

FISICAST

SxT
per

**Radioattività,
tra pregiudizi e realtà**

di

Giovanni Vittorio Pallottino



Radioattività: tra pregiudizi e realtà

Giovanni Vittorio Pallottino

Abstract:

Sulla radioattività tutti pensano di saperne qualcosa, ma la maggior parte delle conoscenze sono pregiudizi che vorremmo tentare di sfatare, affrontando l'argomento in modo scientifico. Ne parliamo con Giovanni Vittorio Pallottino, già docente del dipartimento di fisica della Sapienza e autore del libro "La radioattività intorno a noi- Fra pregiudizi e realtà".

INIZIO

Parliamo di radioattività con Giovanni Vittorio Pallottino, già docente del dipartimento di fisica della Sapienza e autore del libro "La radioattività intorno a noi - Fra pregiudizi e realtà". Quasi tutti oggi hanno sentito parlare di radioattività, in particolare associata alle centrali nucleari e agli incidenti avvenuti.

Q: Cosa possiamo dire di utile a Fisicast sull'argomento?

A: Come dici tu e come chiarisce il titolo del mio libro, sulla radioattività tutti pensano di saperne qualcosa, ma la maggior parte delle conoscenze sono pregiudizi che vorrei tentare di sfatare, affrontando l'argomento in modo scientifico. E non credo che basterà una sola puntata.

Q: Benissimo, allora cominciamo. Cosa è realmente la radioattività?

A: Diciamo subito che non si tratta di un diabolico ritrovato, una invenzione di scienziati pazzi, come molti credono. Perché tratta di un fenomeno naturale, da sempre intorno a noi. Che però i fisici hanno scoperto soltanto poco più di un secolo fa, nel 1896, quando si trovò che un minerale di uranio poteva impressionare una lastra fotografica racchiusa in una busta opaca. Ed è anche un fenomeno alquanto singolare. Perché riguarda materia che, come vedremo più avanti, emette spontaneamente energia nella forma di radiazioni, cosa che non rientra per nulla nell'esperienza comune. E anche perché sovverte l'idea dell'immutabilità dei costituenti elementari della materia, idea antichissima che risale ai greci Leucippo e Democrito e al romano

Lucrezio. Si constata infatti l'esistenza di atomi particolarissimi, gli atomi radioattivi, che, essendo instabili, si trasformano spontaneamente in atomi di altre specie; realizzando così quelle trasmutazioni della materia che gli alchimisti avevano cercato invano per secoli. Peccato però non quella del piombo in oro, che sarebbe stata molto gradita a noi tutti.

Q: Ma che cosa succede effettivamente quando un atomo radioattivo si trasforma in qualcos'altro?

A: Più precisamente, quello che si trasforma è il nucleo dell'atomo, che è fatto di protoni, dotati di carica elettrica, e di neutroni, che come dice il loro nome sono particelle neutre. Questo processo di trasformazione è chiamato decadimento radioattivo. Ora l'identità di un atomo come elemento chimico dipende dal numero di protoni contenuti nel suo nucleo, che è chiamato numero atomico e che ne stabilisce la posizione nella tavola periodica. Quindi se cambia il numero dei protoni del nucleo, cambia anche la natura chimica dell'atomo e si ha la trasformazione da un elemento a un altro. Questo avviene, per esempio, quando nel decadimento un neutrone del nucleo si trasforma in un protone, con l'emissione di un elettrone, come è necessario perché la carica elettrica resti invariata. Ma la cosa importante che succede nei processi di decadimento è l'emissione di energia.

Importante perché questa energia, emessa sotto forma di radiazioni, è veramente parecchia. Tipicamente un milione di volte maggiore dell'energia liberata nel corso di una reazione chimica, per esempio nelle reazioni di combustione.

Q: Ma da dove proviene tutta questa energia?

A: Proviene dal fatto che la massa totale del nucleo trasformato e delle particelle emesse nel decadimento è un po' minore di quella del nucleo prima del decadimento. Ed è proprio questa differenza di massa, questa massa perduta, che si trasforma in energia secondo la famosa equazione di Einstein, $E = mc^2$, dove E l'energia che si libera, è la massa persa nella trasformazione, come si è detto, e c la velocità della luce. E siccome la velocità della luce è molto grande, la scomparsa di una piccola quantità di massa provoca la liberazione di una grande quantità di energia nella forma appunto di radiazioni.

Q: Ecco che finalmente si parla delle famigerate radiazioni! Di cosa si tratta esattamente?

A: A seconda dei casi, per farla semplice, si tratta di elettroni (o di antielettroni) oppure di nuclei di elio sparati a gran velocità, che sono generalmente accompagnati da fotoni gamma, cioè da quanti di energia simili a quelli che costituiscono la luce visibile ma molto più energetici. Seguendo una tradizione che risale ai primi studi sulla radioattività, quando non era ancora nota la natura di queste radiazioni, esse sono denominate alfa, beta e gamma. Le alfa sono nuclei di elio, costituiti da due protoni e due neutroni legati assieme e quindi hanno carica elettrica positiva. Le beta sono elettroni con carica negativa oppure antielettroni con carica positiva, e sono molto più leggere delle alfa. Infine, le gamma,

come si è detto, sono fotoni e quindi sono prive di massa e di carica elettrica.

Q: A parte la loro massa e la loro carica elettrica, c'è qualcosa che distingue i tre tipi di radiazioni dal punto di vista pratico?

A: Una distinzione molto importante riguarda il cosiddetto potere penetrante delle diverse radiazioni, cioè la capacità di attraversare la materia prima di essere assorbite. Semplificando, le particelle meno veloci si fermano prima. E allora quelle meno penetranti sono le alfa, perché sono molto più massicce delle altre radiazioni e quindi assai più lente a parità di energia, ricordando che l'energia di una particella dipende dalla sua massa moltiplicata per la sua velocità al quadrato. E infatti per fermare le particelle alfa basta la pelle o un foglio di carta.

Q: Immagino allora che le radiazioni beta, molto più leggere delle alfa in quanto costituite da elettroni, e le gamma, prive addirittura di massa, siano assai più penetranti. O mi sbaglio?

A: Non ti sbagli affatto: è proprio così. Infatti, per bloccare le beta, cioè gli elettroni, occorrono materiali più densi della carta e spessori maggiori, per esempio qualche millimetro di alluminio. E le radiazioni gamma, prive di massa, sono ancora più penetranti; per bloccarle occorrono grandi spessori di cemento (decine di centimetri) o di piombo (alcuni centimetri). Con spessori tanto maggiori quanto più energetiche sono queste radiazioni.

Q: Ma quando è che un atomo radioattivo si trasforma emettendo radiazioni?

A: Se consideriamo un singolo atomo radioattivo e ne seguiamo la vicenda non possiamo dire assolutamente nulla, salvo che è intrinsecamente instabile e quindi prima o poi si trasformerà. Questo perché l'atomo decade quando pare a lui, in modo del tutto imprevedibile, affidato al caso, e per di più non vi è alcun modo di provocarne il decadimento oppure di impedirlo. La cosa interessante, invece, avviene quando non si considera un singolo atomo, ma una certa quantità di atomi, per esempio un chilogrammo di potassio-40, che è una specie radioattiva piuttosto comune in natura. Man mano che passa il tempo, alcuni di questi atomi decadono e dopo un certo tempo, chiamato tempo di dimezzamento, si trova che se ne è trasformata la metà. Cioè di potassio-40 ne rimane mezzo chilo mentre il restante si è trasformato in mezzo chilo di atomi di calcio, prodotti dal decadimento. Quando poi è trascorso un altro tempo di dimezzamento, la quantità di potassio-40 si dimezza ulteriormente e così via. Quindi, cosa affascinante, il decadimento radioattivo dipende al tempo stesso dal caso e dal determinismo di una ferrea legge matematica, una legge esponenziale a decrescere. Cioè appunto una legge matematica per cui in successivi intervalli di tempo uguali il numero di atomi radioattivi sopravvissuti al decadimento si riduce sempre di uno stesso fattore.

Q: Un momento, qui le cose si complicano. Che vuol dire potassio-40?

A: Si tratta di una specie radioattiva che costituisce una piccola frazione del potassio che si trova in natura, circa un atomo su diecimila.

Q: E che significa il 40 appeso al potassio?

A: Questo è il numero di massa della specie atomica, che indica il numero totale di protoni e neutroni che ne costituiscono il nucleo. Di tutti gli elementi chimici esistono infatti varie specie, solo alcune radioattive, ciascuna delle quali ha un diverso numero di massa. Ecco perché si parla, ad esempio, di uranio-235 o di uranio-238 e così via. È con questi numeretti che si distinguono le diverse specie, o isotopi, dell'uranio. O di qualsiasi altro elemento.

Q: E quanto si deve aspettare perché una popolazione di atomi radioattivi si dimezzi. Cioè quant'è il tempo di dimezzamento?

A: Il tempo di dimezzamento è diverso per ogni diversa specie atomica. Il potassio-40 ha un tempo di dimezzamento di 1,25 miliardi di anni, quindi praticamente la frazione di potassio-40 non cambia durante la vita di una persona. Altre specie hanno tempi di dimezzamento di frazioni di secondo, di secondi, di minuti, di ore, di giorni, di anni. Una delle specie più longeve è il rubidio-87, con quasi 50 miliardi di anni, tre volte l'età dell'Universo e oltre dieci volte quella della Terra. Questa è una specie primordiale, perché proviene dalla materia che si è messa assieme per formare il nostro pianeta.

Q: Tornando alle radiazioni prodotte dalla radioattività, qual è il loro effetto sulla materia?

A: Quando le radiazioni interagiscono con la materia il loro effetto è un vero e proprio sconvolgimento, sia pure estremamente localizzato. Abbiamo detto prima che la loro energia è molto maggiore di quella prodotta da una reazione chimica. E quindi è molto maggiore anche dell'energia che lega gli elettroni ai nuclei degli atomi, in particolare gli elettroni più esterni. Si capisce allora che l'effetto più vistoso delle radiazioni è quello di strappare elettroni agli atomi che incontrano sul loro cammino cioè, come si dice, di ionizzarli, trasformandoli in ioni, ossia atomi privati di uno o più elettroni. Questo effetto di ionizzazione si presta molto bene a rivelare le radiazioni, come è stato detto nella puntata "Vedere le Particelle Elementari". Ricordiamo qui che un gas, che normalmente è elettricamente neutro, quando viene ionizzato dal passaggio di una radiazione diventa un conduttore di elettricità. E allora applicando al gas una tensione si produce una scarica elettrica che viene rivelata facilmente: ogni tic di un contatore Geiger, per esempio, corrisponde al passaggio di una singola particella ionizzante. E qui va sottolineata l'estrema sensibilità di questi strumenti nella rivelazione della radioattività. Cosa che rende relativamente facile rivelare la presenza di sostanze radioattive, mentre l'individuazione delle sostanze chimiche inquinanti richiede analisi specifiche assai più elaborate.

Q: Un esempio pratico degli effetti della radiazione sulla materia?

A: Ne faccio due. Il primo riguarda le memorie RAM usate nei calcolatori, dove ciascun bit di informazione è rappresentato dalla presenza o dall'assenza di carica elettrica nei minuscoli condensatori che le costituiscono, che possiamo immaginare come tante scatoline in grado di immagazzinare carica elettrica. Qui la ionizzazione prodotta dal passaggio di una particella alfa può modificare lo stato di carica di un elemento di memoria alterando così l'informazione. E per questo nella lettura di queste memorie si utilizzano speciali codici in grado di correggere gli errori. Un altro esempio riguarda gli effetti sulla materia vivente, dove la rottura dei legami chimici provocata dalle radiazioni crea danni alterando la costituzione delle molecole biologiche, fra cui il DNA. In realtà questi fenomeni avvengono assai di frequente in modo naturale anche in assenza di radiazioni e ad essi pongono rimedio vari meccanismi naturali di riparazione. Ma se la radiazione è molto intensa, questi meccanismi possono risultare inefficaci e il danno resta, con il rischio che possa condurre allo sviluppo di un tumore.

Q: Come si valuta la radioattività di qualcosa? Si può rappresentare con qualche numero?

A: La radioattività di una certa quantità di materia si valuta considerando il numero dei suoi atomi che si trasformano ogni secondo. L'unità di misura di questa grandezza si chiama becquerel dal nome dello scopritore della radioattività. Per fissare le idee, prendiamo una comune banana di medie dimensioni. Ogni secondo circa 15 dei suoi atomi decadono emettendo radiazioni, e allora diciamo che la sua radioattività ammonta a 15 becquerel.

Q: Mamma mia...che tipo di radiazioni emette?

A: Nel 90% dei casi è radiazione beta che attraversa circa un centimetro di corpo umano prima di fermarsi. Ma nel 10% dei casi è radiazione gamma molto penetrante. In ogni caso, la banana è solo un esempio, non una eccezione: tutto il cibo è radioattivo, per il potassio-40 e gli altri atomi radioattivi che contiene. La radioattività di una bella bistecca con patate, per fare un altro esempio è di circa 150 becquerel. Ma questi livelli sono tutt'altro che pericolosi. Le norme di sicurezza europee, per esempio, indicano che per la carne la soglia di pericolosità è di 600 becquerel al chilogrammo, che è anche parecchio cautelativa.

Q: Ma allora anche il nostro corpo è radioattivo?

A: Certamente. In una persona di corporatura media, 70 chilogrammi, si trasformano circa ottomila atomi ogni secondo, in gran parte atomi del potassio-40 che assumiamo con il cibo, e quindi si tratta di ottomila becquerel di radioattività. E quanto è radioattivo un neonato? Il calcolo è facile, in proporzione al peso, ma lo lasciamo a chi ci ascolta.

Q: E le dosi di radioattività di cui a volte si parla? Hanno a che fare con i becquerel?

A: Le dosi di radioattività hanno certamente a che fare con i becquerel, ma non sono la stessa cosa. I becquerel rappresentano la radioattività di qualcosa come numero di atomi che decadono emettendo radiazioni. La dose, invece, rappresenta quanta della radiazione emessa viene assorbita da qualcos'altro. Più precisamente, per dose s'intende l'energia assorbita da una certa quantità di materia rapportata alla sua massa. E quindi si misura in unità di energia, cioè joule, al chilogrammo: questa unità di misura si chiama sievert.

Q: A quali dosi di radioattività siamo esposti normalmente? Quali sono i livelli pericolosi?

A: La dose media annua a cui siamo sottoposti in Italia è di 4,5 millesimi di sievert, 3,3 dei quali dovuti alla radioattività naturale, il restante a quella artificiale, in particolare derivante dalla cura della salute: diagnostica medica e terapia. Precisando che qui in Italia sono assolutamente trascurabili i contributi, dovuti agli esperimenti militari nucleari del passato e agli incidenti nucleari di Chernobyl e Fukushima. Va detto invece che vi sono grandi differenze fra un luogo e l'altro: a Viterbo e a Napoli, per esempio, la dose dovuta alla radioattività naturale è cinque volte maggiore che ad Aosta. E queste differenze sono ancora maggiori nelle diverse parti del mondo: nello stato indiano del Kerala, per esempio, la dose di origine naturale è di 16 millesimi di sievert, cinque volte maggiore che in Italia. Senza però che si siano registrati problemi per la salute delle popolazioni esposte a questi livelli.

Q: Ma sui livelli pericolosi non ci hai detto nulla. Vogliamo parlarne?

A: Allora veniamo al punto, che è parecchio delicato. Il pericolo maggiore riguarda l'assorbimento a breve di forti dosi, come può avvenire nel caso di gravi incidenti, con il rilascio di sostanze radioattive che non si riesce a confinare adeguatamente. In tal caso gli effetti delle forti dosi di radiazioni si manifestano poco dopo l'esposizione. I primi sintomi si osservano per dosi attorno a mezzo sievert, con nausea, vomito e riduzione dei linfociti, con effetti però reversibili. Dosi ancora maggiori portano a emorragie e forte indebolimento del sistema immunitario, con conseguenze sempre più pesanti all'aumentare della dose. Dosi attorno a 5-10 sievert risultano poi mortali. Ma accanto a questi effetti, che si manifestano nel giro di ore o giorni dall'esposizione, ve ne sono altri, più subdoli, che consistono nell'aumento della probabilità di sviluppare un tumore, cosa che può avvenire dopo anni o addirittura decenni.

Q: Mi accorgo ora che non abbiamo detto nulla sulla faccenda delle centrali nucleari e degli incidenti. Vogliamo parlarne adesso?

A: Direi di no, perché si tratta di un argomento al quale è necessario dedicare un minimo di spazio se si vuole andare oltre a qualche frase fatta poco istruttiva. E del resto ci sarebbe anche parecchio da dire sugli impieghi utili della radioattività. Non soltanto nella diagnostica medica e nella terapia dei tumori, ma anche nella datazione di reperti archeologici,

nell'agricoltura e nell'industria. Ragione per cui rimandiamo questi discorsi a puntate future.

FINE