

## Oltre l'Atomo: lo spazio interno

Ai primi del 1800 i fisici chiamarono "atomo" (dal greco *átomos*, indivisibile) particelle che "indivisibili" non erano....  
 "Quando si tratta di atomi, il linguaggio può essere usato solo come si fa nelle poesie" Niels Bohr.

1801	John Dalton (UK, 1766-1844)	Precursore della teoria atomica: "un atomo è la più piccola parte di un elemento che mantiene le caratteristiche chimiche di tale elemento". [1] gli atomi sono indivisibili; [2] gli atomi di uno stesso elemento sono tutti uguali tra loro; [3] gli atomi di elementi diversi si combinano tra loro dando così origine a composti; [4] gli atomi non possono essere né creati né distrutti; [5] gli atomi di un elemento non possono essere convertiti in atomi di altri elementi. 1801, formula la legge delle pressioni parziali di una miscela di gas 1808, tavola dei primi pesi atomici stimati. (lui e il fratello non distinguevano bene il rosa dal celeste, la patologia fu detta: daltonismo).
1825	Robert Brown (UK, 1773-1858)	da botanico osserva al microscopio il moto disordinato di piccoli pollini (aventi diametro dell'ordine del micrometro) presenti in fluidi o sospensioni fluide
1897	J. Josef Thomson (UK, 1856-1940) [Nobel 1906]	Scopre l' <b>elettrone</b> , particella subatomica dotata di una carica elettrica negativa fondamentale: l'atomo non è indivisibile! più esattamente scopre che tutti gli elettroni hanno lo stesso rapporto carica-massa propone il <b>modello atomico "plum-pudding"</b> in cui gli elettroni sarebbero dispersi all'interno dell'atomo come l'uvetta nel panettone.
1895	Wilhelm Röntgen (De, 1845-1923) [primo Nobel per la fisica 1901]	Scopre i raggi X, detti anche raggi Röntgen, <b>come la luce</b> , i raggi X si muovono in linea retta, impressionano il materiale fotografico e non vengono deflessi da campi elettrici o magnetici; <b>a differenza della luce</b> i raggi X non sembrano soggetti alla riflessione e alla rifrazione e per molti anni non fu chiaro se si trattasse di onde o di particelle. I raggi furono usati in medicina, per ionizzare i gas e portarono alla scoperta di una altra radiazione di un tipo molto più enigmatico.
1898	Marie Curie Marya Skłodowska (PL, 1867-1934) [Nobel per la fisica 1903] [Nobel per la chimica 1911]	Scopre la radioattività di un elemento che chiamò Polonio ( ${}_{84}\text{Po}$ ), in riferimento alla patria di Marie, e di un elemento che fu denominato Radio ( ${}_{88}\text{Ra}$ ) e soltanto nel 1902 analizzato e collocato nella tavola periodica degli elementi. Fu il marito Pierre a misurare la sorprendente emissione di energia dal radio: un grammo di radio era in grado di riscaldare 1,33gr di acqua dal punto di congelamento fino alla ebollizione in un'ora e sembrava che questa attività non avesse fine in aperta violazione del principio di conservazione dell'energia. Marie e il marito rimasero entrambi vittime della radiazioni che avevano studiato, i suoi quaderni di laboratorio sono tuttora così radioattivi che vengono conservati in una cassaforte foderata di piombo e spostati soltanto occasionalmente con accurate misure di sicurezza.
1896	Ernest Rutherford (NZ, 1871-1937) [Nobel per la chimica 1908]	il "padre" della fisica nucleare, individua una carica positiva estremamente piccola (il nucleo dell'atomo) – studia il decadimento radioattivo. Nel 1896, sotto la supervisione di J.J.Thomson, scopre che i raggi X di Röntgen sono una forma di luce di minore lunghezza d'onda e scopre che le radiazioni emessa dagli elementi radioattivi sono di tre tipi che lui chiamò: <b>-radiazione ALFA:</b> ha un breve raggio di azione e può essere arrestata da un pezzo di carta o da qualche centimetro d'aria. Successivamente scoprì che i raggi alfa sono flussi di particelle sostanzialmente identici ad un atomo di elio privo di due elettroni. <b>-radiazione BETA:</b> ha un raggio di azione e una capacità di penetrazione molto maggiore, oggi sappiamo che i raggi beta sono flussi di elettroni dotati di alta energia cinetica. <b>-radiazione GAMMA:</b> una forma di radiazione elettromagnetica di elevata energia, con lunghezza d'onda minore dei raggi X. Riconosce che durante un processo che libera radiazioni, oggi noto come decadimento radioattivo, un atomo si converte in un diverso elemento seguendo una regola secondo la quale una frazione ben definita di atomi decade in un certo tempo. Nel caso del Radio ( ${}_{88}\text{Ra}$ ) in 1602 anni metà degli atomi saranno decaduti in atomi di gas radon ( ${}_{86}\text{Rn}$ ) in seguito all'emissione di particelle alfa, nei successivi 1602 anni, metà degli atomi rimanenti, un quarto del campione originario, decadranno e così via.
1911		<b>1911 modello atomico "planetario":</b> le cariche positive sono addensate in un nucleo centrale attorno al quale velocissimi "ruotano" gli elettroni, per non cader nel nucleo <sup>1</sup>
1920		1920 battezza " <b>Protone</b> ", (dal greco antico <i>prōton</i> , che significa "primo") la particella subatomica dotata di carica elettrica positiva, già identifica prima da altri fisici
1901	Max Planck (De, 1858-1947) [Nobel 1918]	Nel 1901 Planck passò dall'ipotesi alla teoria quantistica, secondo la quale gli atomi assorbono ed emettono radiazioni in modo discontinuo, per "quanti" di energia, cioè quantità di energia finita e discreta. In tal modo anche l'energia può essere concettualmente rappresentata, come la materia, sotto forma granulare: i quanti sono appunto come granuli di energia indivisibili.
1905	Albert Einstein (De, 1879-1955) [Nobel 1921]	Scioglie gli ultimi dubbi sul fatto che <b>gli atomi sono reali</b> -Calcola il numero di Avogadro con elevata precisione, -migliore stima delle dimensioni delle molecole di acqua: circa $10^{-9}$ m -la materia è una forma di energia, $E=mc^2$ -la radiazione e.m. può espellere elettroni da un pezzo di metallo (effetto fotoelettrico) -quanti di luce (Nobel 1921): quando un oscillatore (=atomo) emette o assorbe

<sup>1</sup> egli non teneva conto del fatto che l'elettrone, essendo una particella carica in moto, tende a perdere energia nella sua rotazione e quindi dovrebbe cadere sul nucleo, carico positivamente, prima o poi. E non è possibile ipotizzare una analogia con i pianeti in orbita attorno al Sole dove l'attrazione gravitazionale è controbilanciata dalla forza centrifuga perché una carica elettrica che accelera irraggia energia sotto forma di onde e.m. e, perdendo energia in questo modo un elettrone "in orbita" attorno al nucleo vi collaserebbe in tempi molto brevi.

		<p>radiazione e.m. lo fa in unità discrete multiple di <math>E=hf</math>, dove <math>f</math> è la frequenza della radiazione emessa o assorbita e <math>h=6,57 \times 10^{-27}</math> J·s è la costante di Plank.</p> <p>“... quando un raggio luminoso uscente da un punto si propaga, l'energia non si distribuisce in modo continuo in uno spazio via via più grande; essa consiste invece in un numero finito di quanti di energia, localizzati in punti dello spazio, i quali si muovono senza dividersi e possono essere assorbiti e generati solo nella loro interezza”.</p> <p>Questa frase segna l'inizio della <b>rivoluzione quantistica</b></p>
1909 1917	Robert Millikan (USA, 1868-1953) [Nobel 1923]	<p>Con l'esperimento della goccia d'olio, misura con precisione il valore della carica dell'elettrone <math>e=1,602 \times 10^{-19}</math> C</p> <p>Conferma l'esistenza dei quanti di luce, “a dispetto della loro irragionevolezza”</p>
1913	Francis Aston (UK, 1877-1945) [Nobel per la chimica 1922]	<p>grazie all'utilizzo del suo spettrografo di massa, individua varietà atomiche di molti elementi non radioattivi che battezza <b>ISOTOPI</b></p>
1913	Niels Bohr (Dn, 1885-1962) [Nobel 1922]	<p>Primo <b>modello quantistico dell'atomo</b>: un elettrone può emettere soltanto quanti di energia, uno alla volta, e ciò corrisponde ad un salto da un'orbita ad un'altra;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-non è possibile che gli elettroni cadano a spirale verso il nucleo.</li> <li>-in ciascuna orbita c'è posto solo per un certo numero di elettroni</li> <li>-un elettrone non può saltare su un'orbita inferiore se questa è occupata</li> <li>-non vi sono orbite intermedie</li> <li>-gli elettroni più vicini al nucleo non possono saltarvi sopra (la spiegazione arriverà solo 10 anni più tardi)</li> <li>-ciascun salto di un elettrone da una orbita ad un'altra inferiore corrisponde all'emissione di un ben definito quanto di energia e ad una precisa lunghezza d'onda della luce; se un grande numero di atomi identici, ad es. un campione di gas idrogeno, irraggia in questo modo, i quanti (=fotoni) si sommeranno producendo una riga luminosa nello spettro in corrispondenza di quella lunghezza d'onda. Se invece dell'energia fosse stata assorbita da un campione di materia, gli elettroni salterebbero da una orbita permessa ad una altra più distante dal nucleo.</li> </ul>
1921	James Chadwick * (UK, 1891-1974) [Nobel 1935]	<p>Individua la <b>forza nucleare “FORTE”</b></p> <p>la forza nucleare forte o interazione forte tiene unito il nucleo, è circa cento volte più intensa di quella elettrica (di fatto non esistono nuclei stabili con più di un centinaio di protoni) ed ha un raggio di azione limitato a circa <math>10^{-15}</math> m, le dimensioni di un atomo, ed è inavvertibile oltre (è una forza che non obbedisce alla legge dell'inverso del quadrato)</p>
1925	Louis De Broglie (Fr, 1892-1987) [Nobel 1929]	<p>Propose l'idea che, proprio come le onde elettromagnetiche potevano essere descritte in termini di particelle, così le particelle materiali, come gli elettroni, potessero essere descritte in termini di onde.</p> <p>Propose due equazioni per i quanti di luce: <math>E=hf</math> e <math>E=pc</math> da cui segue <math>h=p\lambda</math> cioè Il prodotto della quantità di moto di una “particella” per la sua lunghezza d'onda è pari alla costante di Planck; questa è valida per le particelle in senso tradizionale anche per gli elettroni. <b>Ogni corpo ha natura duale ONDA-PARTICELLA</b>, ma l'aspetto ondulatorio degli oggetti sensibili è impercettibile. Il carattere ondulatorio diventa importante solo quando la massa di un corpo è paragonabile alla costante di Planck.<sup>2</sup></p>
1926	Arthur Compton (USA, 1892-1962) [Nobel 1927]	<p>Prova definitiva dell'esistenza dei <b>FOTONI</b></p> <p>Scopre “l'effetto Compton”, un fenomeno di <i>scattering</i> interpretabile come un urto elastico (cioè uno scambio di quantità di moto) tra un fotone ed un elettrone.</p>
1926	Gilbert Newton Lewis (USA, 1875-1946)	<p>Chiama “<b>FOTONI</b>” i quanti di luce</p>
1926	Erwin Schrödinger (Au, 1887-1961) [Nobel 1933]	<p>Propone una equazione d'onda per gli elettroni, elabora un modello matematico interamente basato sulle onde</p>
1927	Werner Eisenberg (De, 1901-1976) [Nobel 1932]	<p>elabora un modello matematico per descrivere il comportamento degli elettroni negli atomi mettendo al centro la concezione corpuscolare e i salti quantici da un livello energetico a quello contiguo. <b>Principio di indeterminazione</b>: dualismo onda-particella: certe coppie di proprietà quantistiche come la posizione e la quantità di moto non possono mai essere simultaneamente definite con precisione: se in un esperimento si sceglie di misurare la posizione si rinuncia alla possibilità di misurare la quantità di moto e viceversa; il margine di incertezza è correlato alla costante di Plank infatti questi aspetti si avvertono solo su scale estremamente piccole.</p> <p>Quando un elettrone è “in orbita” attorno al nucleo, la sua quantità di moto è determinata con precisione dalle proprietà dell'orbita e quindi l'incertezza deve riguardare la posizione. Si potrebbe descrivere un elettrone come un'onda che si propaga lungo l'orbita.</p> <p>L'elettrone non può cadere nel nucleo perché in tal modo la sua posizione e la sua quantità di moto sarebbero entrambe determinate. Si potrebbe anche dire che il nucleo è troppo piccolo affinché l'onda associata all'elettrone ci stia dentro. (<i>l'atomo è stabile, ma non assomiglia a quello proposto da Bohr</i>)</p> <p>Effettuando il calcolo con gli appropriati valori numerici, e la quantità di moto appropriata per un elettrone in un atomo, si trova che le dimensioni della più piccola orbita elettronica in un atomo sono le minime possibili senza violare il principio di indeterminazione. Le dimensioni stesse degli atomi e perfino la loro esistenza sono determinate dal “principio di indeterminazione” della meccanica quantistica.</p>
1932	Chadwick *	<p><b>identificazione del neutrone</b></p> <p>In una serie di esperimenti si osservò che il berillio (<math>{}^4\text{Be}</math>) e il Boro (<math>{}^5\text{B}</math>), bombardati con particelle alfa, espelleva particelle neutre e che queste a loro volta espellevano protoni (nuclei di idrogeno) dalla paraffina (materiale ricco di atomi di idrogeno) ne misurò la massa e trovò che era leggermente più grande di quella del protone. <math>m_n=1,6749 \times 10^{-27}</math> kg</p>

<sup>2</sup> Ciò significa che non abbiamo alcuna speranza di capire cosa sia un elettrone in termini della nostra esperienza quotidiana esso non assomiglia a nulla che abbiamo mai visto, tutto ciò che possiamo sperare di fare è di trovare delle equazioni che ci dicano come gli elettroni si comportano in date circostanze, a volte come onda a volte come particelle  
saveriocantone.net

1933	Paul Dirac (UK, 1902-1984) [Nobel 1933]	predice l'esistenza di un elettrone positivo. Propone una equazione d'onda per l'elettrone che soddisfa pienamente i requisiti della teoria della relatività ristretta, stranamente però l'equazione aveva due soluzioni e quindi essa sembrava descrivere una particella dotata di proprietà opposte a quelle dell'elettrone compresa quella di avere una carica positiva.
1933	Carl Anderson (1905-1991) [Nobel 1936]	Studiando i raggi cosmici, individua particelle che chiamò POSITRONI, in pratica individua gli anti-elettroni <b>esiste l'antimateria</b>
1933	Wolfgang Pauli (Au, 1900-1958) [Nobel 1945]	intuizione o anche "invenzione" del <b>NEUTRINO</b> , il neutrino sarà rilevato sperimentalmente solo nel 1956
1933	Enrico Fermi (It, 1901-1954) [Nobel 1938]	Individua la <b>forza nucleare "DEBOLE"</b> la forza nucleare debole o interazione debole è una forza a breve raggio di azione la quale può far sì che un neutrone decada in un protone più un elettrone più un'altra particella priva di carica che chiamò NEUTRINO (nel senso di piccolo neutrone). Propone un modello matematico che indica con chiarezza come si distribuisce l'energia degli elettroni emessi durante il decadimento beta che era in accordo con gli esperimenti. La conferma sperimentale della sua esistenza si ebbe solo nel 1956, infatti nel 1933 non esistevano reattori nucleari. Per farsi un'idea della difficoltà di questa impresa sperimentale, si pensi che se un fascio di neutrini passasse attraverso una parete di piombo dello spessore di 3000 anni luce, soltanto la metà delle particelle verrebbe catturata dai nuclei di piombo durante il cammino.
1937	George P. Thomson [Nobel 1937]	dimostra che gli <b>elettroni sono onde</b> , 31 anni dopo che il padre, J.J.Thomson, aveva dimostrato che gli elettroni erano particelle, e avevano ragione entrambi....
2015	Takaaki Kajita e Arthur McDonald [Nobel 2015]	scoperta delle oscillazioni del neutrino che mostrano che il <b>neutrino ha massa</b>

#### OSSERVAZIONI:

**Raggio atomico** (=raggio di un atomo non legato a nessun altro atomo): l'atomo con il raggio atomico più piccolo è l'atomo di elio (posizionato in alto a destra nella tavola periodica e avente raggio atomico di 49 pm), mentre uno degli atomi più grandi è l'atomo di cesio (posizionato in basso a sinistra e avente raggio atomico di 334 pm). Queste dimensioni sono migliaia di volte più piccole della lunghezza d'onda della luce (da 400nm per la luce viola fino a 700nm per la luce rossa) e per tale ragione gli atomi non possono essere rilevati attraverso un microscopio ottico.

Le **dimensioni del nucleo atomico** sono 10.000 volte più piccole delle dimensioni di un atomo. Se il nucleo fosse sferico e grande come una pallina da ping-pong ( $r=2\text{cm}$ ) l'atomo che lo contiene sarebbe grande come tutto lo stadio Olimpico ( $r=200\text{m}$ ). La proporzione tra la materia solida e lo spazio vuoto in un atomo è circa 1 su  $10^{12}$ , un milionesimo di milionesimo; se potessimo dividere lo spazio occupato da un atomo in un milione di parti, in una sola di queste parti avremmo una probabilità su un milione di incontrare il nucleo, il rimanente è spazio VUOTO, tutti gli oggetti che noi diciamo solidi sono composti da atomi e dunque da una quantità di spazio vuoto un milione di milioni di volte maggiore dello spazio occupato dalla materia; tali quantità infinitesimali di materia sono tenute insieme da forze che agiscono come invisibili, ma potentissime molle. *(la natura non ha affatto "Horror vacui" come ipotizzava Aristotele)*

	protone	neutrone	elettrone	neutrino
massa	$m_p=1,6726 \times 10^{-27}$ kg	$m_n=1,6749 \times 10^{-27}$ kg	$m_e=9,109 \times 10^{-31}$ kg	$m=8,9 \times 10^{-38}$ kg
carica	$e=1,602 \times 10^{-19}$ C	0	$e=1,602 \times 10^{-19}$ C	0

#### CONCLUSIONI:

A questo punto della storia abbiamo da considerare 4 particelle: il protone, il neutrone, l'elettrone e il neutrino con le rispettive antiparticelle e 4 forze fondamentali: elettromagnetiche, gravitazionali, nucleari forti e nucleari deboli. Questo è sufficiente per spiegare tutto ciò che è percepibile dai nostri sensi. Esclusi gli effetti che, attraverso la radioattività, ha su di noi la forza nucleare debole, quasi tutto nel mondo umano dipende dalle interazioni degli elettroni tra di loro, con i nuclei carichi positivamente degli atomi e con la radiazione elettromagnetica. Tali interazioni sono governate dalle leggi della meccanica quantistica, che furono connesse in una teoria completa della luce (radiazione elettromagnetica) della materia negli anni '40. Questa teoria è nota come ELETTRONICA QUANTISTICA o QED (=Quantum ElectroDynamics).

Ancora oggi si discute di cosa tutto ciò significhi in realtà, ma **ai nostri fini è sufficiente dire che la meccanica quantistica funziona nel senso che è in grado di fare previsioni che sono confermate dagli esperimenti.**

Quando due particelle cariche, ad esempio due elettroni, oppure un elettrone ed un protone, interagiscono, si può pensare che lo facciano mediante lo scambio di fotoni. È questo scambio di fotoni a produrre la repulsione che si manifesta conformemente ad una legge dell'inverso del quadrato, legge che deriva in modo naturale dalla QED. Le forze nucleari forte e debole possono essere descritte in termini analoghi di scambio di particelle simili al fotone; si pensa che anche la gravità dovrebbe essere descritta mediante lo scambio di particelle, chiamate *gravitoni*, sebbene non sia ancora stato elaborato un modello completo della gravità quantistica.

Nella seconda metà del XX secolo, sondando l'interno del nucleo e studiando gli eventi ad alta energia servendosi di giganteschi acceleratori di particelle, i fisici svelarono un mondo di particelle subatomiche e scoprirono che protoni e neutroni possono essere considerati composti da oggetti detti *quark*, tenuti insieme dallo scambio di entità analoghe ai fotoni e che la forza nucleare debole è soltanto una manifestazione esteriore dell'attività di questa forza più profonda...