

# ATOMI E QUANTI

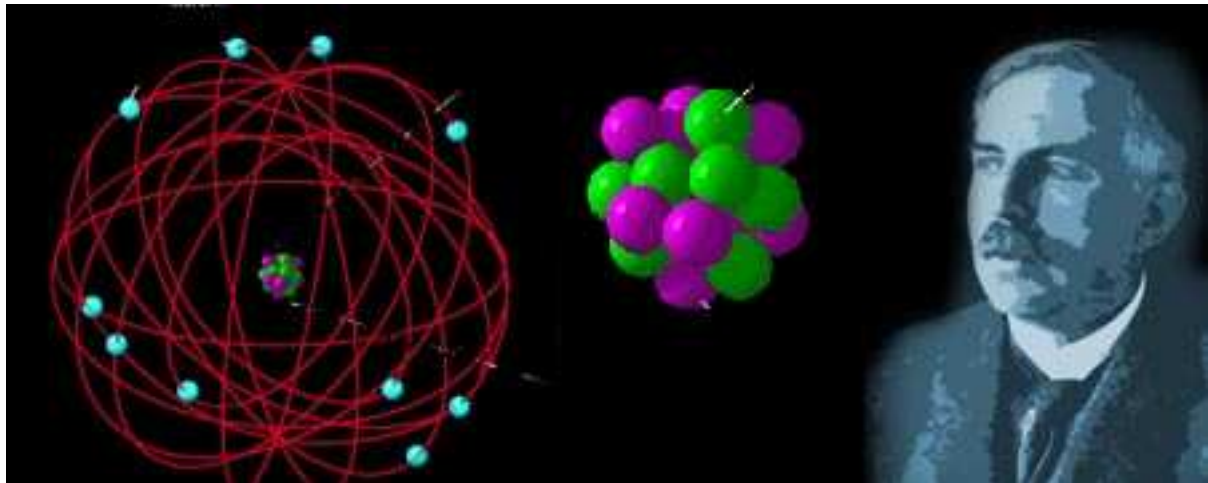


*Un secolo fa la comprensione dell'universo fisico era di tipo empirico.  
La meccanica quantistica ci ha fornito una teoria della materia e questa conoscenza ha  
trasformato il nostro universo.*

di  
**Donata Allegri**

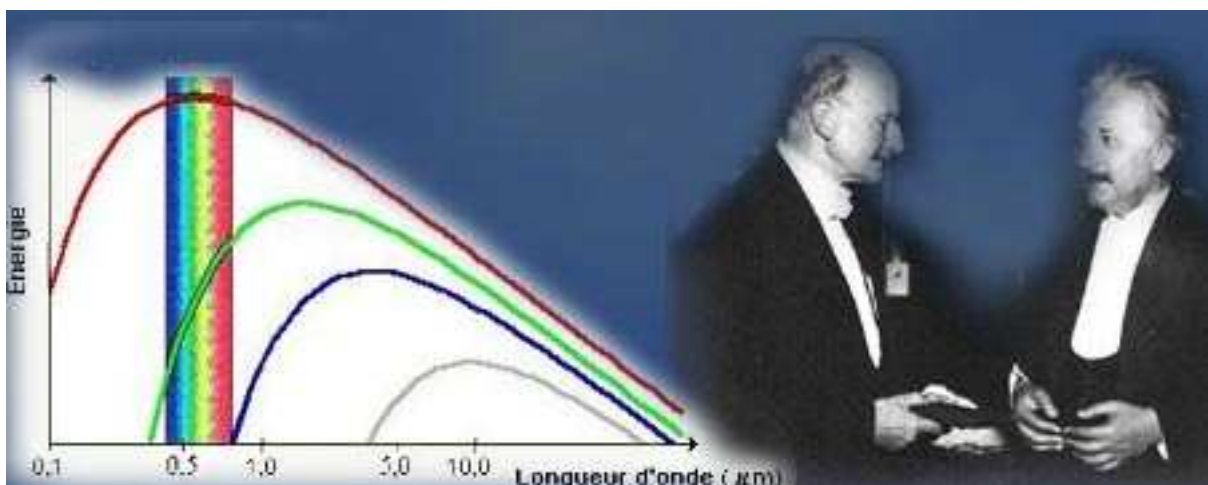
[www.ilcrocevia.net/innovazioni](http://www.ilcrocevia.net/innovazioni)

**Ottobre 2004**



Lo studio dell'atomo, da un punto di vista razionale iniziò nel 1911 quando Rutherford propose per struttura di esso un modello planetario (chiamato così per la rassomiglianza con un sistema di pianeti ruotanti intorno ad un astro) e che segnò l'inizio delle moderne speculazioni nel campo della fisica e della chimica. Secondo Rutherford l'atomo era costituito:

- Da un nucleo centrale dove risiede quasi tutta la massa dell'atomo e nel quale sono presenti cariche positive in numero costante per ogni specie atomica. (sistema periodico degli elementi).
- Da elettroni ruotanti attorno al nucleo (ogni elettrone è costituito da una carica negativa) in numero uguale a quello delle cariche positive presenti nel nucleo, il sistema atomo è nel suo complesso elettricamente neutro.



## Atomi e Quanti - Donata Allegri – Ottobre 2004

Le basi della meccanica quantistica furono poste dal fisico tedesco Max Planck il quale, nel 1900, ipotizzò che l'energia venisse emessa o assorbita dalla materia sotto forma di piccole unità indivisibili chiamate appunto quanti.

Dal 1890 al 1900 nelle riviste di fisica vi erano numerosi lavori sugli spettri atomici e su ogni altra proprietà misurabile della materia ma le descrizioni riassuntive delle proprietà della materia erano empiriche, vi erano numerose pagine di dati sugli spettri con valori precisi per le lunghezze d'onda degli elementi, ma nessuno capiva perché vi fossero le righe spettrali.

Lo studio dello spettro del corpo nero e dell'effetto fotoelettrico suggeriva che la radiazione elettromagnetica avesse un comportamento sia ondulatorio che corpuscolare durante i processi di interazione con la materia.

La sfida era quella di capire lo spettro della luce emessa dai corpi caldi: la radiazione di corpo nero. La materia calda è incandescente, e più diventa calda, più diventa luminosa; lo spettro della luce è ampio, con un picco che si sposta dal rosso al giallo ed infine al blu man mano che la temperatura aumenta.

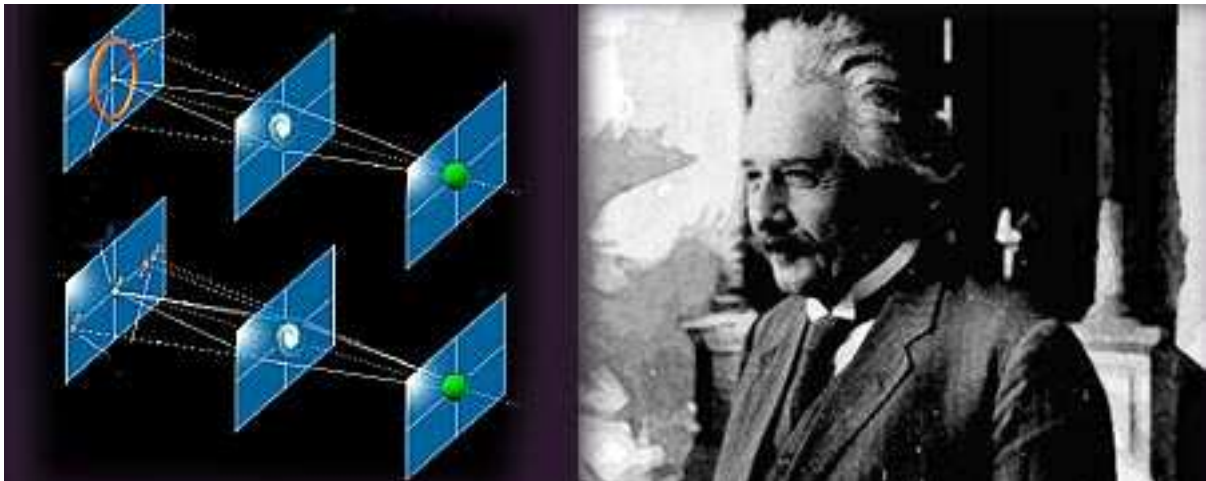
I fisici speravano di capire la forma dello spettro combinando i concetti dell'elettrodinamica e dell'elettromagnetismo ma tutti i tentativi fallirono.

Il fisico Max Planck risolse il problema discostandosi in modo brutale dal principio enunciato da Galileo ("Ciò che l'esperienza e i sensi ci dimostrano, deve essere anteposto ad ogni discorso ancorché ne paresse assai fondato"). Planck postulò - cioè prese per vero- che l'energia non viene trasmessa in modo continuo, ma viene suddivisa in pacchetti indivisibili, che chiamò "quanti" ed espresse il valore di ogni quanto come:

$$E=hf$$

Dove  $h$  è una costante che vale  $6,626076 \cdot 10^{-34}$  kg m<sup>2</sup>/sec e alla quale è stato dato il nome di costante di Planck.

(Questa parte è stata presa da: "Anche tu Fisico" di Roberto Vacca)

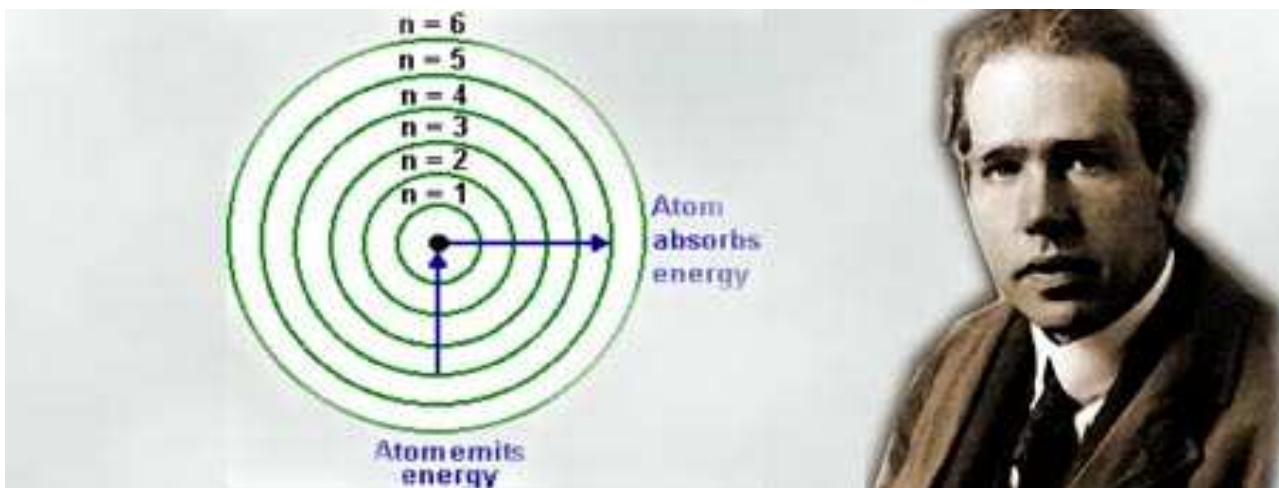


Si deve ad Albert Einstein il passo successivo nello sviluppo della meccanica quantistica. Egli affermò che se l'energia di vibrazione è quantizzata allora anche l'energia del campo elettromagnetico che questa irradia, la luce, deve essere quantizzata, anche se la teoria di Maxwell ed oltre un secolo di esperimenti avevano provato la natura ondulatoria della luce..

## Atomi e Quanti - Donata Allegri – Ottobre 2004

Esperimenti effettuati negli anni successivi dimostrarono che quando la luce è assorbita, in realtà la sua energia arriva sotto forma di pacchetti discreti, come se fosse trasportata da una particella. Il dualismo della luce fu un enigma per 20 anni.

Secondo la teoria classica l'energia degli elettroni emessi doveva dipendere dall'intensità della radiazione. Dopo aver osservato che l'intensità della radiazione incidente influiva sul numero di elettroni emessi ma non sulla loro energia e questa risultò dipendere dalla frequenza della radiazione, quando aumentava la frequenza aumentava l'energia degli elettroni emessi, Einstein spiegò il fenomeno come un insieme di urti tra i quanti di energia radiante e gli elettroni del metallo: durante l'urto un quanto cede tutta o parte della sua energia a un elettrone del metallo provocandone l'estrazione; essendo poi l'energia del quanto proporzionale alla frequenza della radiazione, ciò avviene anche per l'energia dell'elettrone emesso.

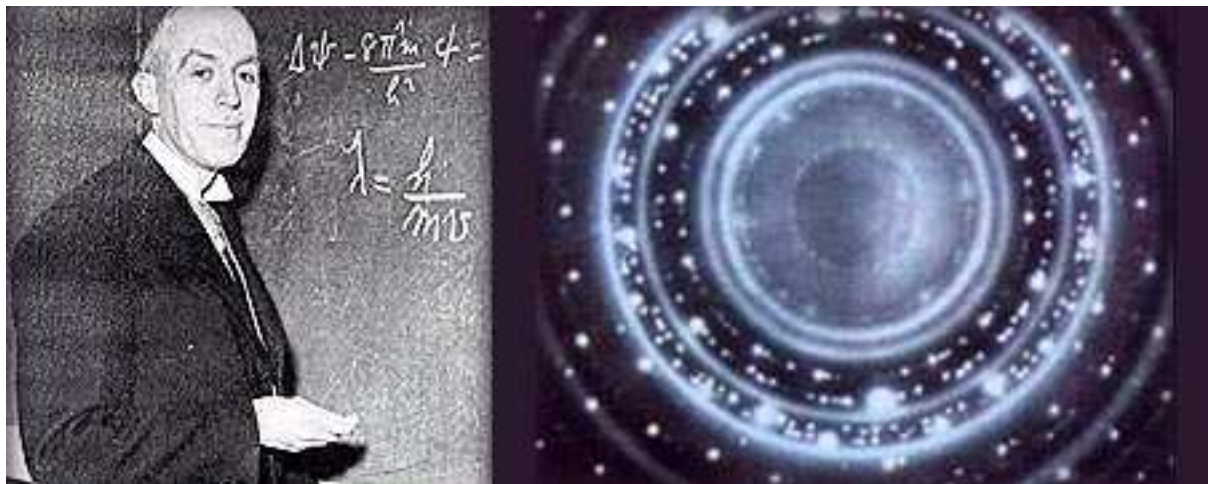


Un ulteriore progresso lo si deve ad un altro scienziato, allora principiante, Niels Bohr che nel 1913 aggiunse al modello di Rutherford quelle basi che sono state il punto di partenza del progresso scientifico degli ultimi 50 anni.

Egli propose un nuovo modello che prevedeva che gli elettroni occupassero alcuni stati nei quali l'elettrone potesse muoversi senza emettere energia, conservando costante la sua energia totale (energia cinetica+energia potenziale), questi stati furono chiamati stati stazionari.

Bohr dimostrò matematicamente che la condizione perché un elettrone muovendosi in un'orbita non emetta energia, sia cioè in uno stato stazionario, è che il valore del momento angolare dell'elettrone che percorre l'orbita sia un multiplo intero della grandezza  $h/2\pi$ ; (h costante di Planck =  $6,626076 \cdot 10^{-34}$  kg m<sup>2</sup>/sec). Nel passaggio da un'orbita quantica ad un'altra un elettrone emette o assorbe un quanto di energia, cioè un fotone.

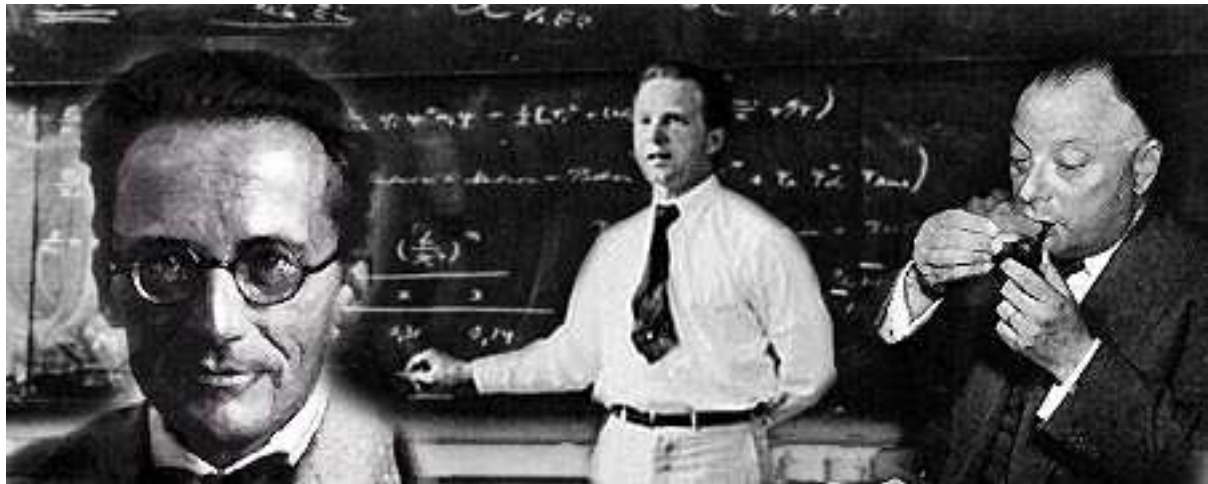
La teoria di Bohr, anche se piena di contraddizioni, fornì una descrizione quantitativa dello spettro dell'atomo di idrogeno; e, con molta lungimiranza, si rese conto che nasceva una fisica nuova, ma per questo occorsero altri 12 anni.



Nel 1923 Louis-Victor de Broglie, nella sua tesi di dottorato, estese alla materia il concetto del dualismo onda-corpuscolo messo in evidenza per la radiazione elettromagnetica e suggerì che le particelle materiali potessero assumere un comportamento di tipo ondulatorio in determinate situazioni.



Nell'estate del 1924 Satyendranath Bose e da Albert Einstein avevano pensato che le particelle di luce potessero in condizioni particolari avere lo stesso livello di energia e oscillare insieme. I due grandi studiosi pensarono di trattare la luce come un gas di particelle prive di massa (oggi chiamate *fotoni*) che non obbediscono alle leggi classiche della statistica di Boltzmann ma si comportano secondo un nuovo tipo di statistica basata sull'indistinguibilità delle particelle. Questo particolare stato della materia era stato battezzato "*condensato di Bose-Einstein*". Però per mettere in pratica questa teoria, però, ci sono voluti settant'anni, infatti il premio Nobel per la fisica nel 1995 è stato assegnato a Eric Cornell, Wolfgang Ketterle e Carl Wieman "per i risultati ottenuti nella condensazione di Bose-Einstein e per altri studi fondamentali sulle proprietà dei condensati".



Negli anni fra il 1925 ed il 1928 si verificarono numerosi eventi che culminarono in una vera rivoluzione scientifica:

- **Wolfgang Pauli** enunciò il principio di esclusione: "In uno stesso atomo non possono coesistere due elettroni che abbiano i quattro numeri quantici uguali"
- **Erwin Schrödinger** formulò l'equazione d'onda per descrivere le proprietà ondulatorie di una particella e la sua evoluzione a partire da uno stato iniziale, inventando così la meccanica ondulatoria. Si dimostrò che la meccanica delle matrici e la meccanica ondulatoria erano equivalenti.
- **Heisenberg** enunciò il principio di indeterminazione: "Non è possibile determinare esattamente e contemporaneamente posizione e quantità di moto di un corpuscolo".

Heisenberg, Schrödinger e Dirac fonderanno la nuova fisica, non più fondata su certezze matematiche determinate, ma su nuove equazioni quantistiche, in cui lo stato della materia, lungi dal rappresentare una certezza, non può che essere un'ipotesi.

Ogni particella, in meccanica quantistica, non ha posizione e velocità determinate ma vive uno stato quantico, ciò è come dire che ogni qualvolta si troveranno di fronte una particella, i fisici dovranno trascinare nei calcoli ogni possibile traiettoria della particella, e in questo, la particella verrà a trovarsi spesso nella posizione di vera e propria onda.

Bisogna infatti aggiungere che è possibile limitare lo stato quantico entro degli intervalli, primo fra i quali è il prodotto dell'incertezza della posizione della particella per quello dell'incertezza della sua velocità, il quale non potrà mai essere inferiore alla costante di Planck.

I protagonisti della creazione della teoria quantistica erano tutti giovani, Fermi ed Heisenberg avevano 24 anni, Pauli 25, Dirac ne aveva 23, e sono stati quelli che hanno avuto le idee più nuove, gli altri, hanno contribuito con idee di tipo interpretativo, lo stesso Einstein rifiutò questa nuova fisica pur avendo formulato alcuni dei concetti fondamentali.

Il suo ultimo contributo alla fisica fu il lavoro sulla statistica di Bose-Einstein.

Nel 1928 Dirac presenta una teoria relativistica dell'elettrone che prevede l'esistenza

## Atomi e Quanti - Donata Allegri – Ottobre 2004

dell'*antimateria*. Nel 1932 *Carl David Anderson* scopre l'*antimateria*, un antielettrone chiamato positrone.



Nel 1934 *Hideki Yukawa* elaborò una fondamentale teoria sulla forza nucleare ipotizzando l'esistenza di particelle (mesoni) che, scambiate tra i componenti del nucleo, tengono unito quest'ultimo. per questo vinse il Nobel nel 1949.

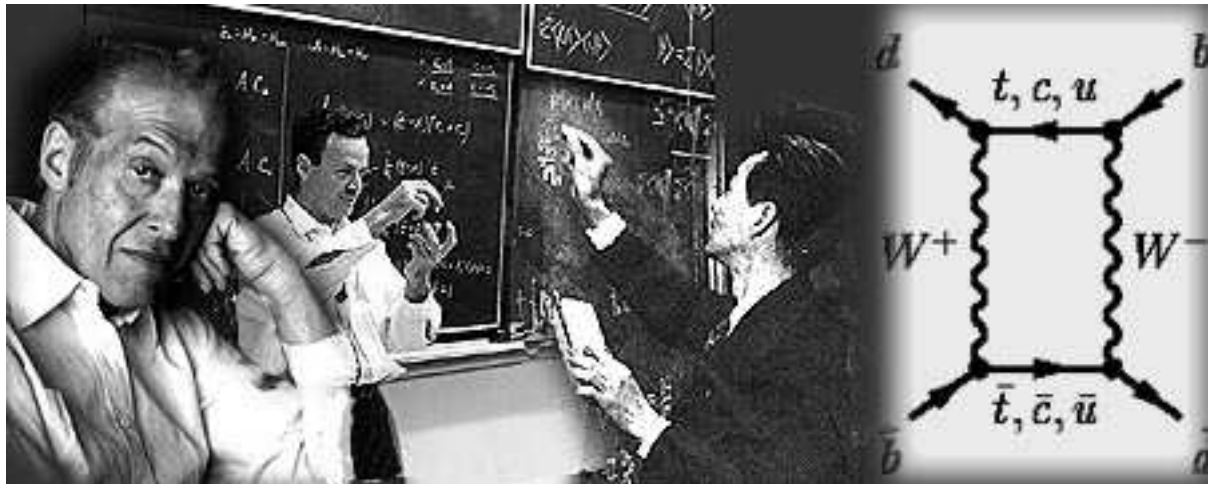
George Gamow, nel 1928, spiegò il decadimento radioattivo mediante emissione di particelle alfa (*tunnel quantistico*).



*Hans Bethe* gettò le basi della fisica nucleare spiegando l'origine dell'energia all'interno delle stelle; egli intuì l'esistenza di una sorgente d'energia stellare d'origine termonucleare, avanzando l'ipotesi che nella zona centrale del Sole temperatura, pressione e densità raggiungessero valori assai elevati, in grado di innescare le reazioni di fusione nucleare, formulò così, la teoria della fusione dell'idrogeno, secondo due cicli distinti di reazioni, in ciascuno dei quali quattro nuclei d'idrogeno (quattro protoni) si fondono per formare un nucleo di elio, più leggero di circa lo 0,7% rispetto alla massa complessiva dei quattro

protoni iniziali.

Nell'ottocento si era ipotizzato che il Sole, composto da carbonio ed ossigeno, potesse bruciare come un enorme pezzo di carbone. Ma questa teoria si rivelò del tutto sbagliata, poiché, pur possedendo una massa molto elevata, il Sole si sarebbe consumato in circa 1500 anni.



Nel 1948 *R.Feynman, J.Schwinger e Sin-Itiro Tomonaga* svilupparono la prima teoria completa dell'interazione fra fotoni ed elettroni, nota come elettrodinamica quantistica (**QED**).

La QED non descrive soltanto l'elettrone, bensì tutte le particelle denominate leptoni, che comprendono anche il muone, il mesone tau e le rispettive antiparticelle, però non è in grado di descrivere le particelle più complesse, gli androni. Per descrivere gli androni fu inventata la **QCD** (cromodinamica quantistica). Nella QED la forza che si esercita fra particelle cariche è mediata dal fotone mentre nella QCD la forza che si esercita fra i quark è mediata dal *gluone*.

La QED e la QCD sono i mattoni di una grandiosa sintesi chiamata Modello standard che, anche se è riuscito a spiegare ogni esperimento effettuato sulle particelle, per alcuni fisici risulta inadeguato perché i dati sulle masse, sulle cariche e sulle proprietà delle particelle devono essere dedotti dagli esperimenti mentre dovrebbe essere possibile prevederli con una teoria.





Nel 1957 *John Bardeen, Leon Cooper e J.Robert Schieffer* mostrarono che gli elettroni sono in grado di formare delle coppie le cui proprietà quantistiche consentono loro di viaggiare senza resistenza, fornendo così una spiegazione della resistenza elettrica nulla nei superconduttori.

Nel 1960 Theodore Maiman costruisce il primo laser di uso pratico.

Nel 1964 *John S.Bell* con le "*diseguaglianze di Bell*" propone un test per verificare se la meccanica quantistica fornisca una descrizione completa di un sistema.



Nel 1995 *Eric Cornell, Carl Wieman e Wolfgang Ketterle* catturano nuvole di atomi metallici raffreddati ad una temperatura inferiore ad un milionesimo di grado sopra lo zero assoluto producendo dei *condensati di Bose-Einstein*, la cui esistenza era stata prevista 70 anni prima. Tutto questo porta alla creazione del laser atomico e dei gas superfluidi.

In futuro la meccanica quantistica continuerà a fornire concetti e strumenti essenziali per tutte le scienze, tuttavia anche la fisica di oggi rimane empirica in quanto non siamo in grado di prevedere completamente le proprietà dei costituenti elementari della materia ma dobbiamo misurarle.

## Atomi e Quanti - Donata Allegri – Ottobre 2004

Come è stato fino dagli albori della scienza, il sogno della comprensione ultima continuerà ad essere la forza trainante per le nuove conoscenze e fra un secolo le conoscenze del perseguimento di questo sogno andranno oltre la nostra immaginazione.



Come dicevano *Einstein e Russell*, abbiamo bisogno di  
" *Pensare in un modo nuovo...non come membri di una Nazione, di un continente o di un credo, ma come esseri umani, appartenenti alla specie uomo, la cui sopravvivenza è ora in dubbio*".

Qualunque scoperta scientifica può essere usata con intenzioni opposte, il sistema scienza-tecnologia è un sistema molto potente con il quale bisogna imparare a convivere e per riuscirci non c'è altro metodo che raggiungere un alto grado di responsabilizzazione.