. Abbiamo finito l'elenco delle particelle?**

A: Ovviamente no. Non abbiamo ancora parlato di *forza debole* (quella per esempio che permette le reazioni che rendono il sole caldo e luminoso) e di *forza forte* (che tiene unito il nucleo degli atomi). I mediatori della forza debole si chiamano *bosoni W e Z*, mentre quelli delle forze forti *gluoni* e sono di otto tipi.

**Q: Fammi riepilogare: in natura ci sono elettroni, neutrini, quark "up" e "down", tutti replicati in tre taglie. E poi fotoni, gravitoni, bosoni W e Z e gluoni. Manca nulla?**

A: Mancherebbe il bosone di Higgs, ma su questa c'è già una puntata di FISICAST in rete. E, a meno che l'LHC di Ginevra non scopra nulla di nuovo, lo zoo delle particelle elementari è tutto qui.

**Q: Beh, non è poco!**

A: No, ma neanche troppo, dai! Se riesci a tenere a mente questo riassunto, ti possiamo parlare di molti altri argomenti nelle prossime puntate!

**FINE**