

# ATOMI, POSITRONI, ANTIMATERIA E P.E.T.

Dispensa del 4 aprile 2008, elaborata da Leone Montagnini, in occasione del corso di “Neuropsicologia e Neuroscienze” AA 2007/08 tenuto da Alfredo Brancucci presso la Facoltà di Filosofia di Roma “La Sapienza”.

©Leone Montagnini

## *L'atomo*

Ad una prima approssimazione un atomo può essere descritto come costituito da un nucleo centrale composto di protoni, che hanno carica positiva, e di neutroni, che hanno carica nulla ma massa circa uguale a quella dei protoni. Per indicare genericamente protoni o neutroni si parla di nucleoni. Intorno al nucleo girano gli elettroni, dotati di una massa molto piccola se paragonata a quella di un nucleone e con la stessa carica elettrica del protone, ma di segno negativo. Normalmente gli atomi hanno tanti elettroni quanti protoni e sono perciò elettricamente neutri. Se gli elettroni sono in eccesso, l'atomo sarà detto ione negativo, se in difetto sarà detto ione positivo.

## *Un atomo è contraddistinto da:*

- 1) Un *numero atomico*  $Z$ , cioè il numero di protoni contenuti nel nucleo, che in un atomo non ionizzato corrisponde anche al numero di elettroni. Per esempio l'Ossigeno ha  $Z = 8$ . Gran parte delle caratteristiche chimiche dell'atomo dipendono da  $Z$ , in quanto sono strettamente correlate al comportamento degli elettroni (specialmente di quelli più esterni) ed in particolare alla loro capacità di formare legami con altri atomi.  $Z$  individua il posto occupato dall'atomo nella tavola periodica, sulla base del suo comportamento chimico.
- 2) Un *numero di neutroni*  $N$ . I neutroni servono in qualche modo da collante nel nucleo, che essendo costituito solo da cariche dello stesso segno (positivo come si è detto) altrimenti esploderebbe sotto l'azione della forza elettrostatica dei protoni.
- 3) Un numero di *massa atomica*  $A$ , che è dato dalla somma del numero dei protoni e del numero dei neutroni. Dunque si avrà  $A = Z + N$ .

## *Isotopi e radio-isotopi*

Per uno stesso elemento (cioè per un atomo con lo stesso  $Z$ ), il numero di neutroni può variare. Si parla perciò di isotopi, cioè di atomi che occupano lo stesso posto nella tavola periodica e che condividono gran parte delle caratteristiche chimiche, ma che hanno diverso peso atomico. Una notazione utile è quella di porre il numero  $A$  come indice alla sinistra in alto accanto alla sigla che indica l'elemento (contraddistinto dunque da un unico numero atomico  $Z$ , che a volte si pone a pedice sempre a sinistra e a volte si omette). Oppure si dà il nome dell'elemento seguito dal numero  $Z$  (ad esempio “Uranio 235”, che è l'Uranio con  $A = 235$ , cioè 235 nucleoni).

Dal numero di neutroni, in rapporto al numero di protoni dipende almeno in parte il fatto che l'isotopo sia stabile o meno. Va detto tra parentesi che l'instabilità di un nucleo e quindi la sua tendenza ad emettere (o in alcuni casi a catturare) radiazioni o particelle non dipende solo dal rapporto tra neutroni e protoni: un nucleo infatti può trovarsi per qualche motivo in uno stato di eccitazione energetica che lo rende instabile. Usualmente un atomo instabile tende, dopo un tempo più o meno lungo, ad emettere radiazioni o particelle per raggiungere la stabilità.

Quando un atomo emette particelle o radiazioni si dice radioisotopo. Ci sono in natura numerosi radioisotopi, che sono isotopi instabili che decadono lentamente. Ci sono poi radioisotopi artificiali, prodotti cioè dall'uomo (per esempio con centrali nucleari o con acceleratori), che decadono molto velocemente.

Un elemento può anche avere diversi isotopi stabili. Per esempio l'isotopo dell'Ossigeno ( $Z=8$ ) più diffuso in natura ha 8 neutroni, dunque il numero di massa atomica  $A$  è 16 e si indica come  $^{16}\text{O}$ . Ci sono inoltre piccole percentuali di  $^{17}\text{O}$  e di  $^{18}\text{O}$ . Sono tutti e tre isotopi stabili. C'è però un ossigeno artificiale  $^{15}\text{O}$  che è instabile ed è radioattivo (decade emettendo positroni dopo qualche ora dalla sua formazione).

Non raramente accade che il risultato del decadimento di un atomo instabile dia luogo ad un atomo con un diverso numero di protoni  $Z$ , dunque ad un altro elemento chimico (fenomeno denominato “trasmutazione”). Per esempio – per restare nel campo delle emissioni di positroni – il Carbonio ( $Z=6$ ) ha un isotopo instabile, il Carbonio 11 ( $^{11}\text{C}$ ), con 6 protoni e 5 neutroni. Esso emette un positrone più un neutrino e trasmuta divenendo Boro 11 ( $^{11}\text{B}$ ), cioè un elemento con 5 protoni e 6 neutroni.

### *Le principali forme di radiazione*

Da un nucleo instabile possono provenire almeno 5 tipi di radiazioni, dette ionizzanti perché ionizzano parte dei materiali (o dei tessuti) attraverso cui passano. Esse sono:

- 1) Radiazioni  $\alpha$ , che sono atomi di elio ( $^4\text{He}$ ) delezionizzati di provenienza nucleare.
- 2) Radiazioni  $\beta$  negative, formate da elettroni negativi provenienti dal nucleo.
- 3) Radiazioni  $\beta$  positive, formate da elettroni positivi (o positroni) provenienti dal nucleo.
- 4) Radiazioni di neutroni.
- 5) Radiazioni  $\gamma$ , che sono onde elettromagnetiche (dunque si può parlarne anche come di fotoni) con altissima energia.

Sono considerati ionizzanti anche i raggi X, che non sono particelle ma onde elettromagnetiche ad alta energia e che originano dallo spostamento degli elettroni più interni della corteccia elettronica. La stessa origine, ma da elettroni più esterni, hanno i raggi ultravioletti, la luce visibile, i raggi infrarossi che sono onde elettromagnetiche senza potere ionizzante, con lunghezza d’onda via via più grande. Ad esse vanno aggiunte le micro-onde e le onde radio, con lunghezza d’onda ancora più ampia.

### *Emissione $\beta$ positiva: il positrone*

Si definisce “positrone” o “elettrone positivo” una particella subatomica che possiede la stessa massa dell’elettrone, e carica uguale in grandezza, ma di segno positivo. La sua esistenza fu ipotizzata da Dirac nel 1930-31 per tenere conto di questioni di bilancio energetico emergenti dalla verifica sperimentale della sua teoria relativistica dell’elettrone e fu poi osservato nel 1932 da Carl David Anderson nei raggi cosmici.

Una delle normali fonti di produzione di positroni è il decadimento  $\beta$  positivo. Dopo aver emesso il positrone accade che l’atomo abbia un protone in meno ed un neutrone in più. Come si è detto, ad esempio, il Carbonio 11 dopo aver emesso un positrone trasmuta in Boro 11. (Si noti che da una emissione  $\beta$  negativa, cioè – come detto – da un’emissione di un elettrone negativo proveniente dal nucleo, invece, risulta un atomo con un protone in più ed un neutrone in meno; per esempio l’Idrogeno 3 emette un elettrone + un antineutrino e diviene Elio 3).

Un positrone sarebbe stabile se si trovasse isolato, ma quando si scontra con un elettrone negativo (ciò che accade in condizioni normali dopo  $10^{-7}$  a  $10^{-10}$  secondi) dà luogo alla cosiddetta annichilazione: cioè il positrone e l’elettrone scompaiono ed in loro luogo si ha la formazione di una radiazione  $\gamma$  costituita da due fotoni, che si allontanano l’uno dall’altro in verso opposto su una retta. L’energia radiante risultante è pari alla quantità  $E = mc^2$  dove  $m$  è pari alla somma della massa dell’elettrone e quella del positrone. Ogni annichilazione produce due fotoni gamma ciascuno di energia 0.5 MeV (se si desiderano calcoli più accurati si vada al sito <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>). Può accadere anche il fenomeno inverso: la formazione cioè di una coppia di elettrone-positrone a partire da una radiazioni  $\gamma$  di opportuna energia.

### *L’antimateria*

Il positrone è stato la prima anti-particella ad essere scoperta. In seguito, si è scoperto che quasi tutte le particelle subatomiche avevano la loro antiparticella, cioè particelle dotate della stessa

massa ma carica di segno opposto. Così si hanno anche antiprotoni e persino antineutroni che, sebbene elettrostaticamente neutri hanno un momento magnetico opposto ai neutroni ordinari. Nel 1995 i fisici del CERN hanno creato il primo anti-atomo: un anti-idrogeno costituito da un antiprotone intorno al quale girava un positrone. Hanno ottenuto ciò mediante collisioni di protoni e antiprotoni in gas Xenon, ottenendo coppie di protoni e antiprotoni, e coppie di elettroni e positroni, ed è accaduto che alcuni positroni fossero catturati dagli antiprotoni producendo anti-idrogeno. Ciascun antiatomo è vissuto circa  $40 \times 10^{-9}$  (miliardesimi) di secondo. In seguito gli esperimenti sono continuati ottenendo una maggiore quantità di anti-idrogeno. Per un aggiornamento sulle ricerche sull'antimateria del CERN si veda l'esperimento ATHENA. Si è ipotizzato che esistano intere galassie formate da antimateria, molto lontane da quelle di materia ordinaria (<http://athena.web.cern.ch/athena/>)

#### *La Positron emission tomography (PET).*

La PET è una tecnica che utilizza radioisotopi in grado di emettere radiazioni  $\beta$  positive (cioè positroni) che vengono somministrati al soggetto, un rivelatore di raggi  $\gamma$  che viene posto intorno alla zona da studiare, e tecniche informatiche per analizzare le informazioni ottenute.

In sostanza il radioisotopo arriva sul target, produce un positrone il quale quasi immediatamente incontra un elettrone negativo, la coppia positrone-elettrone annichilisce sparando due fotoni gamma sulla stessa retta con verso opposto. È proprio quest'ultimo fatto che costituisce l'interesse massimo di questa metodica, in quanto i due fotoni consentono di stabilire con esattezza il punto in cui è avvenuta l'annichilazione, che considerata la brevissima vita del positrone, coincide in pratica col punto in cui è avvenuto il decadimento  $\beta$  positivo. I radioisotopi  $\beta$  positivi - Carbonio 11, Ossigeno 15, Azoto 13, Rubidio 82, l'Azoto 13 - avendo vita media molto breve, possono essere solo di origine artificiale (vengono prodotti generalmente con l'impiego di ciclotroni).

Per studiare un determinato fenomeno fisiologico, generalmente si individua una molecola che viene metabolizzata dalla funzione che ci interessa e la si marca, cioè si sostituisce un radioisotopo  $\beta$  positivo al posto dell'isotopo stabile contenuto in essa. Nella PET cerebrale si usa prevalentemente il  $^{18}\text{F}$ -fluorodesossiglucosio ( $^{18}\text{F}$ -FDG) (cioè il fluorodesossiglucosio marcato con Fluoro 18), essendo il fluorodesossiglucosio una molecola molto simile a quella del glucosio la metodica permette di studiare il metabolismo di quest'ultimo. Per lo studio del flusso sanguigno si usa l'ossigeno 15 ( $^{15}\text{O}$ ).

In cardiologia si usa la Vitamina A palpitato marcata con carbonio 11 ( $^{11}\text{C}$ ) per studiare il metabolismo dei lipidi, mentre l'acetato marcato sempre con carbonio 11 è usato per studiare il metabolismo del flusso sanguigno nel miocardio.

#### Fonti consultate

Per la parte relativa alla Fisica Atomica si è fatto ricorso principalmente a:

- (1) Enrico Persico, *Gli Atomi e la loro energia*, Bologna, Zanichelli, 1975.
- (2) *Britannica97 CD (copyright 1996)*, voci "Positron", "Antimatter", "Beta decay".
- (3) Sito dell'esperimento Athena presso il CERN: <http://athena.web.cern.ch/athena/>.
- (4) Home Page della prof.ssa Cristiana Peroni del Dipartimento di Fisica Sperimentale, Università di Torino. <http://www.to.infn.it/~peroni>.

Per la parte di radiodiagnostica si è fatto ricorso principalmente a:

- (5) Home Page del Master di primo livello "Verifiche di Qualità, Radiodiagnostica, Medicina Nucleare e Radioterapia", INFN, Dipartimento di Fisica Università di Salerno, in particolare le lezioni del Prof. D.Verreggia docente di "Tecnologie e tecniche di imaging medico nucleare". <http://mastermediradio.sa.infn.it/index.asp>.
- (6) Sito "Il Portale dei Tecnici Sanitari Radiologia Medica", <http://www.akisrx.com>.
- (7) Giuseppe Vallar, *I metodi di indagine sull'uomo*, in Carlo Umiltà (cur.), *Manuale di neuroscienze*, Bologna, Il Mulino, 1995, pp. 429-474, in particolare par. 8.3.