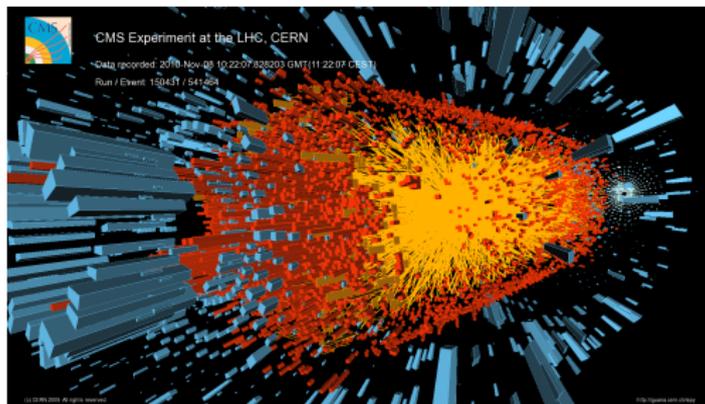


Il più grande spettacolo dopo il Big Bang

Andrea Beraudo - INFN Torino

Art&Science across Italy

*Un viaggio nell'infinitamente piccolo
alla scoperta dell'Universo primordiale*



Cosa sono le particelle elementari?



Fabio Gargano è con **Annalisa Mastroserio**.



12 dicembre 2020 · 🌐

- Papà cosa studia mamma?
- Eh... Mamma studia le particelle elementari
- Ah quindi anche le particelle vanno a scuola?
- No si chiamano elementari perché sono piccole come voi che andate a scuola elementare
- Allora se sono piccole si devono chiamare particelle dell'infanzia



Commenti: 17

Mi piace

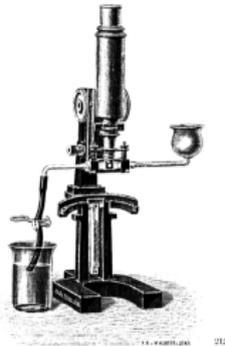
Commenta

Condividi

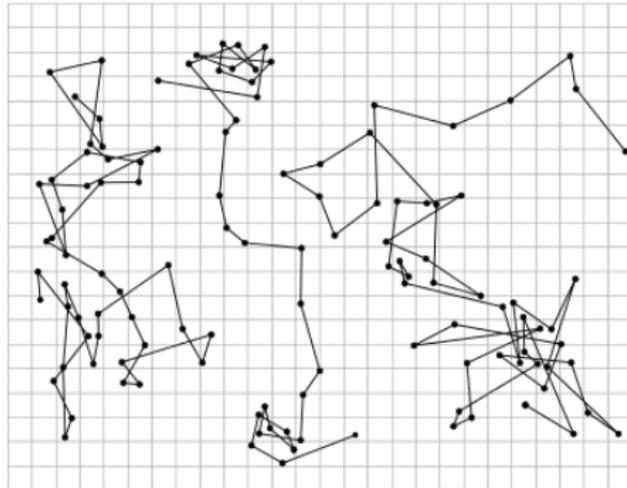
Jean Baptiste Perrin: il moto Browniano e la struttura granulare della materia (1908)

Ultramikroskopie für Kolloide

Nach SIEDENTOPF und ZSIGMONDY.

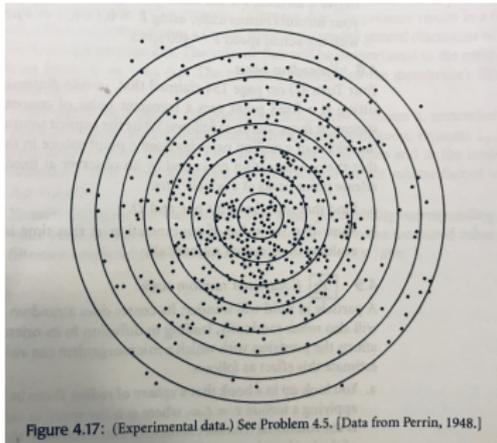


2. Ausgabe 1907. Telegrammadresse: ZEISSWERK JENA.



Il primo apparato sperimentale: un microscopio, un foglio e una matita!
Il risultato: dal moto irregolare (*moto Browniano*) di migliaia di sferette di resina in acqua Perrin ricava la prova sperimentale dell'esistenza di atomi e molecole come oggetti fisici

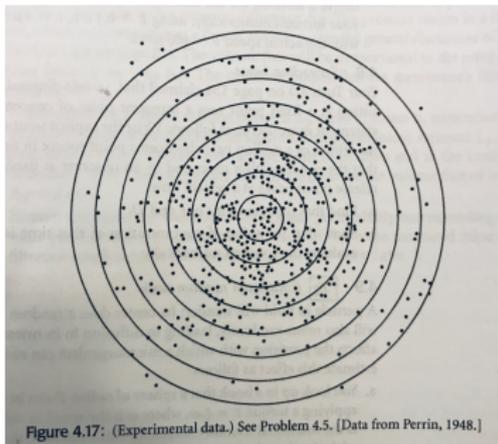
Gli occhi del microscopio e quelli della teoria



Le particelle seguono la legge di diffusione

$$\langle x^2 \rangle \underset{t \rightarrow \infty}{\sim} 2Dt$$

Gli occhi del microscopio e quelli della teoria



Le particelle seguono la legge di diffusione

$$\langle x^2 \rangle \underset{t \rightarrow \infty}{\sim} 2Dt$$

$$\mathcal{N}_A = \frac{\mathcal{R}T}{6\pi a \eta D}$$

Atomi e molecole sono troppo piccoli ($a \approx 10^{-10}$ m) per essere visibili al microscopio, ma il loro effetto su sferette di resina lo è! Perrin, sfruttando la teoria del moto Browniano di Einstein e Langevin, riuscì così a contarli, ottenendo la stima del numero di Avogadro

$$\mathcal{N}_A \approx 5.5 - 7.2 \cdot 10^{23}$$

Non male, visti gli strumenti utilizzati!

Un precedente illustre



Anche lo studio dell'infinitamente grande iniziò con un sistema di lenti e qualche disegno: i satelliti medicei di Giove, scoperti da Galileo nel gennaio del 1610.

Un precedente illustre



Anche lo studio dell'infinitamente grande iniziò con un sistema di lenti e qualche disegno: i satelliti medicei di Giove, scoperti da Galileo nel gennaio del 1610.

Un passo indietro: la tavola periodica degli elementi (1869)



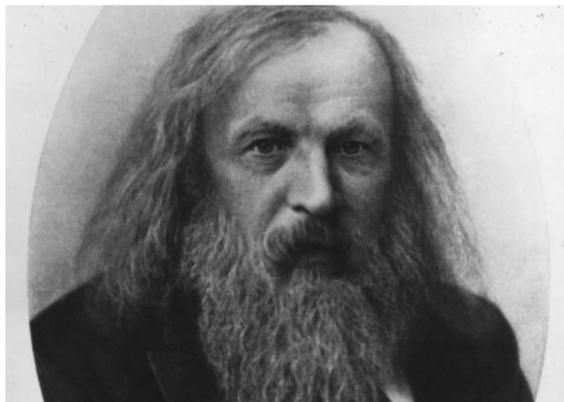
Periodic Table of the Elements

The periodic table is color-coded by groups: Alkali Metals (red), Alkaline Earths (orange), Transition Metals (yellow), Lanthanides (green), Actinides (blue), Halogens (purple), Noble Gases (grey), and other groups in various colors. Each element cell contains its symbol, name, and atomic number.

1																	18		
H																	He		
2											10							16	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
3	4											11	12	13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104		
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og		
117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134		
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr					
<p>Alkali Metals Alkaline Earths Transition Metals Lanthanides Actinides Halogens Noble Gases Other</p>																			

Mendeleev dispone gli elementi in ordine di peso atomico crescente, mettendo **sulla stessa colonna elementi con proprietà chimiche simili**

Un passo indietro: la tavola periodica degli elementi (1869)



Periodic Table of the Elements

1																	18	
H	He																	Ne
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne										Ar	
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar										Kr	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Lv	Ts	Og		
Lanthanides and Actinides																		
Legend: Alkali Metals, Alkaline Earths, Transition Metals, Lanthanides, Actinides, Noble Gases, Halogens, Metalloids, Nonmetals, Hydrogen																		

Mendeleev dispone gli elementi in ordine di peso atomico crescente, mettendo **sulla stessa colonna elementi con proprietà chimiche simili**

- Numerosi **buchi**, che Mendeleev interpreta come **elementi ancora da scoprire** e di cui predice le proprietà (Gallio, Germanio, Scandio...): il modello è predittivo;

Un passo indietro: la tavola periodica degli elementi (1869)



Periodic Table of the Elements

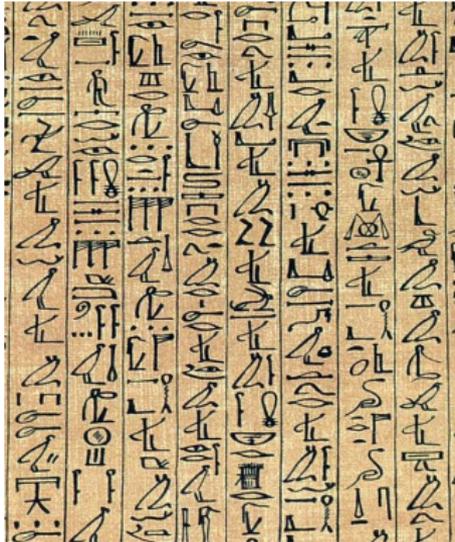
1																	18		
H																	He		
2											10							16	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Ra			Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	
																		118	
																		119	
88	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				117
89	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				116
																		115	
																		114	
																		113	
																		112	
																		111	
																		110	
																		109	
																		108	
																		107	
																		106	
																		105	
																		104	
																		103	
																		102	
																		101	
																		100	
																		99	
																		98	
																		97	
																		96	
																		95	
																		94	
																		93	
																		92	
																		91	
																		90	
																		89	
																		88	
																		87	
																		86	
																		85	
																		84	
																		83	
																		82	
																		81	
																		80	
																		79	
																		78	
																		77	
																		76	
																		75	
																		74	
																		73	
																		72	
																		71	
																		70	
																		69	
																		68	
																		67	
																		66	
																		65	
																		64	
																		63	
																		62	
																		61	
																		60	
																		59	
																		58	
																		57	
																		56	
																		55	
																		54	
																		53	
																		52	
																		51	
																		50	
																		49	
																		48	
																		47	
																		46	
																		45	
																		44	
																		43	
																		42	
																		41	
																		40	
																		39	
																		38	
																		37	
																		36	
																		35	
																		34	
																		33	
																		32	
																		31	
																		30	
																		29	
																		28	
																		27	
																		26	
																		25	
																		24	
																		23	
																		22	
																		21	
																		20	
																		19	
																		18	
																		17	
																		16	
																		15	
																		14	
																		13	
																		12	
																		11	
																		10	
																		9	
																		8	
																		7	
																		6	
																		5	
																		4	
																		3	
																		2	
																		1	

Legend: Halogens, Noble Gases, Transition Metals, Lanthanides, Actinides

Mendeleev dispone gli elementi in ordine di peso atomico crescente, mettendo **sulla stessa colonna elementi con proprietà chimiche simili**

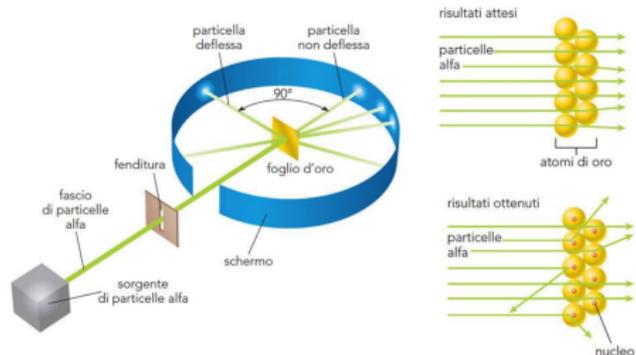
- Numerosi **buchi**, che Mendeleev interpreta come **elementi ancora da scoprire** e di cui predice le proprietà (Gallio, Germanio, Scandio...): il modello è predittivo;
- Mancava un accordo generale sui concetti di atomo e molecola, **mancava una teoria fondamentale** delle loro interazioni, **ma la tavola funzionava!**

La ricerca della semplicità



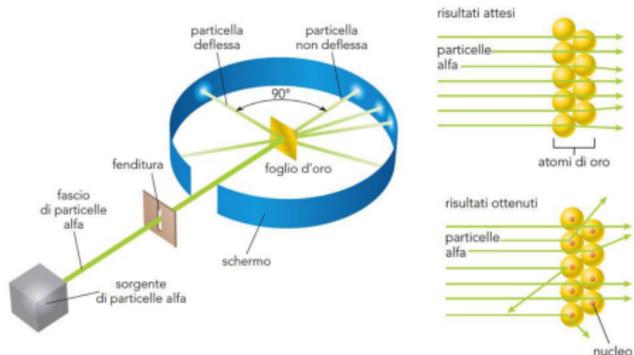
Oltre 100 elementi sembrano troppi per essere tutti fondamentali! **Quali sono le lettere elementari che compongono le parole e frasi della materia?**

Rutherford 1913, ovvero come è fatto un atomo



Alcune particelle (poche) subivano grosse deviazioni, alcune (pochissime) rimbalzavano addirittura indietro

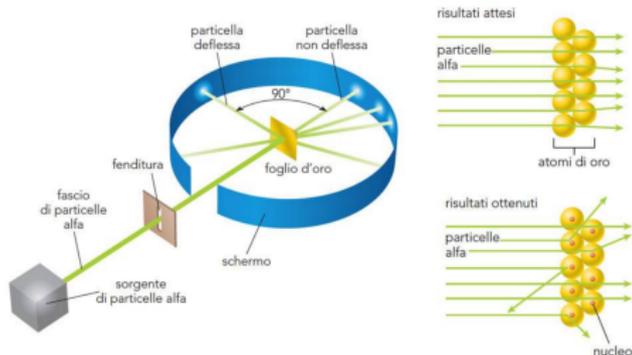
Rutherford 1913, ovvero come è fatto un atomo



Alcune particelle (poche) subivano grosse deviazioni, alcune (pochissime) rimbalzavano addirittura indietro

- La maggior parte della massa deve essere contenuta nel nucleo: solo un oggetto molto pesante è in grado di far rinculare significativamente la particella alfa;
- Il nucleo deve occupare un volume molto piccolo: sono pochissime le particelle deviate a grandi angoli.

Rutherford 1913, ovvero come è fatto un atomo

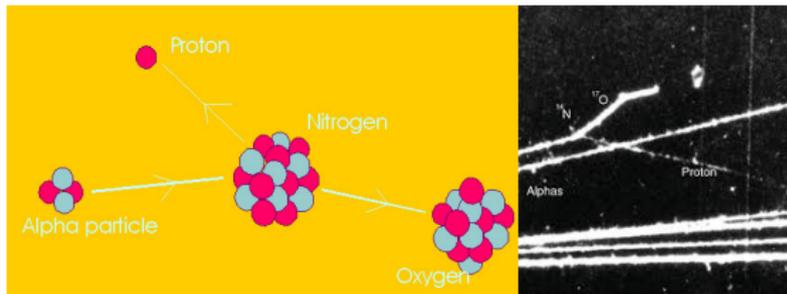


Alcune particelle (poche) subivano grosse deviazioni, alcune (pochissime) rimbalzavano addirittura indietro

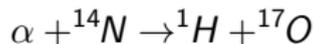
- La maggior parte della massa deve essere contenuta nel nucleo: solo un oggetto molto pesante è in grado di far rinculare significativamente la particella alfa;
- Il nucleo deve occupare un volume molto piccolo: sono pochissime le particelle deviate a grandi angoli.

Un sistema solare in miniatura!

I mattoncini dei nuclei: protoni e neutroni

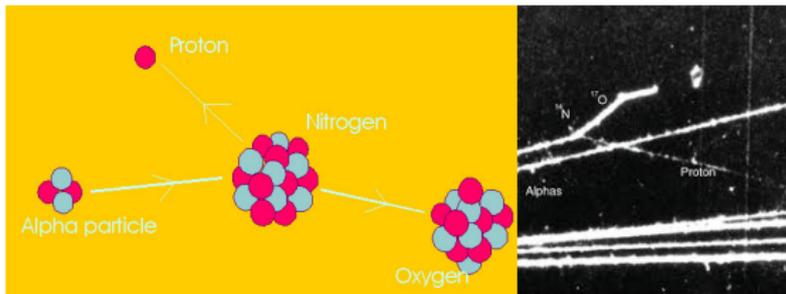


Nel 1919 Rutherford, studiando l'interazione delle particelle α con l'aria scoprì che le radiazioni erano in grado di estrarre nuclei di idrogeno dall'azoto, attraverso la reazione

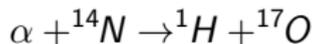


Ipotizzò quindi che i nuclei di idrogeno, battezzati protoni, fossero i costituenti elementari dei nuclei. Il *protone* ha carica elettrica $Q=+1$ ed è circa 2000 volte più pesante di un elettrone. Nel 1932 Chadwick scoprì il *neutrone*, privo di carica elettrica e con circa la stessa massa del protone.

I mattoncini dei nuclei: protoni e neutroni



Nel 1919 Rutherford, studiando l'interazione delle particelle α con l'aria scoprì che le radiazioni erano in grado di estrarre nuclei di idrogeno dall'azoto, attraverso la reazione



Ipotizzò quindi che i nuclei di idrogeno, battezzati protoni, fossero i costituenti elementari dei nuclei. Il *protone* ha carica elettrica $Q=+1$ ed è circa 2000 volte più pesante di un elettrone. Nel 1932 Chadwick scoprì il *neutrone*, privo di carica elettrica e con circa la stessa massa del protone.

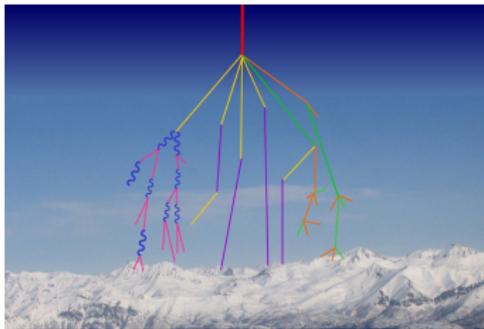
Aria, acqua... \rightarrow \sim 100 atomi \rightarrow elettroni, protoni e neutroni

E questi chi li ha ordinati? Le sorprese arrivano dallo spazio

Protoni, neutroni ed elettroni sono **sufficienti per spiegare** tutte le proprietà della materia ordinaria, **tutta la chimica e tutta la biologia**. Si pensava quindi di essere giunti ai mattoni fondamentali della materia.

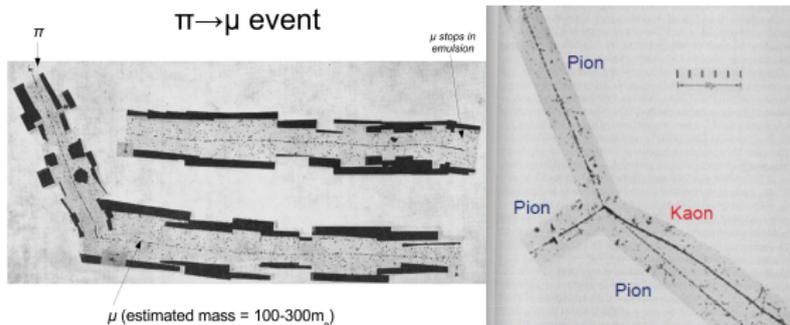
E questi chi li ha ordinati? Le sorprese arrivano dallo spazio

Protoni, neutroni ed elettroni sono **sufficienti per spiegare** tutte le proprietà della materia ordinaria, **tutta la chimica e tutta la biologia**. Si pensava quindi di essere giunti ai mattoni fondamentali della materia. Ma dallo spazio arrivarono le sorprese...



E questi chi li ha ordinati? Le sorprese arrivano dallo spazio

Protoni, neutroni ed elettroni sono **sufficienti per spiegare** tutte le proprietà della materia ordinaria, **tutta la chimica e tutta la biologia**. Si pensava quindi di essere giunti ai mattoni fondamentali della materia. Ma dallo spazio arrivarono le sorprese...



L'osservazione dei raggi cosmici portò alla scoperta di **nuove particelle**: il **positrone** (1932), il **muone** (1936), il **pione** (1947), il **kaone** (1949)... una complicazione di cui si sarebbe fatto volentieri a meno.

“Who ordered that?” (I.I. Rabi)

Nuovi occhi per l'infinitamente piccolo

- Tipica dimensione di una particella subatomica $\sim 10^{-15}$ m, inaccessibile a qualsiasi microscopio!

Nuovi occhi per l'infinitamente piccolo

- Tipica dimensione di una particella subatomica $\sim 10^{-15}$ m, inaccessibile a qualsiasi microscopio!
- Per le particelle davvero elementari non ha nemmeno senso parlare di una dimensione!

Nuovi occhi per l'infinitamente piccolo

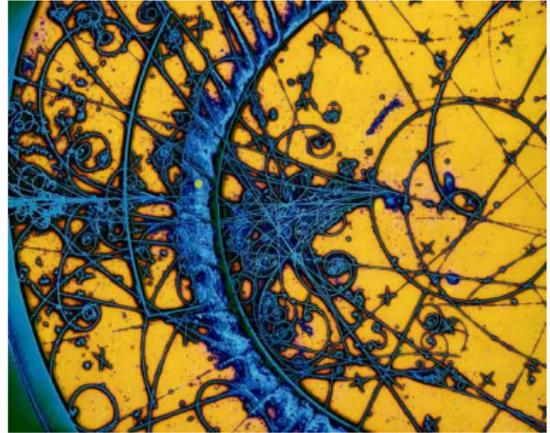
- Tipica dimensione di una particella subatomica $\sim 10^{-15}$ m, inaccessibile a qualsiasi microscopio!
- Per le particelle davvero elementari non ha nemmeno senso parlare di una dimensione!
- Il progresso concettuale viaggia in parallelo con la costruzione di nuovi strumenti per indagare l'infinitamente piccolo

Scie di aerei...



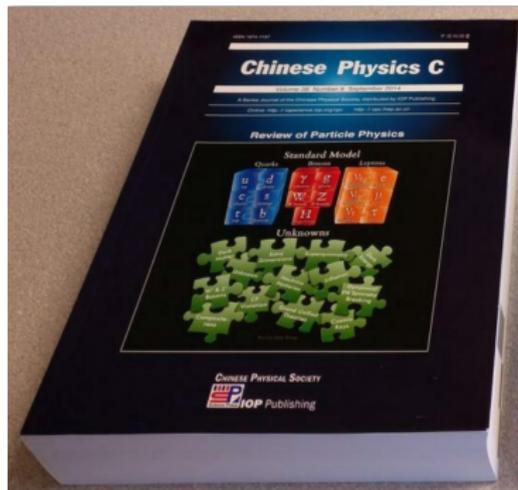
Anche se in cielo non vediamo nessun aereo, osservando le scie capiamo che devono esserne passati!

...e scie di particelle



Tanti rivelatori del passato consentivano di individuare le particelle attraverso le **scie di goccioline** (**camere a nebbia**) o **bollicine** (**camere a bolle**) che lasciavano attraversando un gas o un liquido

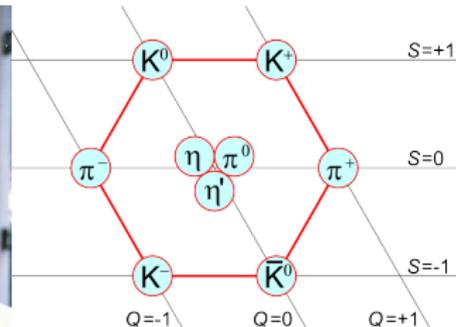
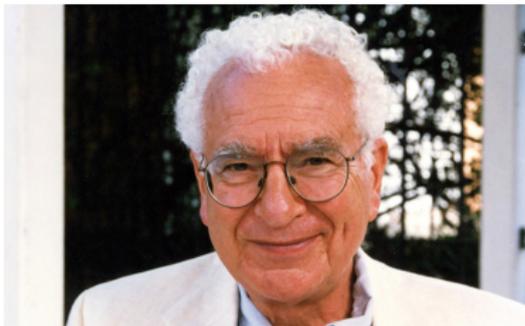
Uno zoo di particelle



Col passare degli anni il numero di particelle subnucleari scoperte aumentava sempre più (“L’avessi saputo avrei fatto il botanico” cit.). Oggi riempie una sorta di grosso elenco del telefono chiamato **Particle Data Book**: non posso avere migliaia di mattoni elementari diversi!

La via dell'ottetto

Tra il 1961 e il '64 il fisico **Murray Gell-Mann** ipotizzò che tutti gli adroni fino ad allora conosciuti e *quelli ancora da scoprire* risultassero dalla **combinazione di 3 mattoni fondamentali**: i **quark** up, down e strange (+ le loro *antiparticelle*)

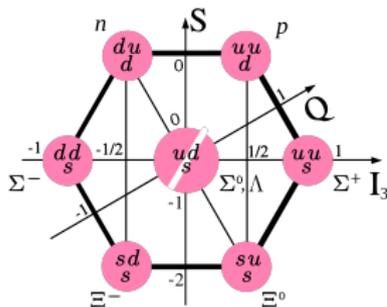
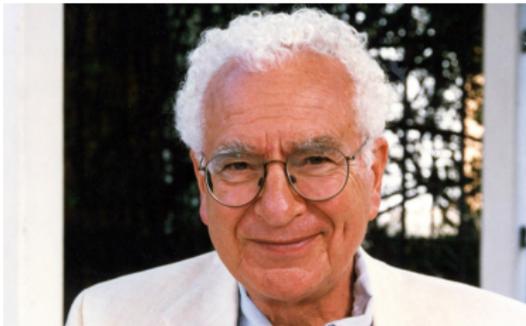


Queste idee furono espone nell'articolo "**The eightfold way**" (via dell'ottetto):

- Le particelle più leggere (i **mesoni**) nascono dalla combinazione di un **quark** con un **antiquark**, dando luogo a un **ottetto** di particelle;

La via dell'ottetto

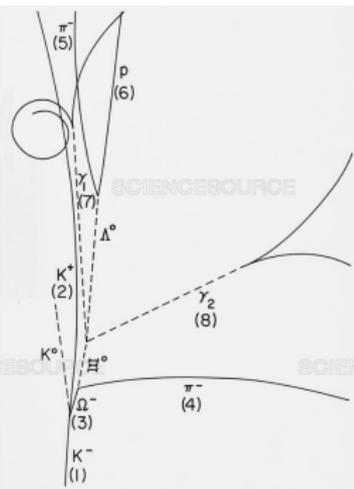
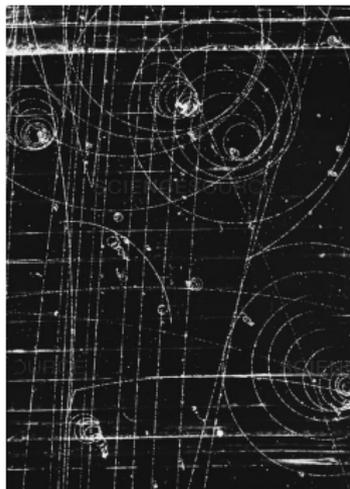
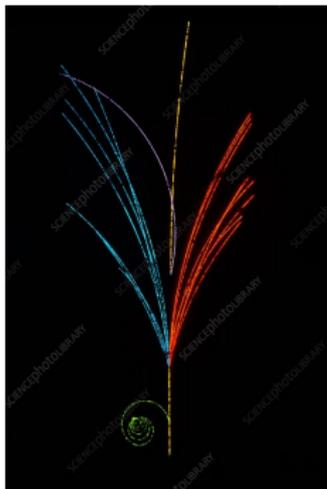
Tra il 1961 e il '64 il fisico **Murray Gell-Mann** ipotizzò che tutti gli adroni fino ad allora conosciuti e *quelli ancora da scoprire* risultassero dalla **combinazione di 3 mattoni fondamentali**: i **quark** up, down e strange (+ le loro *antiparticelle*)



Queste idee furono espone nell'articolo "**The eightfold way**" (via dell'ottetto):

- Le particelle più leggere (i **mesoni**) nascono dalla combinazione di un **quark** con un **antiquark**, dando luogo a un **ottetto** di particelle;
- Le particelle più pesanti (i **barioni**) nascono dalla combinazione di **tre quark**, dando luogo a un **ottetto** e a un **decupletto** di particelle.

Il trionfo del modello a quark



- A sinistra, un **barione Λ** (**uds**) che, privo di carica elettrica, credeva di passare inosservato, ma – decadendo in un pione e in un protone carichi – si è fatto scoprire!
- A destra, un **barione Ω^-** (**sss**) che, prima di decadere, lascia la breve ma inconfondibile traccia del suo passaggio attraverso una scia di bollicine.

I 6 sapori dei quark

three generations of matter (fermions)			
	I	II	III
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
QUARKS	u up	c charm	t top
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d down	s strange	b bottom

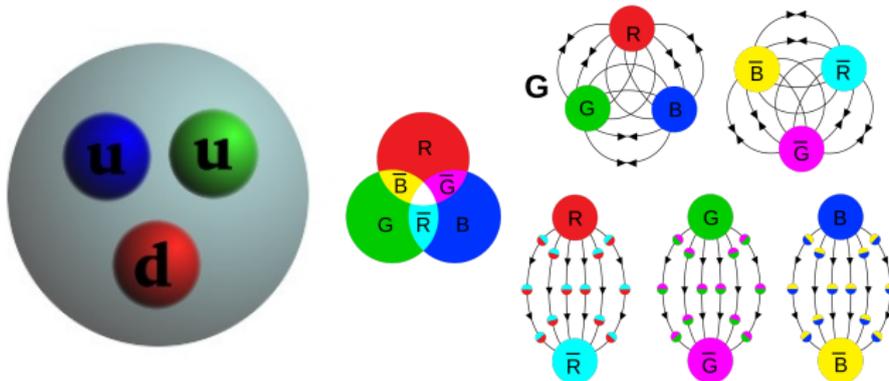
Col passare degli anni il quadro si arricchì. Effettuando esperimenti ad energie sempre più alte (l'equazione di Einstein $E = mc^2$ ci dice che la massa è una forma di energia!) fu possibile produrre particelle sempre più pesanti e fu così che vennero scoperte tre nuove specie (dette *sapori*) di quark: il **charm** (1974) pesante come 1.5 protoni, il **bottom** (1977) pesante come 5 protoni e il **top** (1995) pesante come 180 protoni.

La Cromodinamica Quantistica

Perché gli adroni sono fatti da 3 quark o da un quark e un antiquark? La cosa ha a che fare con una loro particolare carica, detta di **colore**.

La CromoDinamica Quantistica

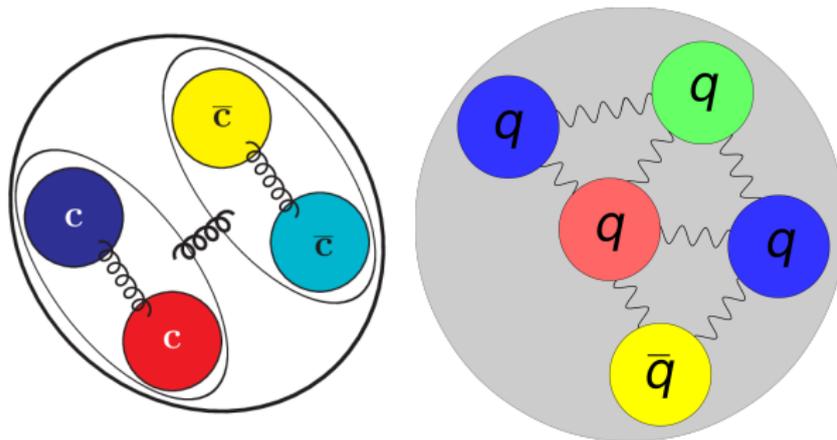
Perché gli adroni sono fatti da 3 quark o da un quark e un antiquark? La cosa ha a che fare con una loro particolare carica, detta di **colore**.



Pensiamo all'elettromagnetismo: un protone (carica elettrica $Q=+1$) tende a combinarsi con un elettrone ($Q=-1$) per formare un atomo di idrogeno neutro ($Q=0$). La stessa cosa avviene con i quark, che devono combinare i loro colori (R, B, G) per dar luogo a un oggetto "bianco". Ciò è possibile in almeno due modi, descritti dalla **CromoDinamica Quantistica**:

- **Barioni**: combinando 3 quark di colori diversi (\sim mescolanza additiva)
- **Mesoni**: combinando un quark con un antiquark di colore opposto (Ciano, Magenta e Giallo, i colori delle stampanti!)

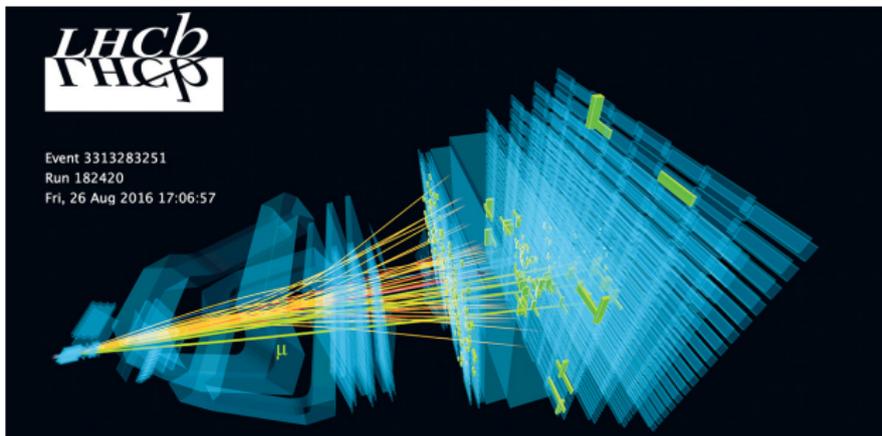
Nuove combinazioni di colori...



Mesoni e barioni non sono le uniche possibili combinazioni di colori possibili! Abbiamo

- Tetraquark
- Pentaquark
- e molto altro da scoprire

Nuove combinazioni di colori...



Mesoni e barioni non sono le uniche possibili combinazioni di colori possibili! Abbiamo

- Tetraquark
- Pentaquark
- e molto altro da scoprire

L'esperimento LHCb al CERN è rivolto anche a queste ricerche

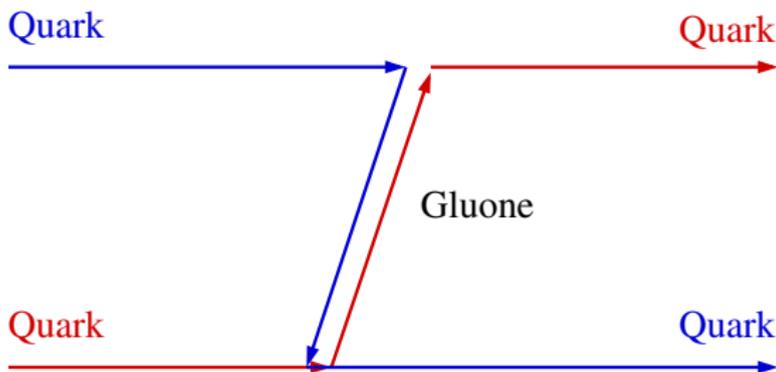
Come un quadro puntinista



I quark sono come i piccoli punti di colori diversi accostati in un quadro di Seurat o di Signac a dare l'immagine finale

Come interagiscono i quark?

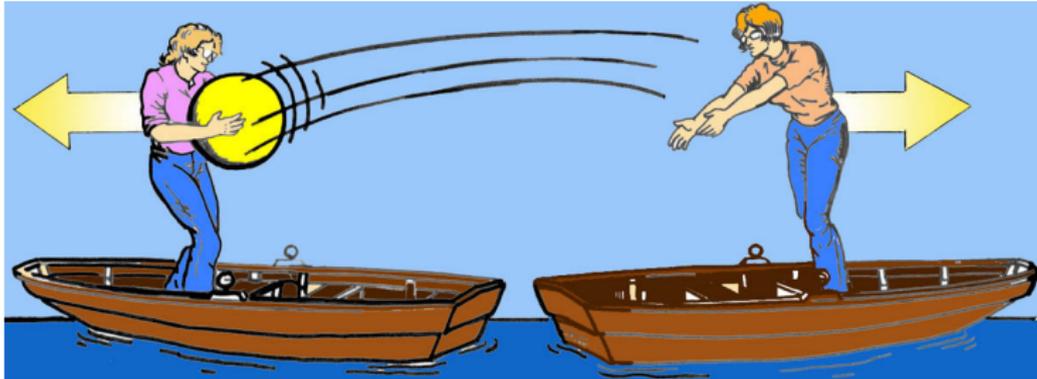
Ogni relazione è uno scambio e i quark comunicano scambiandosi una delle poche cose che hanno: il loro colore!



Il corriere che trasporta i colori scambiati è il **gluone**, vera **colla nucleare** che tiene uniti i quark a formare protoni e neutroni.

Come interagiscono i quark?

Ogni relazione è uno scambio e i quark comunicano scambiandosi una delle poche cose che hanno: il loro colore!



Il corriere che trasporta i colori scambiati è il **gluone**, vera **colla nucleare** che tiene uniti i quark a formare protoni e neutroni.

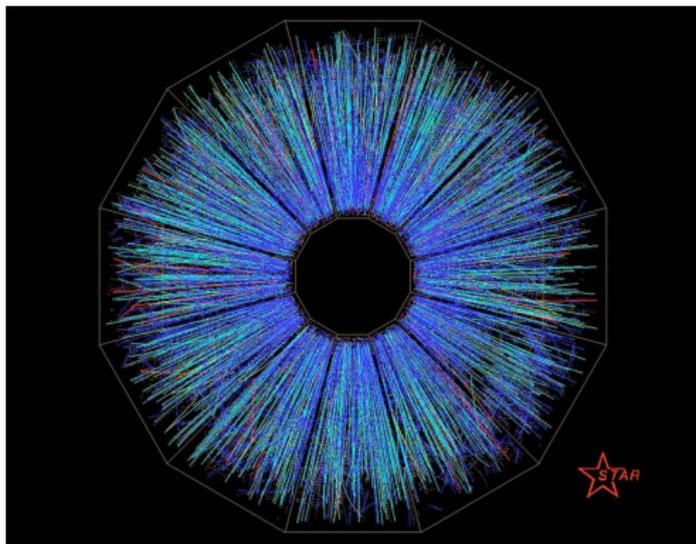
NB Tutta la fisica moderna descrive le **interazioni** come **scambi di particelle**: due corpi possono interagire anche senza venire a contatto!

Una zuppa di quark e gluoni

Come liberare questi punti di colore che formano la grigia materia?

Una zuppa di quark e gluoni

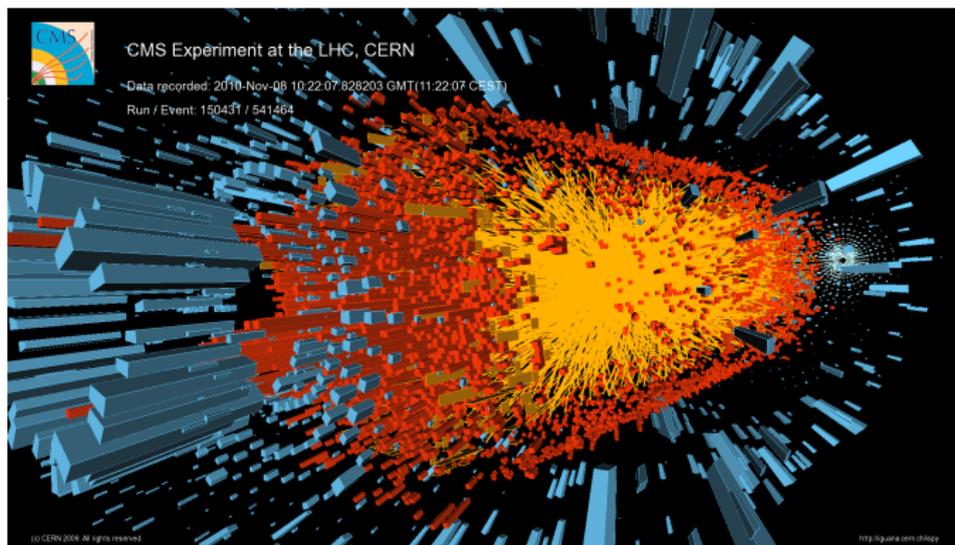
Come liberare questi punti di colore che formano la grigia materia?



I fisici provano a farlo facendo scontrare nuclei pesanti (Pb, Au...) a velocità vicine a quelle della luce, producendo per brevissimi istanti ($10^{-23} - 10^{-22}$ s) una zuppa caldissima di quark e gluoni, che poi purtroppo subito dopo tornano a ricombinarsi

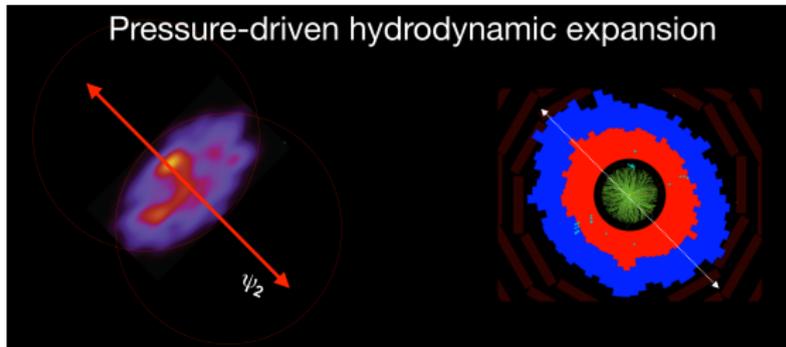
Una zuppa di quark e gluoni

Come liberare questi punti di colore che formano la grigia materia?



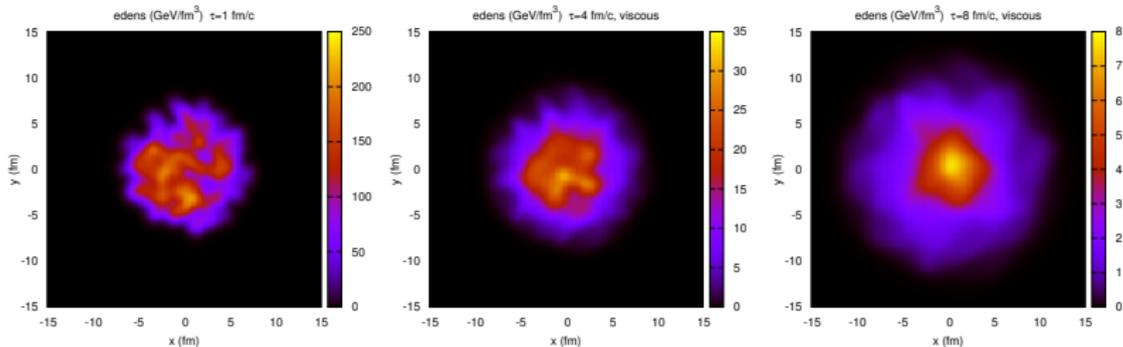
I fisici provano a farlo facendo scontrare nuclei pesanti (Pb, Au...) a velocità vicine a quelle della luce, producendo per brevissimi istanti ($10^{-23} - 10^{-22}$ s) una zuppa caldissima di quark e gluoni, che poi purtroppo subito dopo tornano a ricombinarsi

Un piccolo Big-Bang in laboratorio



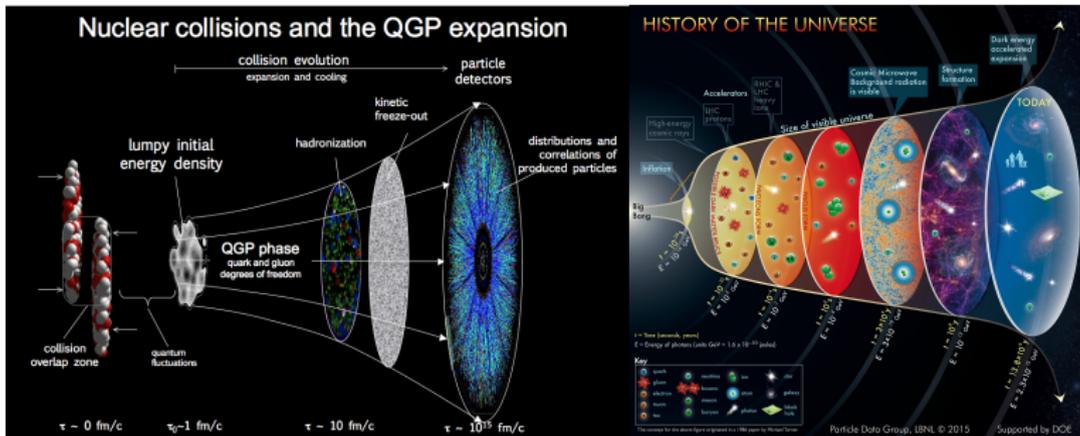
Come si vede, nei singoli eventi, l'energia depositata nei rivelatori non è distribuita simmetricamente, ma tende a dar luogo ad una geometria ellittica, con molta energia depositata lungo un asse e poca lungo quello perpendicolare. L'interpretazione è che, in seguito alla collisione, ci sia un'esplosione (un "Little-Bang"), con una forte accelerazione della materia prodotta lungo la direzione in cui la differenza di pressione è maggiore.

Un piccolo Big-Bang in laboratorio



Come si vede, nei singoli eventi, l'energia depositata nei rivelatori non è distribuita simmetricamente, ma tende a dar luogo ad una geometria ellittica, con molta energia depositata lungo un asse e poca lungo quello perpendicolare. L'interpretazione è che, in seguito alla collisione, ci sia un'esplosione (un "Little-Bang"), con una forte accelerazione della materia prodotta lungo la direzione in cui la differenza di pressione è maggiore. Collisioni più centrali sono caratterizzate da asimmetrie ancora più complesse, descritte da simulazioni idrodinamiche.

Un viaggio indietro nel tempo...



Le **collisioni nucleari** all'LHC, in cui vengono raggiunte temperature superiori ai 1500 miliardi di gradi (150 MeV), **consentono di effettuare un viaggio indietro nel tempo** di **13.8 miliardi di anni**, ai primissimi istanti dopo il Big Bang in cui l'universo era molto più piccolo, denso e caldo di oggi. Circa **10^{-6} s dopo il Big Bang** (confrontare con i 10^{-23} s delle collisioni nucleari!) la temperatura era così alta da rendere **l'universo una zuppa di quark, antiquark e gluoni** (e tutte le particelle più leggere di 150 MeV: elettroni, fotoni e neutrini)

Epilogo: riduzionismo e complessità

L'**approccio** seguito in questa presentazione è stato quello **riduzionista**: si cerca di comprendere la realtà cercando di **conoscere i suoi mattoncini microscopici elementari**. È l'approccio adottato dalla fisica delle particelle. Non è necessariamente l'unico approccio utile per comprendere la natura

Epilogo: riduzionismo e complessità

L'**approccio** seguito in questa presentazione è stato quello **riduzionista**: si cerca di comprendere la realtà cercando di **conoscere** i suoi **mattoncini microscopici elementari**. È l'approccio adottato dalla fisica delle particelle. Non è necessariamente l'unico approccio utile per comprendere la natura



“Impressione al levar del sole” è un capolavoro di Monet. Osservandolo molto da vicino non si ha però modo di rendersene conto, non appare troppo diverso dal disegno di un bambino. **Ne si apprezza pienamente la bellezza solo guardandolo da una certa distanza, acquisendo una visione d'insieme**. Così può succedere nello studio della natura

Epilogo: riduzionismo e complessità

L'**approccio** seguito in questa presentazione è stato quello **riduzionista**: si cerca di comprendere la realtà cercando di **conoscere** i suoi **mattoncini microscopici elementari**. È l'approccio adottato dalla fisica delle particelle. Non è necessariamente l'unico approccio utile per comprendere la natura



“Impressione al levar del sole” è un capolavoro di Monet. Osservandolo molto da vicino non si ha però modo di rendersene conto, non appare troppo diverso dal disegno di un bambino. **Ne si apprezza pienamente la bellezza solo guardandolo da una certa distanza, acquisendo una visione d'insieme.** Così può succedere nello studio della natura