

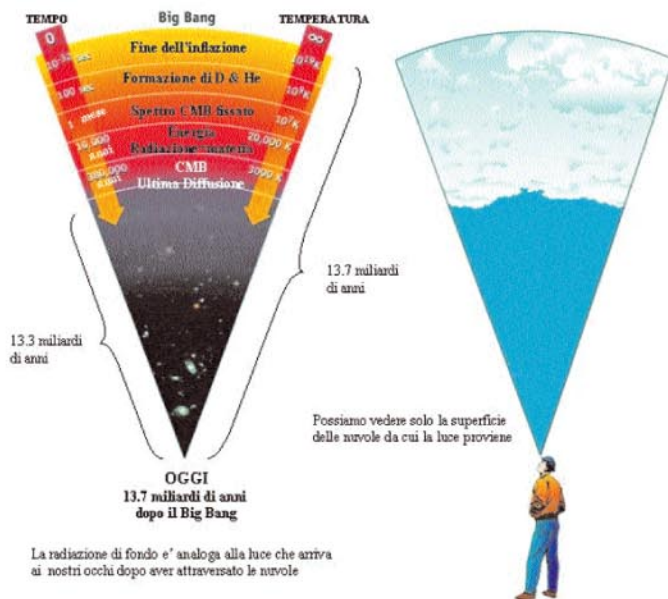
# NOTIZIE DAGLI ESTREMI CONFINI!

## L'OGGETTO PIÙ GRANDE: L'UNIVERSO

Quanto è grande l'Universo? Quanto lontano possiamo spingerci con le osservazioni? La fonte di informazione che proviene da più lontano (quindi più antica) è la radiazione cosmica di fondo, che ci arriva dagli estremi confini dell'Universo osservabile.

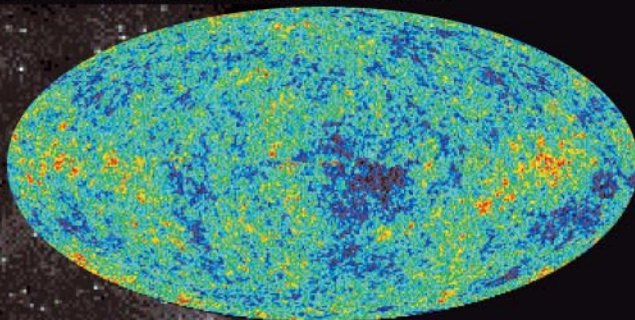
Studiando le sue caratteristiche sappiamo che l'Universo ha circa 13.7 miliardi di anni; la radiazione di fondo ha dunque viaggiato per tutto questo tempo per giungere ai nostri strumenti. In realtà l'Universo è rimasto "opaco" per i primi 300000 anni della sua vita poiché, a causa della sua composizione (esclusivamente di particelle cariche), la luce era imprigionata in esso.

La linea spazio-temporale da cui la radiazione di fondo proviene rappresenta una vera e propria barriera visiva, al di là della quale l'Universo è "nebbioso" e nessun segnale luminoso riesce a passare attraverso la sua opacità.



Osservare la radiazione cosmica di fondo è come fare una fotografia della superficie della più grande sfera visibile intorno a noi, il cui raggio è circa 13.7 miliardi di anni luce. Srotolando su un piano la superficie della sfera si ottiene una mappa come quella ottenuta dal satellite WMAP.

L'IMMAGINE SOTTO RIPORTATA È IL RISULTATO DI UN ANNO DI MISURE DA PARTE DEL SATELLITE DELLA NASA WMAP; I DIVERSI COLORI INDICANO ZONE LEGGERMENTE PIÙ CALDE (ROSSO) O PIÙ FREDE (BLU) IN UN ANTICHISSIMO UNIVERSO. LE DIVERSITÀ NELLA MAPPA RISPPECCHIANO QUELLE CHE OSSERVIAMO NELL'UNIVERSO ATTUALE: SPAZI VUOTI E GRANDI ADDENSAMENTI DI MATERIA (AMMASSI DI GALASSIE). LA MISSIONE SPAZIALE PLANCK DELL'AGENZIA SPAZIALE EUROPEA (ESA) VERRÀ LANCIATA NEL 2007 E PRODURRÀ MAPPE MOLTO PIÙ DETTAGLIATE E RICCHE DI INFORMAZIONI.



WMAP (NASA)

PLANCK (ESA)



L'ESPRESSO L'UNIVERSO PIÙ GRANDE

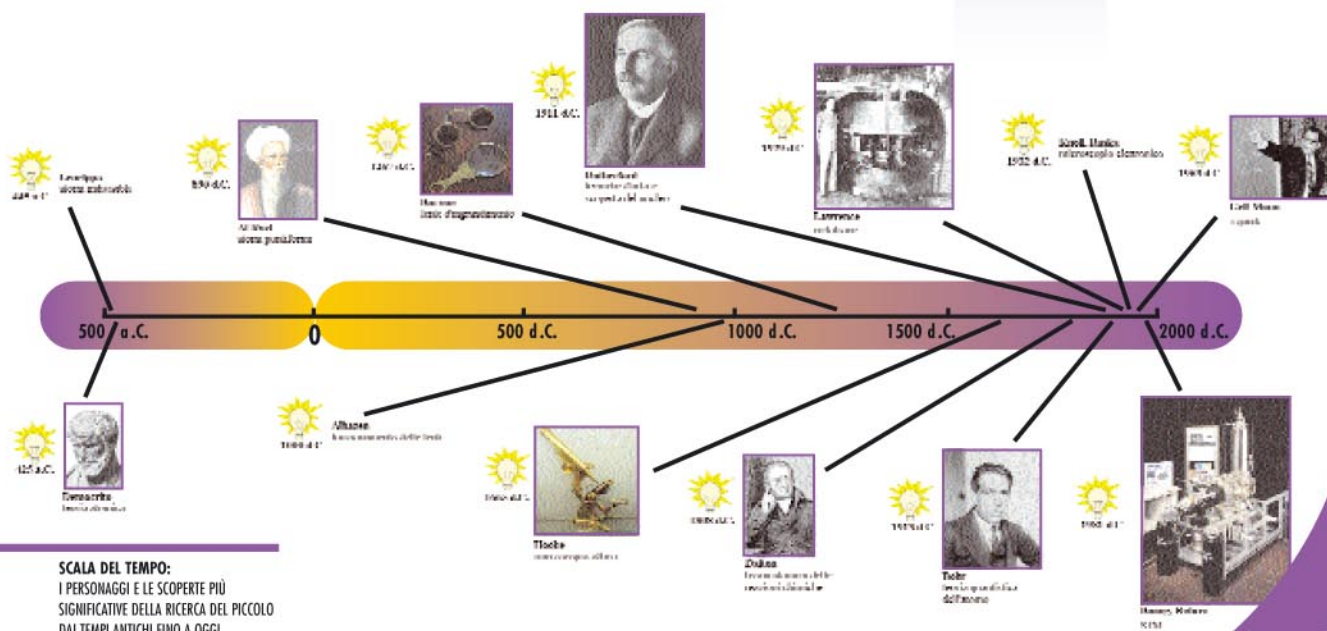
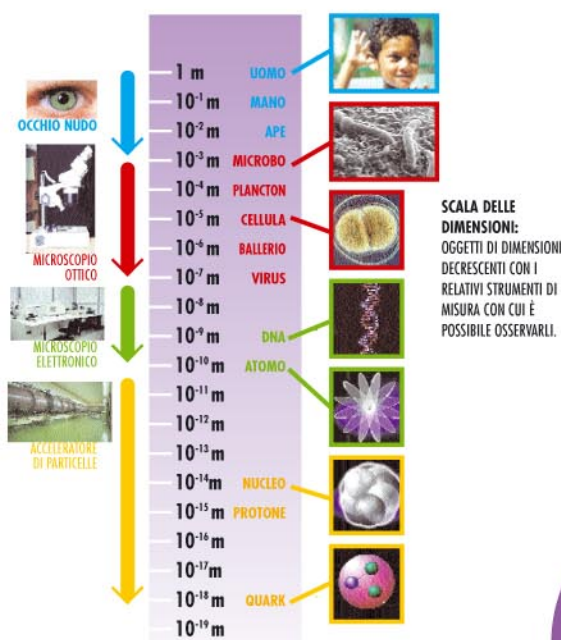
# DI COSA SONO FATTE LE COSE?

## QUALI SONO I COSTITUENTI ULTIMI DELLA MATERIA ORGANICA E INORGANICA?

Già i filosofi greci maturarono la convinzione che la complessità del mondo naturale debba essere riducibile a pochi elementi fondamentali: *fuoco, terra, acqua e aria*. Ancora ai greci, in particolare a Leucippo e Democrito, dobbiamo la geniale intuizione che i costituenti ultimi della materia siano particelle indivisibili, che essi chiamarono atomi. La teoria atomistica trovò consensi anche nel mondo arabo: nell'VIII-XI secolo d.C. un gruppo di teologi arabi riprese l'intuizione, arrivando a ipotizzare che "agli atomi non **inerisca lunghezza o composizione quando sono separati**" (altrimenti sarebbero divisibili) (da "Maqalat al-islamiyyin", al Asari).

Bisogna però aspettare fino all'inizio del XIX secolo perché la teoria atomistica trovi finalmente conferma sperimentale, quando Dalton, in base a osservazioni indirette su scala macroscopica, ripropose il modello atomico per spiegare la legge di composizione chimica. Per l'esplorazione sperimentale diretta dei costituenti ultimi si è dovuto attendere lo sviluppo di strumenti capaci di indagare l'estremamente piccolo. Il microscopio ottico ha dato un grande impulso alla ricerca in campo biologico e medico, ma la sua capacità di risoluzione non arriva a supportare l'indagine su scala atomica.

Solo nel XX secolo si sono sviluppate tecniche sperimentali che hanno consentito di spingere la ricerca fino alla frontiera dei costituenti ultimi; in questa affascinante esplorazione dell'infinitamente piccolo, più volte si è scoperto che quelle che si ritenevano essere particelle elementari sono in effetti costituite da altre particelle. Sorprendentemente, le più recenti scoperte sembrano riproporre l'attualità di alcune delle intuizioni dei filosofi greci e arabi.



# GLI ATOMI SI VEDONO E SI TOCCANO!



SIA I MICROSCOPI ELETTRONICI, SIA I MICROSCOPI A STILO, OLTRE A ESSERE POTENTI STRUMENTI AL SERVIZIO DELLA RICERCA DI BASE, TROVANO OGGI LARGO IMPIEGO NEI SETTORI INDUSTRIALI A TECNOLOGIA PIÙ AVANZATA COME, PER ESEMPIO, QUELLO DELLA MICROELETTRONICA. NELLA FOTO QUI SOPRA UNA VESPA CON IN BOCCA UN CHIP MICROELETTRONICO IN UNA FOTO SEM. [BY SIEMENS]

Il primo e più naturale strumento sviluppato dall'uomo per studiare oggetti estremamente piccoli è il microscopio ottico (XVII secolo): un sistema di lenti che permettono una visione ingrandita dell'oggetto in esame.

La risoluzione dei microscopi ottici è in ogni caso limitata dalla lunghezza d'onda della luce visibile (400-800 nm, 1 nm = 0,000001 mm). Non è quindi possibile distinguere oggetti di dimensioni inferiori alle centinaia di nanometri, paragonabili a quelle di un batterio.

**L'interesse nello studio di oggetti più piccoli di quelli risolvibili al microscopio ottico, ha portato alla ricerca e allo sviluppo di nuove tecniche di visione: si devono utilizzare lunghezze d'onda minori di quelle del visibile, impiegando elettroni ( $\lambda=0,00000001$  mm); pertanto occorre rinunciare alla visione diretta.**

Nei microscopi elettronici si utilizza un fascio di elettroni per ricostruire l'immagine dell'oggetto in esame: in quelli a scansione (SEM) la rilevazione degli elettroni diffusi consente di ricostruire un'immagine tridimensionale dell'oggetto, mentre in quelli a trasmissione (TEM) si rilevano gli elettroni che attraversano una sottile sezione dell'oggetto e ne forniscono un'immagine bidimensionale.

Tali tecniche permettono di osservare oggetti sempre più piccoli; analogamente recenti tecniche consentono di tastare con estrema sensibilità una superficie fino a toccare il singolo atomo. Gli strumenti più raffinati oggi disponibili per toccare oggetti su scala atomica sono i microscopi a stilo, nei quali si utilizza una punta per scandagliare la superficie del campione e ricostruirne la topografia. Il principio di funzionamento di questi microscopi è concettualmente piuttosto semplice: una punta acuminata segue il profilo atomico e un sistema laser rivela gli spostamenti della punta ricostruendo la morfologia del campione. I due principali tipi di microscopio a stilo differiscono per il modo in cui la punta sente la superficie del campione: l'uno, detto a effetto tunnel (STM, 1981), misura la corrente elettrica che fluisce tra la punta e la superficie del campione, mentre l'altro, detto a forza atomica (AFM, 1982), sente la forza di repulsione interatomica.

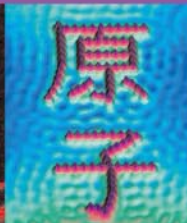
Nel 1986 è stato assegnato il premio Nobel per la fisica a Ruska per il microscopio elettronico e a Binnig e Rohrer per il microscopio a effetto tunnel.



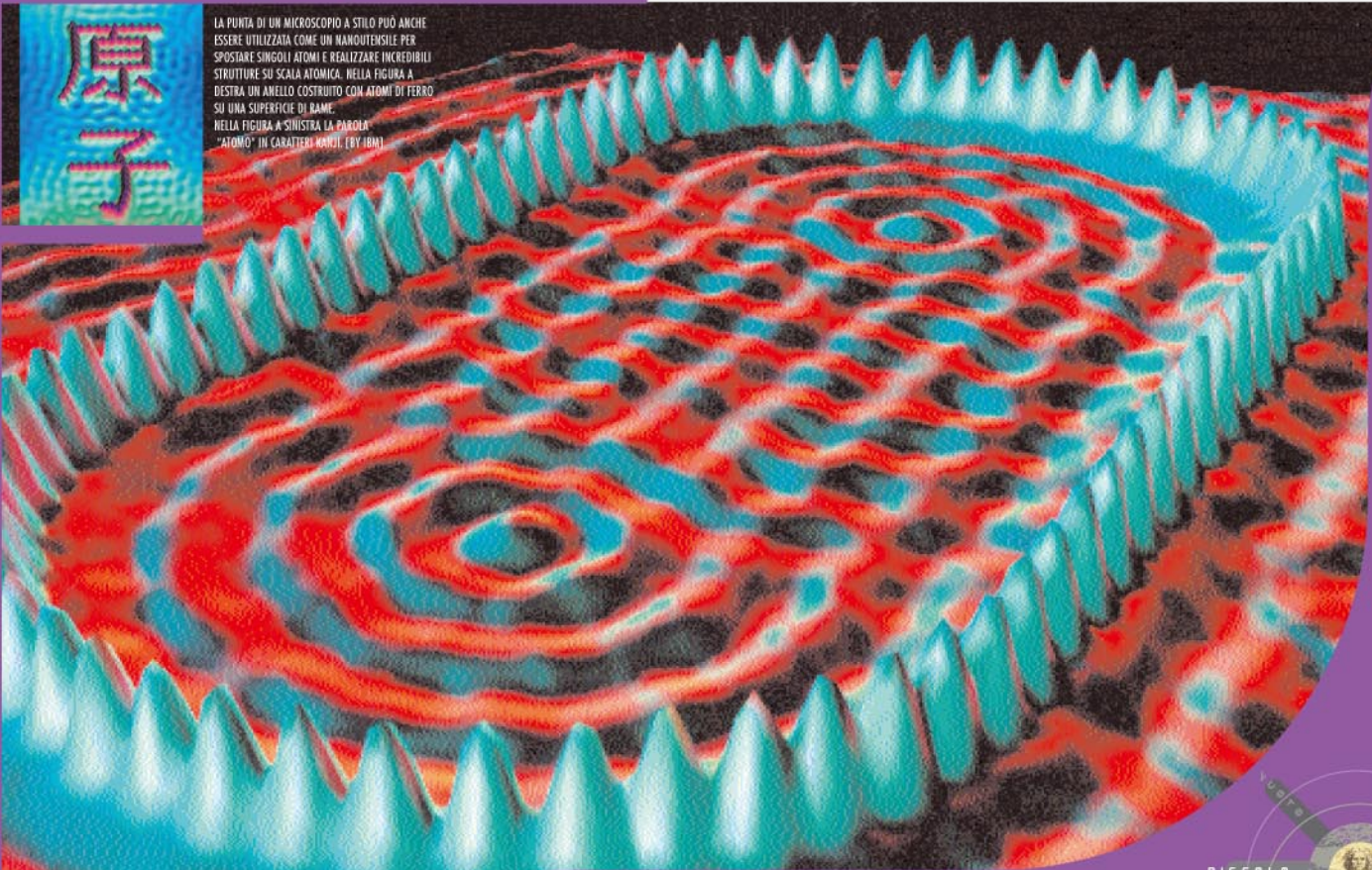
CON IL TEM SI ARRIVA A RISOLVERE IL DECIMO DI NANOMETRO, CHE È LA SCALA DELLE DIMENSIONI ATOMICHE: PER ESEMPIO, FOTOGRAFIE AD ALTA RISOLUZIONE CONSENTONO DI VEDERE DISTINTAMENTE LA STRUTTURA ORDINATA DI UN CRISTALLO. NELLE FOTO QUI ACCANTO DUE SEZIONI DI UN DISPOSITIVO MICROELETTRONICO. [BY ST]

HCMOS9-W43A-PL6

1.6 nm

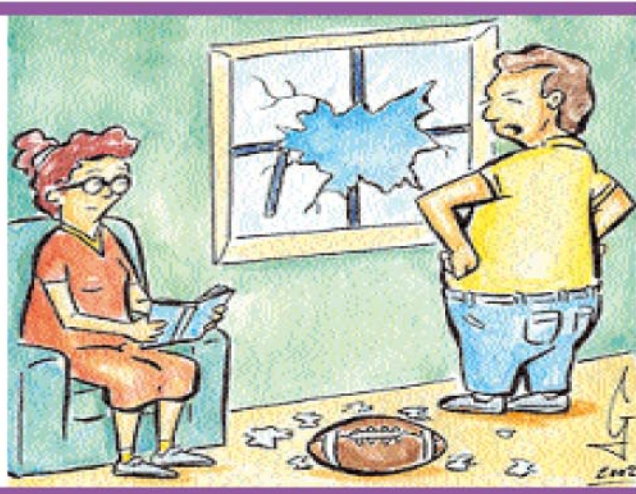


LA PUNTA DI UN MICROSCOPIO A STILO PUÒ ANCHE ESSERE UTILIZZATA COME UN MANIGLIENILE PER SPOSTARE SINGOLI ATOMI E REALIZZARE INCREDIBILI STRUTTURE SU SCALA ATOMICA. NELLA FIGURA A DESTRA UN ANELLO COSTRUITO CON ATOMI DI FERRO SU UNA SUPERFICIE DI RAME. NELLA FIGURA A SINISTRA LA PAROLA "ATOMO" IN CARATTERI KANJI. [BY IBM]



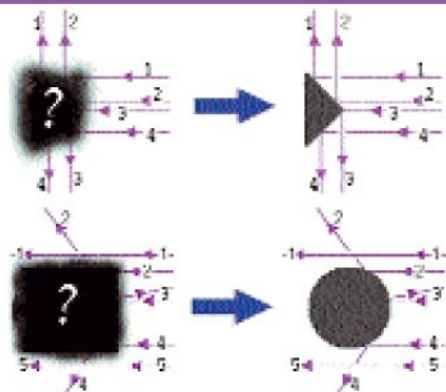
# TIRO AL BERSAGLIO CON LE PARTICELLE

La tecnica con cui i fisici esplorano l'estremamente piccolo è lo "scattering" (diffusione): bombardando un oggetto con proiettili opportuni e osservando la traiettoria dei proiettili uscenti, possiamo determinare la densità e la forma dell'oggetto. Un esperimento di scattering si può effettuare anche con un pallone: se lo lanciamo contro un muro senz'altro ci verrà rispedito indietro, mentre se lo lanciamo contro una finestra proseguirà la sua traiettoria rompendo il vetro!



I fisici definiscono il concetto di "duro" o "molle" nello stesso modo: un bersaglio è "duro" quando rispedisce indietro i proiettili, "molle" quando li lascia proseguire (eventualmente rompendosi).

Il concetto di "duro" o "molle" dipende dalle proprietà del proiettile, oltre che del bersaglio: in particolare, **l'energia** del proiettile può alterare il risultato dell'esperimento (un pallone scagliato con più forza riuscirà a superare indenne un vetro più spesso)! Con un esperimento analogo si può capire la forma di un oggetto: osservando le traiettorie di proiettili lanciati contro l'oggetto, possiamo ricostruirne la forma (anche in questo caso, il risultato può cambiare a seconda delle dimensioni del proiettile).

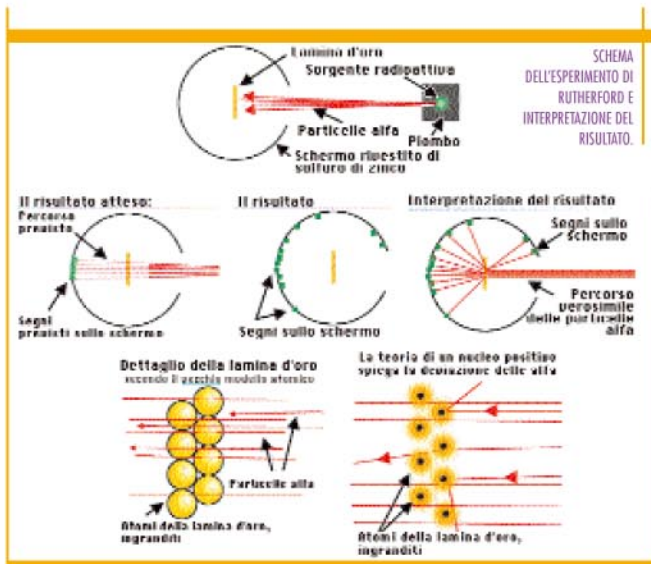


LA FORMA DI UN OGGETTO PUÒ ESSERE "INDOVINATA" DALLA TRAIETTORIA IN USCITA DEI PROIETTILI LANCIATI CONTRO DI ESSO.

## LA SCOPERTA DEL NUCLEO DELL'ATOMO

In un esperimento del 1911, Rutherford bombardò una sottile lamina d'oro con particelle  $\alpha$  (emesse nei decadimenti radioattivi), per osservare come venivano deflesse. Molte delle particelle andavano diritte attraverso il foglio, ma alcune rimbalzavano indietro come se avessero colpito un ostacolo pesante: "era come se un proiettile sparato da un cannone contro un bersaglio di carta rimbalzasse sul bersaglio e tornasse indietro a colpirti", disse Rutherford.

Il risultato di questo esperimento cambiò il modo di vedere il mondo microscopico: se la maggior parte delle particelle passavano attraverso la lamina, gli atomi dovevano essere costituiti quasi interamente di spazio vuoto; ma nella profondità dell'atomo ci doveva essere un oggetto molto "duro", ovvero un piccolo nucleo centrale dove si trovava concentrata gran parte della massa, così che, le rare volte che una particella  $\alpha$  si scontrava con il nucleo, veniva deviata violentemente. Gli elettroni orbitavano così attorno al nucleo, come i pianeti attorno al Sole, e l'intero atomo doveva essere 10.000 volte più grande del nucleo.



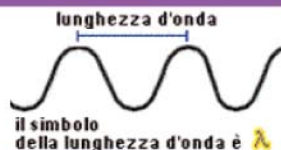
**Lo studio della materia tramite la tecnica dello "scattering" portò a una scoperta clamorosa: gli atomi non erano oggetti indivisibili, ma possedevano un nucleo molto piccolo e molto denso, in cui era concentrata quasi tutta la massa!**



# ! MICROSCOPI! PIÙ POTENTI! DEL MONDO!

Secondo la fisica quantistica (che descrive il comportamento degli oggetti sulla scala atomica), lo spazio "occupato" da una particella non è strettamente legato alla sua reale estensione fisica, ma a un'altra grandezza (la "funzione d'onda") che ne descrive la probabilità di trovarsi in un punto piuttosto che in un altro (data una particella, possiamo descriverne la posizione solo con la funzione d'onda, senza sapere esattamente dove essa si troverà a un certo istante).

Ai fini degli esperimenti di scattering, le dimensioni dei proiettili non sono quindi date dalla loro estensione, ma dallo spazio "occupato" dalla loro funzione d'onda. Secondo la legge di De Broglie, l'estensione della funzione d'onda di una particella diminuisce all'aumentare della sua energia: per ottenere proiettili più "piccoli" (nel senso appena descritto) bisogna dunque lanciarli con più energia (o "quantità di moto") contro il bersaglio.



RELAZIONE FRA L'ENERGIA DELLA PARTICELLA E L'ESTENSIONE DELLA SUA FUNZIONE D'ONDA.

I responsabili del primo esperimento sulla nuova macchina (Friedmann, Kendall e Taylor), lanciarono gli elettroni su un bersaglio di protoni, cercando gli elettroni che venivano deviati violentemente: videro una quantità di elettroni a grande angolo dieci volte superiore a quella che si aspettavano. Era una replica dell'esperimento di Rutherford: i protoni non erano particelle elementari, ma contenevano in realtà una manciata di piccoli costituenti "duri", che Feynman chiamò "partoni".

L'identificazione definitiva di questi partoni con i quark di Gell-Mann avvenne nel 1974, quando gli esperimenti con fasci di neutrini realizzati al CERN dimostrarono che i partoni di Feynman avevano esattamente le proprietà previste dal modello a quark.



IL GIGANTESCO RIVELATORE UTILIZZATO DA FRIEDMANN, KENDALL E TAYLOR.

## LA SCOPERTA DEI QUARK

A partire dagli anni '40 (grazie anche allo sviluppo di strumenti sempre più potenti), vennero scoperti oggetti di natura sconosciuta (tanto da essere chiamati "strani"). Nel 1962 Gell-Mann formulò l'ipotesi che tutte queste particelle fossero formate da solo 3 costituenti fondamentali (proprio come la moltitudine dei composti chimici deriva da un numero ristretto di elementi), ai quali diede il nome di *quark*. Nonostante la sua affascinante semplicità, il modello a quark non fu subito accettato dai fisici (lo stesso Gell-Mann si rassegnò all'idea che i quark fossero pure astrazioni matematiche), finché nel 1967 al laboratorio SLAC di Stanford (California), venne inaugurato un acceleratore per gli elettroni lungo 3 chilometri.

**"Il progresso della fisica è generalmente guidato dalla tecnologia, più che dalle leggi fisiche; ci sembra sempre di produrre più domande che mezzi per rispondere"**  
(W. Panofsky, primo direttore di SLAC).

**MA DAVVERO LO STUDIO DELL'ESTREMAMENTE PICCOLO È "SOLTANTO" UN PROBLEMA TECNOLOGICO?**

UNO SPETTACOLARE EVENTO OSSERVATO IN CAMERA A BOLLE, IL RIVELATORE PIÙ COMUNE NEGLI ANNI '50 E '60

# MA QUANTO È PICCOLO UN ELETTRONE?

Negli ultimi decenni abbiamo scoperto che quark ed elettroni sono i mattoni elementari di cui è composta la materia ordinaria: la domanda sui costituenti ultimi della realtà sembra quindi aver trovato una risposta adeguata. Ma quanto sono *grandi* elettroni e quark? Il principio di indeterminazione della meccanica quantistica ci impedisce di accedere alle dimensioni della singola particella: quello che si può misurare sperimentalmente è lo spazio minimo entro cui è possibile confinare la particella (la sua dimensione fisica sarà senz'altro minore o uguale dello spazio che essa occupa)!

La tecnica per localizzare un elettrone è quella di misurare la massima energia che esso può assorbire in un urto frontale con un'altra particella: maggiore sarà l'energia che l'elettrone riesce a immagazzinare, minore sarà lo spazio occupato. Utilizzando gli elettroni di altissima energia prodotti dall'acceleratore LEP del CERN di Ginevra, si è stabilito che **l'estensione di un elettrone misura meno di  $10^{-18}$  m** (un miliardesimo di miliardesimo di metro): si tratta della dimensione più piccola stimata in natura finora.

## VERSO L'INFINITAMENTE PICCOLO?

Fra alcuni anni, grazie al nuovo acceleratore LHC, le dimensioni minime misurabili potranno essere ridotte ulteriormente: ma potremo mai osservare oggetti infinitamente piccoli? Probabilmente no, perché ad altissime energie trasferite gli effetti di polarizzazione del vuoto ci impediscono di *vedere* le singole particelle: esse ci appaiono circondate da una *nuvola* di altre particelle che ne ostacolano la localizzazione. Per sapere *quanto è grande un elettrone*, non basterà costruire acceleratori sempre più potenti: sarà la natura stessa del vuoto a rallentare il nostro viaggio verso l'estremamente piccolo! Questo viaggio potrà essere ostacolato anche dalla natura dello spazio-tempo (o, il che è lo stesso, della forza di gravità); alcune teorie prevedono infatti che la forza di gravità sia *quantizzata* (come le altre forze fondamentali): lo spazio-tempo non sarebbe quindi un oggetto continuo, ma si presenterebbe come un *reticolo* formato da *quadretti* di lato  $10^{-35}$  m: in tal caso, questa sarebbe la dimensione più piccola misurabile in natura e l'estensione di oggetti ancora più piccoli non sarebbe osservabile!

I COSTITUENTI FONDAMENTALI DELLA MATERIA, SECONDO IL MODELLO STANDARD DELLE PARTICELLE ELEMENTARI.

LEPTONS Quarks	u	c	t
	d	s	b
	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$
	e	$\mu$	$\tau$
	I	II	III

**Nel cammino verso l'infinitamente piccolo, i fisici sono stati più volte costretti a cambiare la loro percezione della realtà: così come negli anni '30 lo studio degli atomi ha portato alla formulazione della meccanica quantistica, le attuali scoperte sulle particelle elementari ci interrogano sulle proprietà più stupefacenti del vuoto o sulla natura stessa dello spazio-tempo.**

### L'ANELLO DEGLI ACCELERATORI LEP ED LHC DEL CERN DI GINEVRA.

- LHC (LARGE HADRON COLLIDER) ENTRERÀ IN FUNZIONE NEL 2007
- ACCELERAZIONE PROTONI CONTRO PROTONI
- HA 27 KM DI CIRCONFERENZA
- 8000 MAGNETI SUPERCONDUTTORI
- 1.9 KELVIN È LA TEMPERATURA DELL'ELIO PER RAFFREDDARE I MAGNETI
- $3.1 \times 10^{14}$  PARTICELLE PER FASCIO (TRANSITANO CONTEMPORANEAMENTE NELL'ACCELERATORE)
- 350MJ ENERGIA IMMAGAZZINATA NEL FASCIO (CIO CHE SERVE PER FONDERE 500KG DI RAME)
- 14 TEV ENERGIA NELL'URTO DI PROTONE CONTRO PROTONE (1TEV È CIRCA L'ENERGIA DI MOTO DI UNA ZANZARA)
- 250 MW ENERGIA NECESSARIA A FAR FUNZIONARE IL LABORATORIO (È L'ENERGIA CONSUMATA DA UNA CITTÀ COME RIMINI)
- 3000 PERSONE LAVORANO STABILMENTE AL CERN
- 6500 RICERCATORI DI 80 NAZIONI LO VISITANO OGNI ANNO

