

## Tu che sei un fisico - Episodio 5

### TITOLO

*Perché nell'universo è fatto di materia? Dove è finita tutta l'antimateria?*

### SHOW NOTES

*Oggi parliamo di materia e di antimateria, e del perché il latte che bolle esce dalla pentola.*

*Ti piace "Tu che sei un fisico"? Lo consiglieresti a un'amica o un amico? Allora ti chiedo, se ti va, di condividerlo sui social, e soprattutto di lasciare una recensione sulla piattaforma che usi per ascoltarlo. È un modo semplice per permettere a "Tu che sei un fisico" di raggiungere ancora più ascoltatori. Grazie!*

*Mandami le tue domande a:*

*tucheseiunfisico@borborgimi.org*

*O anche su:*

*<http://www.twitter.com/tucheseiunfisi1>*

*<http://www.facebook.com/Tu-che-sei-un-fisico-103204041288333/>*

*<http://www.borborigmi.org/tu-che-sei-un-fisico>*

*Seguimi su:*

*<http://www.twitter.com/marcodelmastro>*

*<http://www.instagram.com/marcodelmastro>*

## SIGLA

Oggi parliamo di materia e antimateria, e del perché il latte che bolle esce dalla pentola.

### PERCHÉ C'È PIÙ MATERIA CHE ANTIMATERIA?

Cominciamo la puntata di oggi con una domanda legata alla fisica delle particelle, che viene da Renato. Renato mi scrive citando una frase di un articolo che ha letto su una rivista scientifica, che dice:

- Durante il Big Bang, circa 13,8 miliardi di anni fa, sia la materia sia l'antimateria avrebbero dovuto essere create in egual misura.

Renato mi chiede allora:

- Tu che sei un fisico, mi sai spiegare come facciamo ad avere questa certezza? Perché non dovrebbe essersi creata solo materia a partire dal Big Bang?

La domanda di Renato parte da un presupposto ragionevole. Nell'universo in cui ci troviamo a vivere, tutto sembra essere composto esclusivamente da particelle di *materia*: quark che formano protoni e neutroni, protoni e neutroni che formano nuclei atomici, nuclei atomici ed elettroni che formano atomi, atomi che formano molecole, molecole che formano composti complessi, e così via fino alla varietà di materiali che osserviamo ogni giorno, e che compongono tutto, dai gatti alle stelle. Perché mai allora dovrebbe esistere qualcosa che chiamiamo *antimateria*, che non vediamo da nessuna parte, se non forse prodotta per qualche brevissimo attimo in qualche remoto processo cosmico, o nel profondo dei nostri laboratori?

Prima di provare a rispondere a questa domanda, cerchiamo prima di capire che cosa sia l'antimateria. Per farlo, lasciatemi raccontarvi la storia di un'equazione.

Siamo nel 1928, e i fisici stanno cercando di conciliare la meccanica quantistica, la bizzarra teoria che descrive il comportamento degli oggetti microscopici come le particelle elementari, con la relatività ristretta, la teoria di Einstein che descrive gli oggetti che si muovono a velocità vicine a quelle della luce. Siccome le particelle elementari si muovono sovente a velocità elevatissime, deve essere possibile scrivere un'equazione che metta insieme i due mondi. Il fisico inglese Paul Adrien Maurice Dirac, PAM per gli amici, riesce a derivare un'equazione che sembra conciliare le due teorie. La sua equazione, che è veramente elegante, come vi confermerà chiunque abbia un po' di competenze di matematica, descrive infatti il comportamento di un elettrone che viaggia a velocità prossime a quella della luce.

L'equazione di Dirac è un gran successo per la fisica teorica dell'epoca, ma ha una caratteristica matematica che insospettisce i colleghi di Dirac, e, almeno inizialmente, lo stesso

PAM. Si tratta infatti di un'equazione che ha *due* soluzioni. Cosa significa che un'equazione ha due soluzioni?

Vi faccio un esempio con la matematica che si studia alle scuole medie. Immaginate di dover calcolare la radice quadrata di 4. La soluzione a questa equazione è il numero 2, perché 2 per 2 fa 4. Esiste però una seconda soluzione al problema, ed è il numero negativo -2. È infatti anche vero che anche -2 per -2 fa 4! Quale delle due soluzioni è quella corretta? Lo sono entrambe! Si tratta di uno di quei casi per cui una certa relazione matematica è soddisfatta da più di una ipotesi.

Le soluzioni dell'equazione di Dirac sono degli oggetti matematici più complessi di un singolo numero - sono funzioni che descrivono il comportamento di una particella di materia - ma la struttura matematica dell'equazione assomiglia a quella di una radice quadrata. Dirac si accorge che può trovare due soluzioni per la sua equazione, due oggetti matematici che si assomigliano in tutto e per tutto, tranne che per un segno, un po' come il numero 2 assomiglia al numero -2. Una delle due soluzioni descrive un normale elettrone, con un valore positivo della sua energia. L'altra, invece, sembra parlare di un elettrone con energia... negativa!

All'epoca, molti colleghi di Dirac decidono di ignorare questa seconda soluzione, liquidandola come un "artefatto matematico" che niente ha a che fare con la realtà fisica. Anche Dirac inizialmente esita - e se ne pentirà in seguito dandosi persino del codardo - ma poi la sua profonda convinzione che struttura intima dell'universo sia matematica ha la meglio. La sua equazione *deve* essere corretta in entrambe le soluzioni: se funziona tanto per un normale elettrone con energia positiva, che per un fantomatico elettrone con energia negativa, questo fantomatico secondo elettrone dalle strane proprietà deve esistere!

Nel 1929 Dirac pubblica un secondo articolo, in cui spiega che il secondo elettrone con energia *negativa* predetto dalla sua equazione può essere interpretato come una particella con carica elettrica opposta a quella dell'elettrone che tutti conoscono. Dirac inizialmente pensa che questa particella possa essere il protone, ma gli fanno rapidamente notare che le implicazioni di questa ipotesi sono catastrofiche (se la seconda soluzione dell'equazione di Dirac fosse veramente il protone, l'atomo di idrogeno, composto da un protone e da un elettrone, sarebbe instabile). Nel 1931 Dirac pubblica allora un terzo articolo, in cui trova finalmente il coraggio di sostenere che la seconda soluzione della sua equazione deve essere una particella nuova mai vista prima, battezzata in quell'occasione anti-elettrone.

Non bisogna aspettare troppo perché la natura venga a dargli ragione. Nel 1932, Carl Anderson osserva, nelle fotografie della sua camera a bolle, le tracce di particelle che si comportavano come elettroni, ma hanno carica elettrica *positiva*. L'editor del giornale che pubblica l'articolo di Anderson pensa bene di battezzare la nuova particella appena scoperta *positrone*, ed il nome resta. La prima particella di antimateria era stata scoperta. Dirac vincerà il premio Nobel per la fisica nel 1933, Anderson nel 1936.

L'esistenza dell'antimateria sembra dunque essere una conseguenza delle proprietà di simmetria dell'universo. E questa simmetria si manifesta in un fenomeno peculiare. Quando una particella di antimateria incontra la sua particella di materia corrispondente - per esempio, quando un positrone incontra un elettrone - avviene un fenomeno che si chiama *annichilazione*. Le due particelle di antimateria e di materia si fondono e spariscono. Tutta la loro energia e la loro massa viene convertita in energia, dando vita a una particella senza massa e senza carica elettrica che chiamiamo *fotone*, che è il granello fondamentale del campo elettromagnetico, e che potete pensare come a una particella di luce. Per riprendere la metafora della radice quadrata che abbiamo usato prima, è un po' come se il 2 e il -2, che erano le soluzioni della nostra equazione iniziale, quando si incontrano si sommano danno origine a uno 0.

La simmetria delle equazioni che descrivono l'esistenza di materia e antimateria è pressoché perfetta. Ecco perché, come diceva Renato nel preambolo alla sua domanda, per ogni particella di materia dovrebbe esistere nell'universo una particella di antimateria corrispondente, per ogni elettrone un positrone, per ogni protone un antiprotone, e così via. Sta di fatto invece che noi osserviamo un universo sostanzialmente riempito di materia, dove l'antimateria sembra essere sparita.

C'è qualcosa di ancora più curioso nascosto dietro alla simmetria tra materia e antimateria, e alla capacità che queste hanno di annichilirsi. Se all'inizio dell'evoluzione dell'universo fosse stata presente un'identica quantità di materia e di antimateria, come sembrerebbero dirci le equazioni, primo o poi ogni particella di materia avrebbe incontrato la sua antiparticella corrispondente, e le coppie si sarebbero annichilite lasciando al loro posto un fotone. A forza di interagire, l'universo si sarebbe svuotato di ogni particella di materia e di antimateria, restando unicamente riempito di granelli di luce, di radiazione elettromagnetica.

E, di fatto, oggi noi osserviamo un universo sostanzialmente vuoto e riempito di radiazione elettromagnetica. Per qualche ragione che non comprendiamo bene, sembra però che all'inizio della sua evoluzione, ci fosse nell'universo un poco più di materia che di antimateria. Quando dico "un poco più di materia", intendo dire circa una particella di materia in più per ogni miliardo di particelle: per ogni miliardo di positroni, c'erano all'inizio dei tempi un miliardo ed un elettrone. La maggior parte della materia si è annichilita con l'antimateria, un miliardo di elettroni ha incontrato un miliardo di positroni lasciando al loro posto un miliardo di fotoni, più un elettrone ramingo in eccesso. E quel piccolissimo rimasuglio di elettroni e protoni, in un universo altrimenti riempito di radiazione elettromagnetica, ha dato vita ai primi atomi idrogeno, che hanno formato le prime stelle, nel cuore delle quali tutti gli altri elementi sono stati sintetizzati, e da cui si sono formate tutti i composti, inclusi quelli da cui siamo formati voi ed io.

La vera domanda che ci resta è dunque: perché all'inizio dell'evoluzione dell'universo c'era una minuscola frazione in più di materia che di antimateria? Da dove viene questa minima asimmetria, che non si vede nelle nostre equazioni per altri versi così potenti e capaci di descrivere il funzionamento del mondo? Questa è una domanda per la quale al giorno d'oggi abbiamo fatto svariate ipotesi, ma per cui, di fatto, non abbiamo ancora nessuna vera risposta.

## CALL TO ACTION

Prima di passare alla seconda domanda, permettetemi di chiedervi un favore. Vi piace “Tu che sei un fisico?”. Lo consigliereste a un’amica o un amico? Allora vi chiedo, se vi va, di lasciarmi una recensione sulla piattaforma che usate per ascoltarlo. I sistemi di distribuzione come Apple Podcast promuovono di preferenza i podcast che ricevono un sacco di valutazioni positive, un mucchio di giudizi a 5 stelle. Lasciarmi il vostro giudizio è un modo semplice per permettere a “Tu che sei un fisico” di raggiungere ancora più ascoltatori. Grazie!

E ora, torniamo alla fisica, questa volta in cucina...

## PERCHÈ IL LATTE CHE BOLLE SCAPPA DALLA PENTOLA?

La seconda domanda di oggi arriva da Elisa, che chiede:

- Tu che sei un fisico, mi sai dire perché quando il latte bolle viene su e l’acqua no? E perché se metto il sale nel latte ci mette più tempo a bollire?

Cominciamo dall’acqua. L’acqua pura bolle a 100 gradi centigradi a livello del mare, ovvero a una pressione che corrisponde a una atmosfera. Quando la pressione diminuisce, la temperatura di ebollizione dell’acqua diminuisce. Salendo in altitudine, per esempio in montagna, l’acqua bolle a una temperatura inferiore. Per esempio, in montagna a 2000 metri, l’acqua bolle a 93 gradi centigradi. La cosa è potenzialmente problematica se stiamo facendo bollire l’acqua per cuocere qualche cosa, per esempio una pastasciutta, perché alcune delle reazioni chimiche e modificazioni fisiche necessarie alla cottura ottimale avvengono a temperature definite.

In maniera analoga, l’aggiunta di sale all’acqua ne cambia la temperatura di ebollizione, aumentandola. Ecco perché ci va più tempo per portare a ebollizione dell’acqua salata: la temperatura da raggiungere è superiore.

Veniamo allora al latte. Sebbene sia liquido come l’acqua, il latte non è un liquido puro. A seconda del tipo, il latte è composto da circa l’80% di acqua, il 5% di proteine, 5% di zuccheri, e circa il 10% di grasso. Chiaramente queste percentuali possono cambiare se consideriamo un latte intero o uno scremato, ma servono a darvi un’idea.

Quando scaldiamo il latte, la componente di grasso, che è più leggera dell’acqua, tende a venire in superficie. Allo stesso tempo l’acqua nel latte si trasforma in vapore acqueo formando delle bollicine. Quando scaldiamo dell’acqua pura, queste bollicine salgono in superficie e sfuggono nell’atmosfera. Nel caso del latte, invece, rimangono intrappolate sotto lo strato superficiale di grasso, formando una schiuma che, a forza di scaldare, aumenta di dimensione

in modo anche drammatico, finendo spesso per tracimare dalla pentola. Come faccio per evitare questo disastro? Mi vengono in mente due soluzioni “della nonna”. Posso tenere bassissima la fiamma, in modo che la formazione delle bollicine di vapore sia molto lenta, e alcune riescano a scappare, magari anche mescolando il latte di tanto in tanto per rompere la schiuma prima che diventi troppo invadente. Oppure posso mettere sopra la pentola un cucchiaino di traverso, contro il quale la schiuma di “scontri” salendo, rompendosi e permettendo al vapore acqueo di sfuggire. Questo secondo sistema è potenzialmente pericoloso e non funziona sempre - parlo per esperienza! - per cui usatelo a vostro rischio e pericolo.

Infine, la questione del sale. L’acqua salata all’interno del latte salato bolle a una temperatura superiore, cosa che spiega perché anche il latte salato ci mette più tempo a bollire.