

La ricerca della bellezza attraverso la fisica dell'invisibile

Il cammino verso la scoperta dei principi fondamentali della fisica moderna ha determinato una vera rivoluzione del pensiero costruendo una delle più importanti teorie della scienza. Il senso di meraviglia e mistero verso i fenomeni complessi ha da sempre generato un forte legame tra la scienza che scopre e l'arte che crea.

Il luogo emblema di alcuni dei più grandi successi in fisica negli ultimi 60 anni è il laboratorio internazionale CERN, simbolo di ricerca, tecnologia e collaborazione.

Silvia Maselli (INFN-Torino)



Le parole chiave (non in ordine di apparizione):

- Fisica dell'infinitamente piccolo → componenti fondamentali della natura → visibile/invisibile
- Idee, natura, tecnica → matematica
- Complessità'-riduzionismo
- Simmetria, unificazione
- Bellezza e realtà'

Le Origini della Scienza

Sin dall'antichità l'uomo ha osservato la Natura ed ha cercato di dare delle spiegazioni sul COME e sul PERCHÉ



Scuola di Atene di Raffaello Sanzio 1509

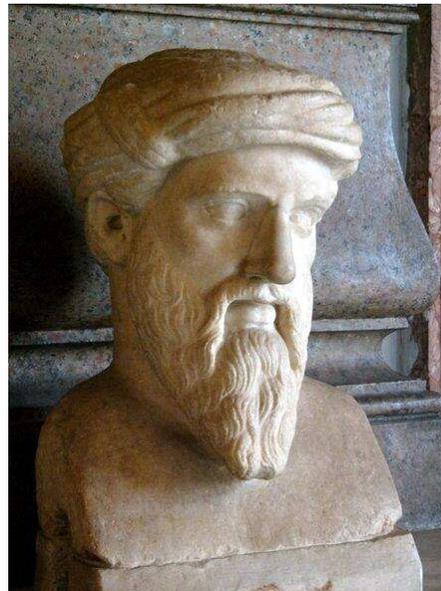
«Tutto e' Numero»

La visione dell'universo dei filosofi dell'antichita' pone le basi della **matematica e della geometria**. L'importanza del concetto di **simmetria** come canone estetico.

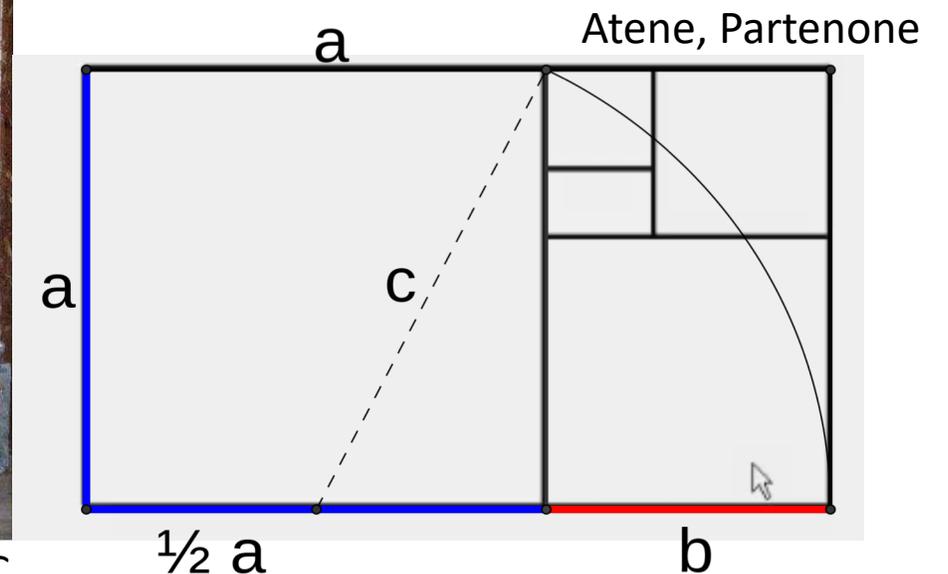
La **sezione aurea** o **costante di Fidia** o **proporzione divina** denota il numero irrazionale ottenuto effettuando il rapporto fra due lunghezze disuguali delle quali la maggiore è medio proporzionale tra la minore e la somma delle due.

$$\varphi = (a+b):a = a : b$$


$$\varphi = 1,6180339887...$$



Pitagora 570 – 490 AC



Origini della Fisica: la Scienza della Natura

φιλοσοφία

Amare la sapienza

φυσικά

«cose naturali»

συμμετρία

La simmetria negli antichi «con misura»

τέχνη

«arte» nel senso di "perizia", "saper fare", "saper operare"

- **Come e' strutturato l'Universo?**
 - Ricerca di un ordine e di regolarita' : simmetria nel moto degli astri
- **Come ha avuto origine?**
 - Sviluppo impetuoso della meccanica celeste: Scoperta di nuovi pianeti, comete
- **Studio degli oggetti sulla terra, cioe' della materia:**
 - Di cosa sono fatte le cose?
 - le leggi (simmetria) che governa la natura
- Mix indistinto di filosofia, scienza, religione, ...
La fisica ragiona sulla natura dei corpi e dei moti terrestri (imperfetti) e celesti (perfetti).
- All'inizio la fisica e' essenzialmente cosmologia

- La terra è al centro dell'universo, i pianeti sono fissi su delle sfere di cristallo e le girano attorno
- I pianeti sono fatti di una materia diversa dalla terra, chiamata 'etere', sono perfetti ed incorruttibili
- In natura tutto è fisso, le specie sono sempre le stesse
- **Tutti i materiali sono fatti da un miscuglio di acqua, aria, fuoco e terra**



Origini della Fisica: Archimede, il primo esempio di unificazione delle leggi della natura

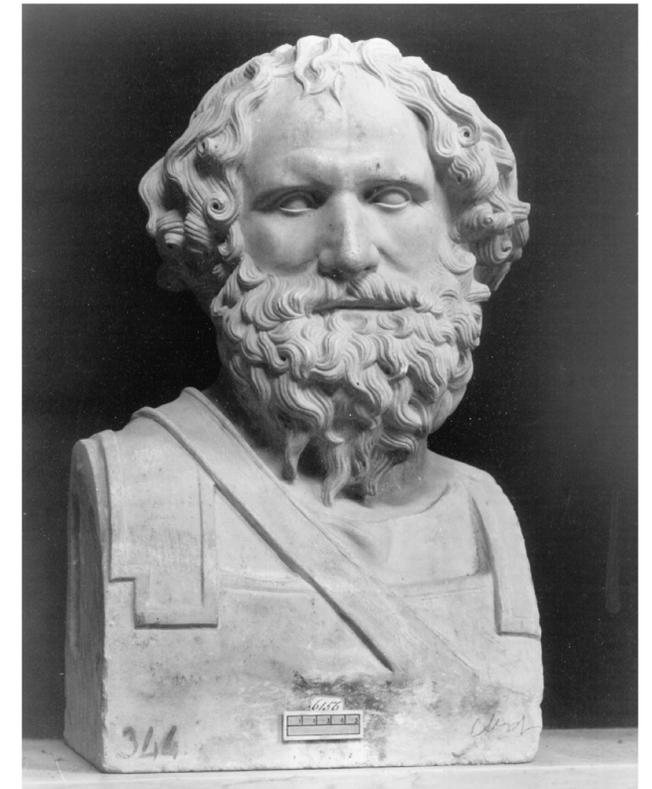


- Archimede si pone problema della **massa**
- **Unificazione delle forze:** tutta la materia viene spinta verso il basso, con intensita' proporzionale al proprio peso

Principio di Archimede:

Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso del fluido spostato

Da una semplificazione dello schema teorico si puo' arrivare ad una teoria piu' profonda che e' piu' accurata della teoria complessa precedente

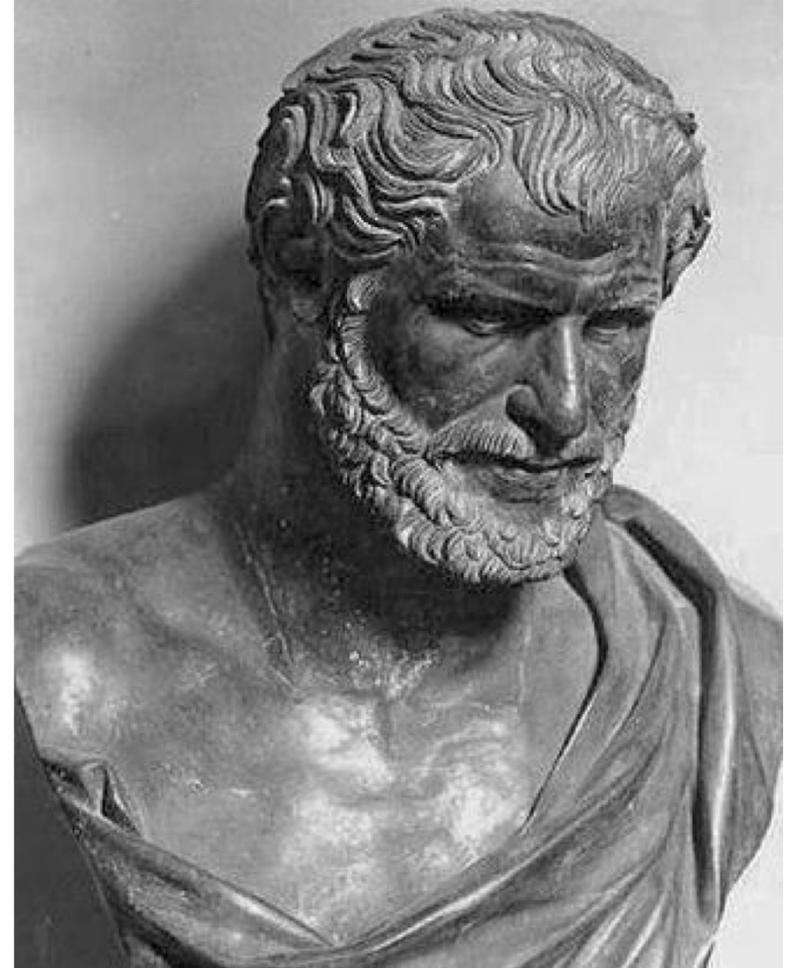


Archimede 287-212 AC

Origini della Fisica: Democrito

Tutta la realtà è costituita da **atomi** che si muovono incessantemente nel vuoto. Gli atomi sono particelle elementari, indivisibili, differenti tra loro solo per caratteristiche quantitative o oggettive come la forma, la grandezza, l'ordine e la posizione, dotate di movimento eterno che è ad esse connaturato.

Gli aspetti qualitativi sono “figli” di differenze quantitative, e pertanto misurabili.



Democrito 460-370 AC

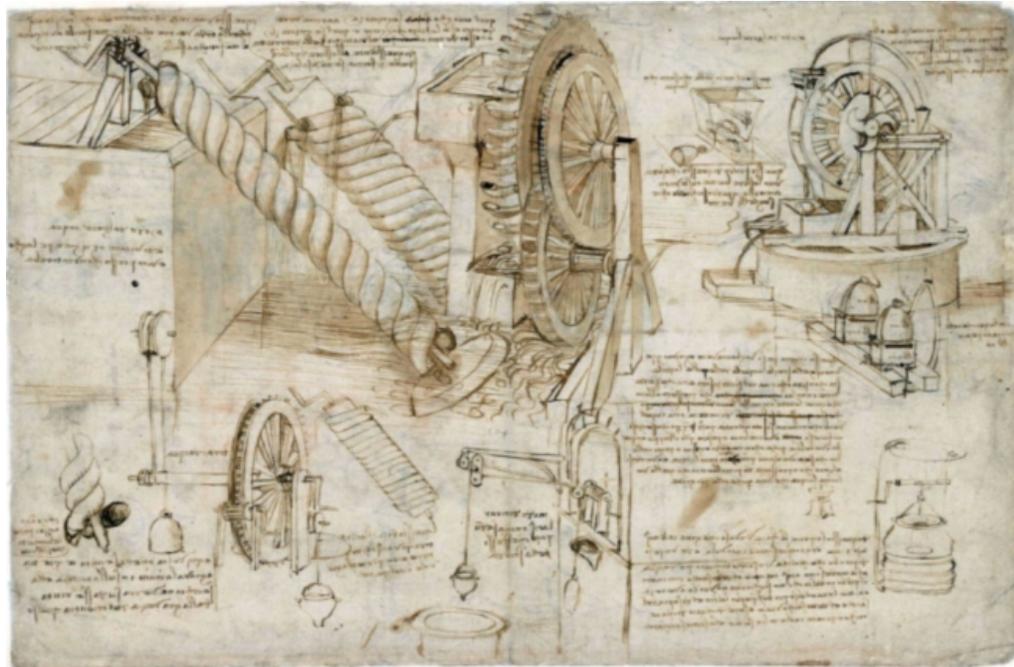
Rivoluzione Scientifica del XV-XVI secolo

Tra il 1400 e il 1600 alcuni grandi personaggi cominciano a proporre cose diverse da quelle accettate da tutti.

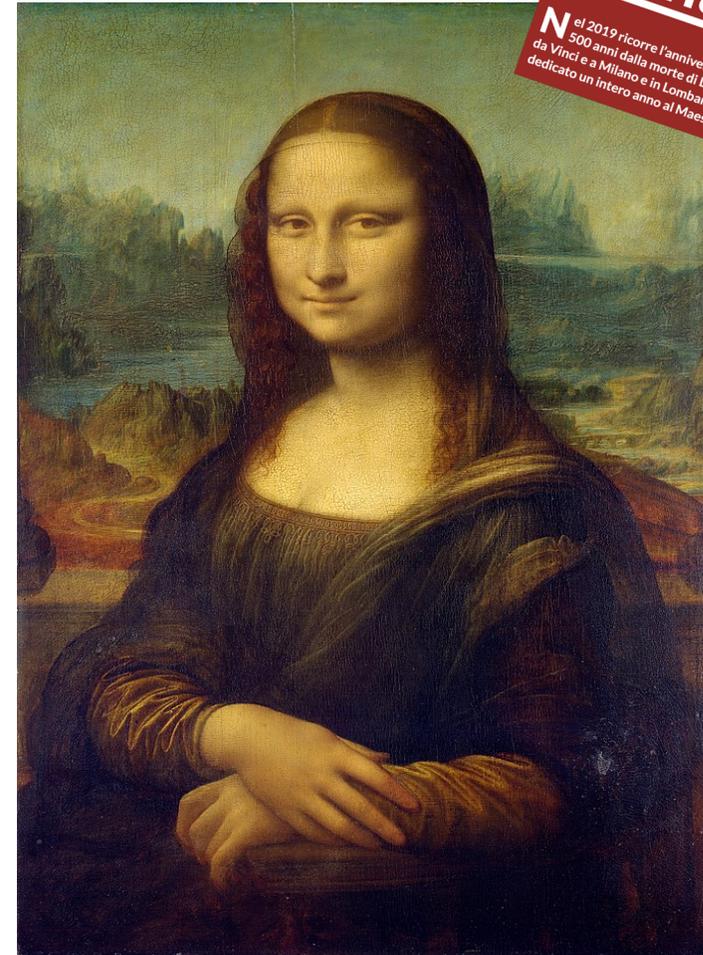
Leonardo da Vinci (1452-1519) costruisce macchine e studia il corpo umano.

Studia macchine semplici per costruirne di più complesse.

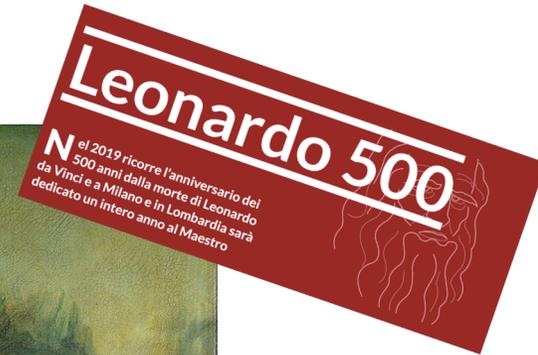
Il meccanismo della vite, delle molle, la trasmissione del moto:



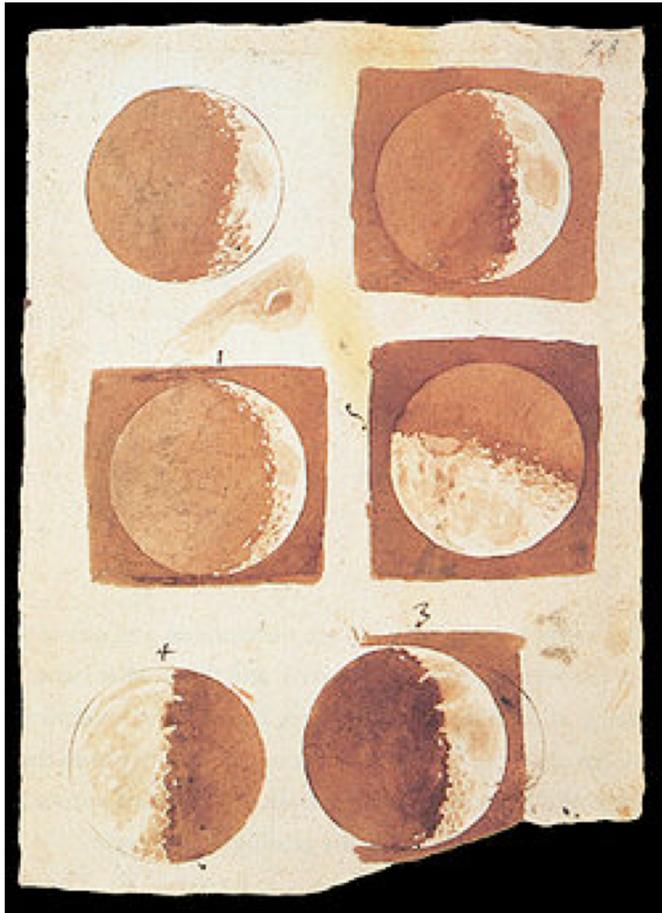
Leonardo, Vite d'Archimede o coclea



Leonardo, La Gioconda 1503



Rivoluzione Scientifica del XV-XVI secolo: Galileo e il Metodo Scientifico

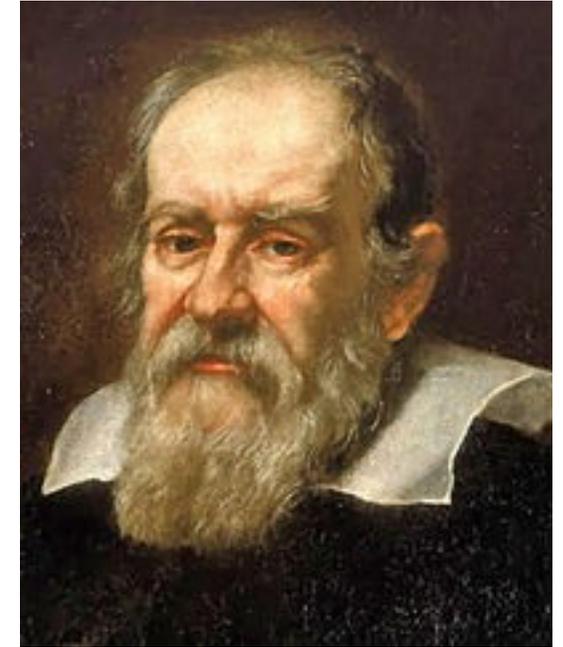


Disegni di Galileo sulla luna

- Studia il moto dei corpi e scrive che Aristotele ha torto
- Legge le teorie di Copernico e Keplero e si dichiara a favore di questo modello: la Terra non è al centro dell'universo
- Appena ha il cannocchiale passa un anno a guardare le stelle e la luna, Giove ed i suoi satelliti

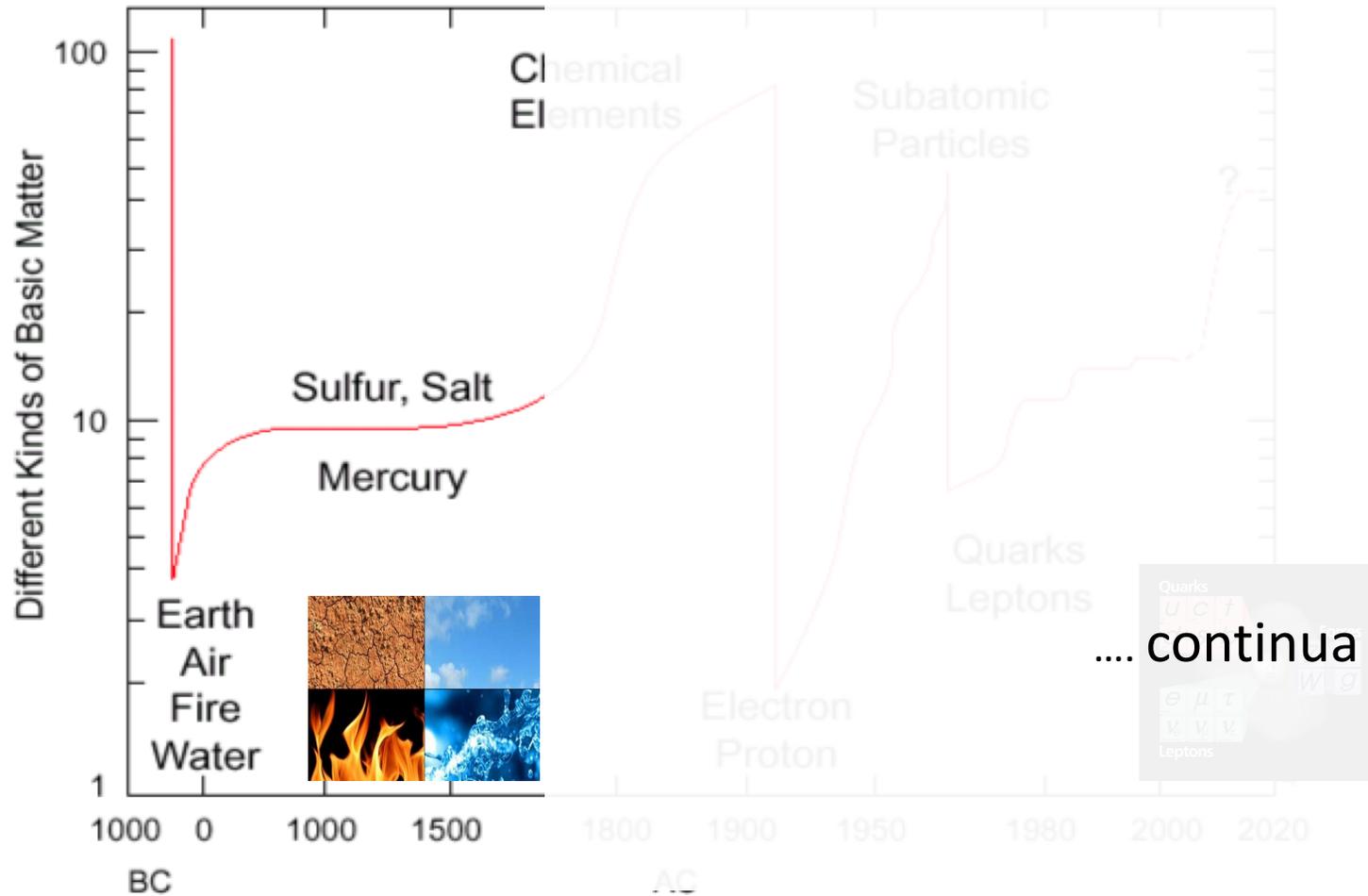
Il più grande contributo di Galileo alla scienza è la realizzazione che per capire la natura bisogna imparare a leggere il linguaggio con cui è scritta: **la matematica.**

- Il **metodo scientifico** si basa sull'osservazione della natura e sul tentativo di ipotizzare delle regole generali (teoria) che possono essere confutate con un esperimento. Quindi il metodo è l'incontro tra l'osservazione e l'astrazione che fa nascere la teoria.
- Una teoria è considerata "giusta" finché un esperimento non la prova "sbagliata".
- Il **metodo di lavoro di Galileo** si basa su questo binomio di **pratica e teoria.**



Galileo Galilei 1564-1642

I Componenti Fondamentali della Materia nella Storia



«Sulle Spalle dei Giganti»: Grandi esempi di unificazione delle leggi della natura

Tre secoli di ricerche teoriche e sperimentali che hanno creato un incredibile corpus scientifico

Fisica Classica

- Meccanica
- Termodinamica
- Elettromagnetismo e Ottica

Un gigantesco contributo da parte di Galileo, Newton, Franklin, Ampere, Gauss, Boltzmann, Maxwell, ... e molti altri

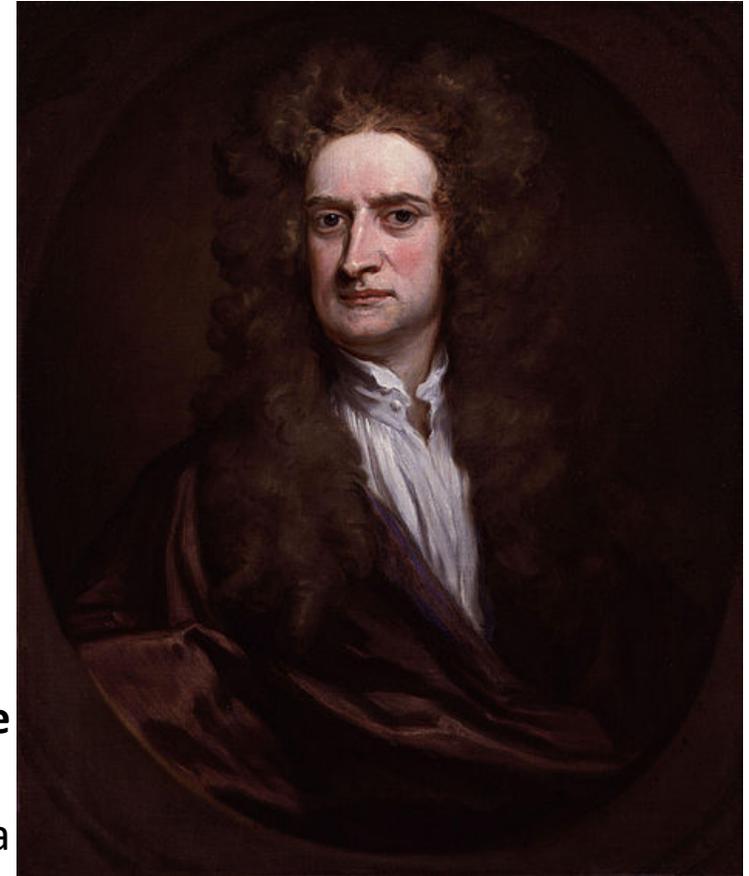
Trionfi Newtoniani : studia il **PERCHE'** del moto dei corpi

Si pone il problema della massa.

Sistema solare = Insieme di molti corpi legati fra loro dalla forza di **gravitazione**

Idea estremamente unificante:

All'origine di tutti i fenomeni di tipo gravitazionale c'è un' unica forza, quella newtoniana

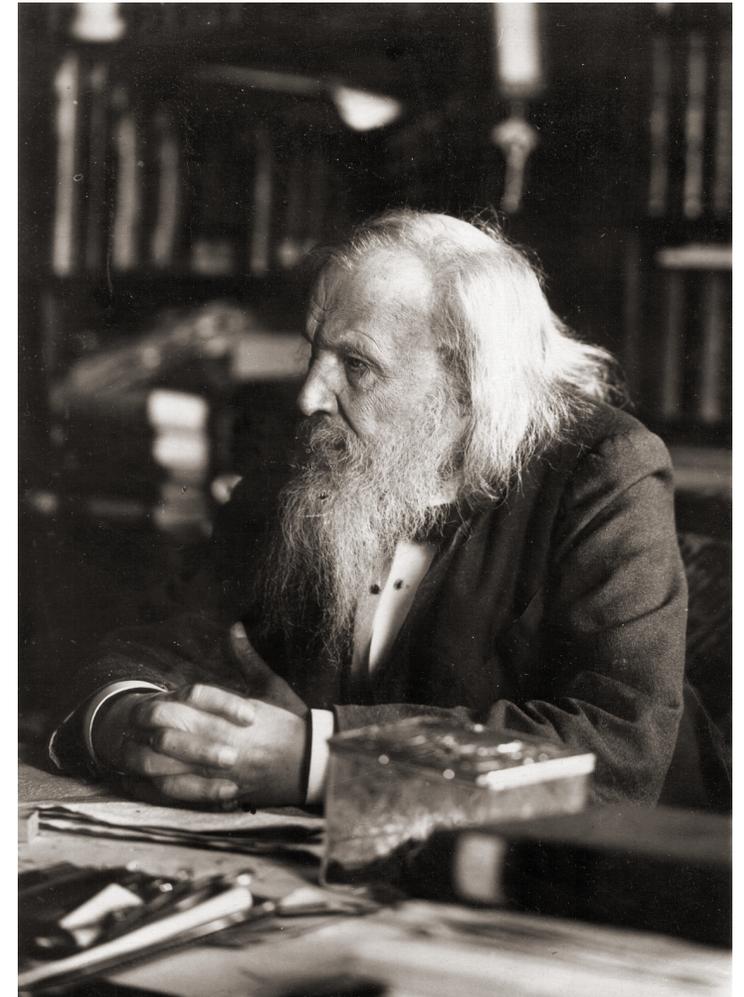


Isaac Newton 1642-1727

I Componenti Fondamentali della Materia alla fine del '800 : la Tavola Periodica degli Elementi

Ordinando i 63 elementi allora noti, secondo il peso atomico crescente si accorse che le proprietà chimiche degli elementi si ripetevano periodicamente.

E arrivo' a predire la scoperta e le caratteristiche degli elementi mancanti.

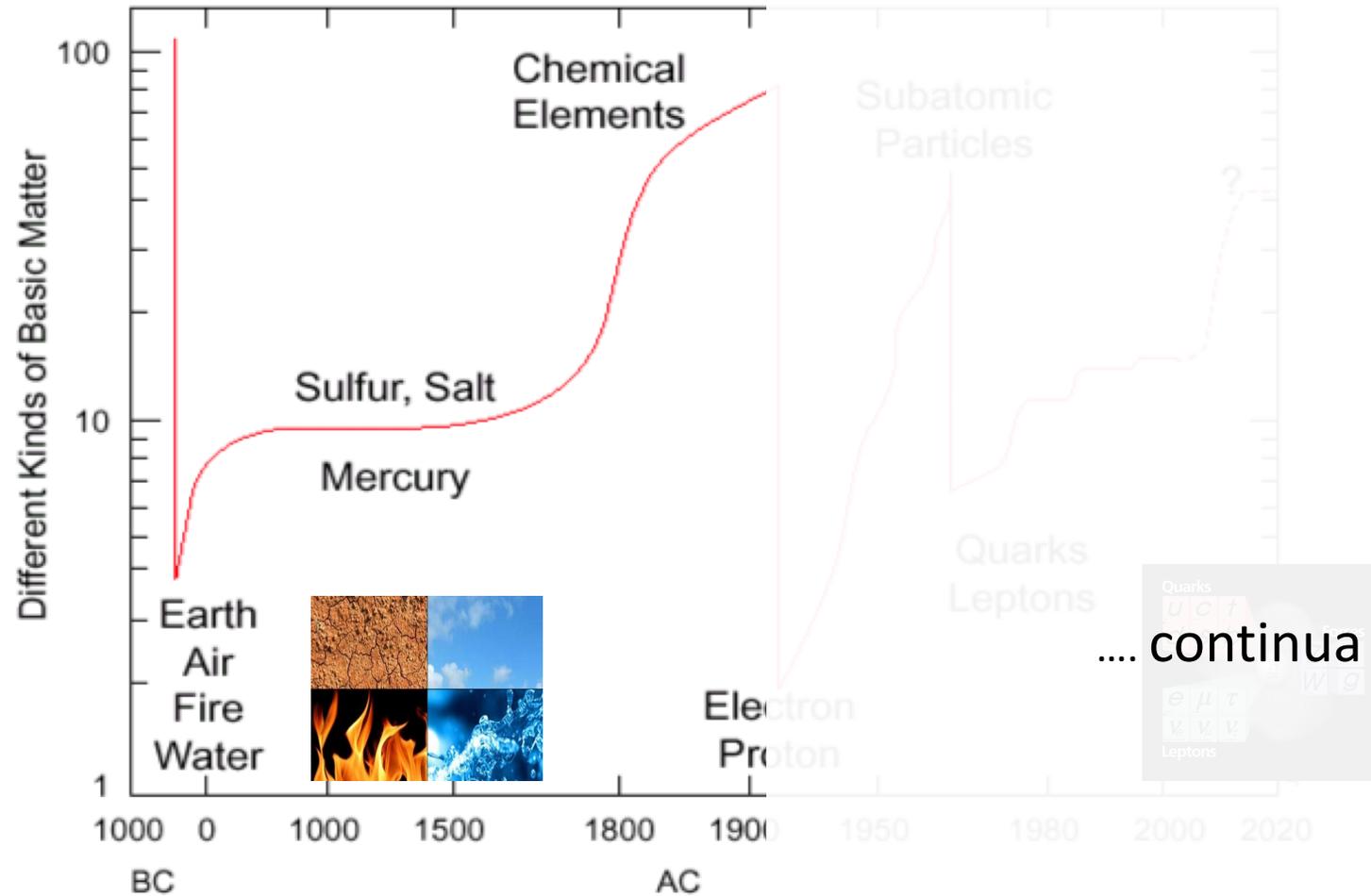


Dmitrij Ivanovič Mendeleev (1834-1907)

Tavola Periodica

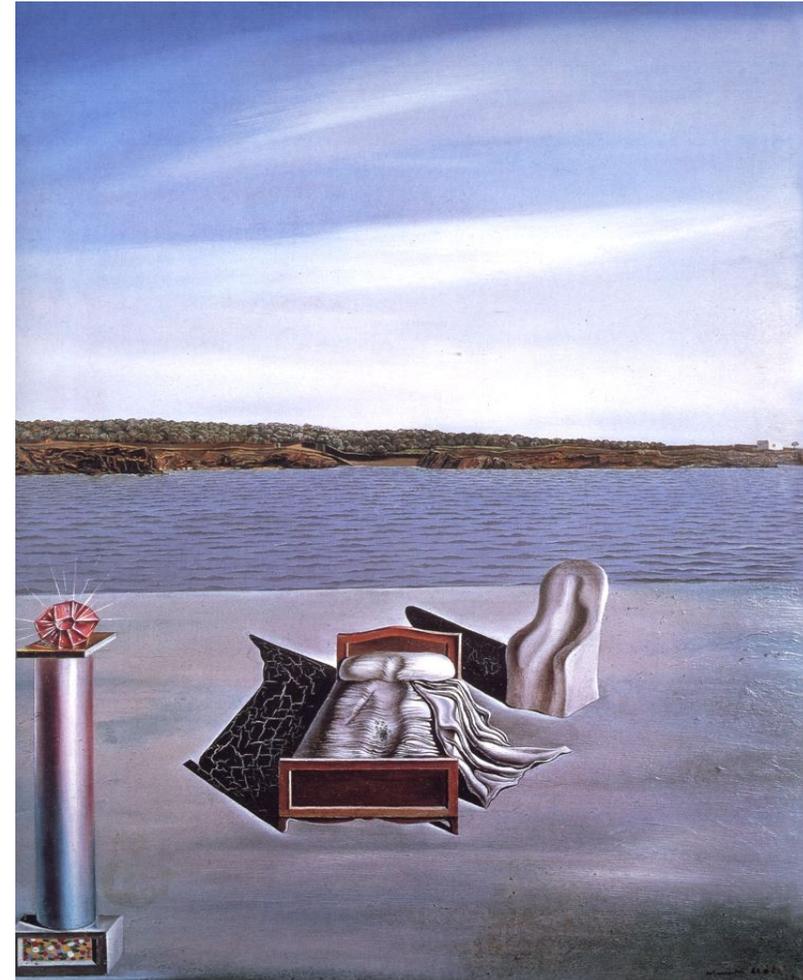
elemento		simbolo		numero atomico (Z)		peso atomico standard (A)		classificazione IUPAC		stato fisico		proprietà chimiche		proprietà fisiche	
1	H	1	H	1	1.008	1	1.008	IA	gas	debolmente acido	solido	1	1.008	1	1.008
2	He	2	He	2	4.003	2	4.003	VIIIA	gas	debolmente acido	gas	2	4.003	2	4.003
3	Li	3	Li	3	6.941	3	6.941	IA	metallo	debolmente acido	solido	3	6.941	3	6.941
4	Be	4	Be	4	9.012	4	9.012	IIA	metallo	debolmente acido	solido	4	9.012	4	9.012
5	B	5	B	5	10.81	5	10.81	IIIA	metalloide	debolmente acido	solido	5	10.81	5	10.81
6	C	6	C	6	12.01	6	12.01	IVA	non metallo	debolmente acido	solido	6	12.01	6	12.01
7	N	7	N	7	14.01	7	14.01	VA	gas	debolmente acido	gas	7	14.01	7	14.01
8	O	8	O	8	16.00	8	16.00	VIA	gas	debolmente acido	gas	8	16.00	8	16.00
9	F	9	F	9	19.00	9	19.00	VIIA	gas	debolmente acido	gas	9	19.00	9	19.00
10	Ne	10	Ne	10	20.18	10	20.18	VIIIA	gas	debolmente acido	gas	10	20.18	10	20.18
11	Na	11	Na	11	22.99	11	22.99	IA	metallo	debolmente acido	solido	11	22.99	11	22.99
12	Mg	12	Mg	12	24.31	12	24.31	IIA	metallo	debolmente acido	solido	12	24.31	12	24.31
13	Al	13	Al	13	26.98	13	26.98	IIIA	metallo	debolmente acido	solido	13	26.98	13	26.98
14	Si	14	Si	14	28.09	14	28.09	IVA	metalloide	debolmente acido	solido	14	28.09	14	28.09
15	P	15	P	15	30.97	15	30.97	VA	gas	debolmente acido	solido	15	30.97	15	30.97
16	S	16	S	16	32.07	16	32.07	VIA	gas	debolmente acido	solido	16	32.07	16	32.07
17	Cl	17	Cl	17	35.45	17	35.45	VIIA	gas	debolmente acido	gas	17	35.45	17	35.45
18	Ar	18	Ar	18	39.95	18	39.95	VIIIA	gas	debolmente acido	gas	18	39.95	18	39.95
19	K	19	K	19	39.10	19	39.10	IA	metallo	debolmente acido	solido	19	39.10	19	39.10
20	Ca	20	Ca	20	40.08	20	40.08	IIA	metallo	debolmente acido	solido	20	40.08	20	40.08
21	Sc	21	Sc	21	44.96	21	44.96	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	21	44.96	21	44.96
22	Ti	22	Ti	22	47.87	22	47.87	IVB	metallo	debolmente acido	solido	22	47.87	22	47.87
23	V	23	V	23	50.94	23	50.94	VB	metallo	debolmente acido	solido	23	50.94	23	50.94
24	Cr	24	Cr	24	52.00	24	52.00	VIB	metallo	debolmente acido	solido	24	52.00	24	52.00
25	Mn	25	Mn	25	54.94	25	54.94	VIB	metallo	debolmente acido	solido	25	54.94	25	54.94
26	Fe	26	Fe	26	55.85	26	55.85	VIII	metallo	debolmente acido	solido	26	55.85	26	55.85
27	Co	27	Co	27	58.93	27	58.93	VIII	metallo	debolmente acido	solido	27	58.93	27	58.93
28	Ni	28	Ni	28	58.69	28	58.69	VIII	metallo	debolmente acido	solido	28	58.69	28	58.69
29	Cu	29	Cu	29	63.55	29	63.55	IB	metallo	debolmente acido	solido	29	63.55	29	63.55
30	Zn	30	Zn	30	65.37	30	65.37	IIB	metallo	debolmente acido	solido	30	65.37	30	65.37
31	Ga	31	Ga	31	69.72	31	69.72	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	31	69.72	31	69.72
32	Ge	32	Ge	32	72.64	32	72.64	IIIB	metalloide	debolmente acido	solido	32	72.64	32	72.64
33	As	33	As	33	74.92	33	74.92	IIIB	metalloide	debolmente acido	solido	33	74.92	33	74.92
34	Se	34	Se	34	78.96	34	78.96	IIIB	metalloide	debolmente acido	solido	34	78.96	34	78.96
35	Br	35	Br	35	79.90	35	79.90	IIIB	metalloide	debolmente acido	gas	35	79.90	35	79.90
36	Kr	36	Kr	36	83.80	36	83.80	VIIIA	gas	debolmente acido	gas	36	83.80	36	83.80
37	Rb	37	Rb	37	85.47	37	85.47	IA	metallo	debolmente acido	solido	37	85.47	37	85.47
38	Sr	38	Sr	38	87.62	38	87.62	IIA	metallo	debolmente acido	solido	38	87.62	38	87.62
39	Y	39	Y	39	88.91	39	88.91	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	39	88.91	39	88.91
40	Zr	40	Zr	40	91.22	40	91.22	IVB	metallo	debolmente acido	solido	40	91.22	40	91.22
41	Nb	41	Nb	41	92.91	41	92.91	VB	metallo	debolmente acido	solido	41	92.91	41	92.91
42	Mo	42	Mo	42	95.94	42	95.94	VIB	metallo	debolmente acido	solido	42	95.94	42	95.94
43	Tc	43	Tc	43	[98.91]	43	[98.91]	VIB	metalloide	debolmente acido	solido	43	[98.91]	43	[98.91]
44	Ru	44	Ru	44	101.07	44	101.07	VIII	metallo	debolmente acido	solido	44	101.07	44	101.07
45	Rh	45	Rh	45	102.91	45	102.91	VIII	metallo	debolmente acido	solido	45	102.91	45	102.91
46	Pd	46	Pd	46	106.42	46	106.42	VIII	metallo	debolmente acido	solido	46	106.42	46	106.42
47	Ag	47	Ag	47	107.87	47	107.87	IB	metallo	debolmente acido	solido	47	107.87	47	107.87
48	Cd	48	Cd	48	112.41	48	112.41	IIB	metallo	debolmente acido	solido	48	112.41	48	112.41
49	In	49	In	49	114.82	49	114.82	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	49	114.82	49	114.82
50	Sn	50	Sn	50	118.71	50	118.71	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	50	118.71	50	118.71
51	Sb	51	Sb	51	121.76	51	121.76	IIIB	metalloide	debolmente acido	solido	51	121.76	51	121.76
52	Te	52	Te	52	127.60	52	127.60	IIIB	metalloide	debolmente acido	solido	52	127.60	52	127.60
53	I	53	I	53	126.91	53	126.91	IIIB	metalloide	debolmente acido	gas	53	126.91	53	126.91
54	Xe	54	Xe	54	131.30	54	131.30	VIIIA	gas	debolmente acido	gas	54	131.30	54	131.30
55	Ba	55	Ba	55	137.33	55	137.33	IIA	metallo	debolmente acido	solido	55	137.33	55	137.33
56	La	56	La	56	138.91	56	138.91	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	56	138.91	56	138.91
57	Ce	57	Ce	57	140.12	57	140.12	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	57	140.12	57	140.12
58	Pr	58	Pr	58	140.91	58	140.91	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	58	140.91	58	140.91
59	Nd	59	Nd	59	144.24	59	144.24	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	59	144.24	59	144.24
60	Pm	60	Pm	60	[144.91]	60	[144.91]	IIIB	metalloide	debolmente acido	solido	60	[144.91]	60	[144.91]
61	Sm	61	Sm	61	150.36	61	150.36	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	61	150.36	61	150.36
62	Eu	62	Eu	62	151.96	62	151.96	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	62	151.96	62	151.96
63	Gd	63	Gd	63	157.25	63	157.25	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	63	157.25	63	157.25
64	Tb	64	Tb	64	158.93	64	158.93	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	64	158.93	64	158.93
65	Dy	65	Dy	65	162.50	65	162.50	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	65	162.50	65	162.50
66	Ho	66	Ho	66	164.93	66	164.93	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	66	164.93	66	164.93
67	Er	67	Er	67	167.26	67	167.26	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	67	167.26	67	167.26
68	Tm	68	Tm	68	168.93	68	168.93	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	68	168.93	68	168.93
69	Yb	69	Yb	69	173.05	69	173.05	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	69	173.05	69	173.05
70	Lu	70	Lu	70	174.97	70	174.97	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	70	174.97	70	174.97
71	Sc	71	Sc	71	44.96	71	44.96	IIIB	metallo	debolmente acido	solido	71	44.96	71	44.96
72	Ti	72	Ti	72	47.87	72	47.87	IVB	metallo	debolmente acido	solido	72	47.87	72	47.87
73	V	73	V	73	50.94	73	50.94	VB	metallo	debolmente acido	solido	73	50.94	73	50.94
74	Cr	74	Cr	74	52.00	74	52.00	VIB	metallo	debolmente acido	solido	74	52.00	74	52.00
75	Mn	75	Mn	75	54.94	75	54.94	VIB	metallo	debolmente acido	solido	75	54.94	75	54.94
76	Fe	76	Fe	76	55.85	76	55.85	VIII	metallo	debolmente acido	solido	76	55.85	76	55.85
77	Co	77	Co	77	58.93	77	58.93	VIII	metallo	debolmente acido	solido	77	58.93	77	58.93
78	Ni	78	Ni	78	58.69	78	58.69	VIII	metallo	debolmente acido	solido	78	58.69	78	58.69
79	Cu	79	Cu	79	63.55	79	63.55	IB	metallo	debolmente acido	solido	79	63.55	79	63.55
80	Zn	80	Zn	80	65.37	80	65.37	IIB	metallo	debolmente acido	solido	80	65.37	80	65.37
81	Ga	81	Ga	81	69.72	81	69.72	IIIB	metallo	debolmente					

I Componenti Fondamentali della Materia nella Storia



La complessita' della fisica moderna: il visibile e l'invisibile

- Le simmetrie e il riduzionismo
- Nuovi paradigmi : la Relativita' e la Meccanica Quantistica
- La fisica dell'invisibile: La fisica delle particelle e lo Standard Model

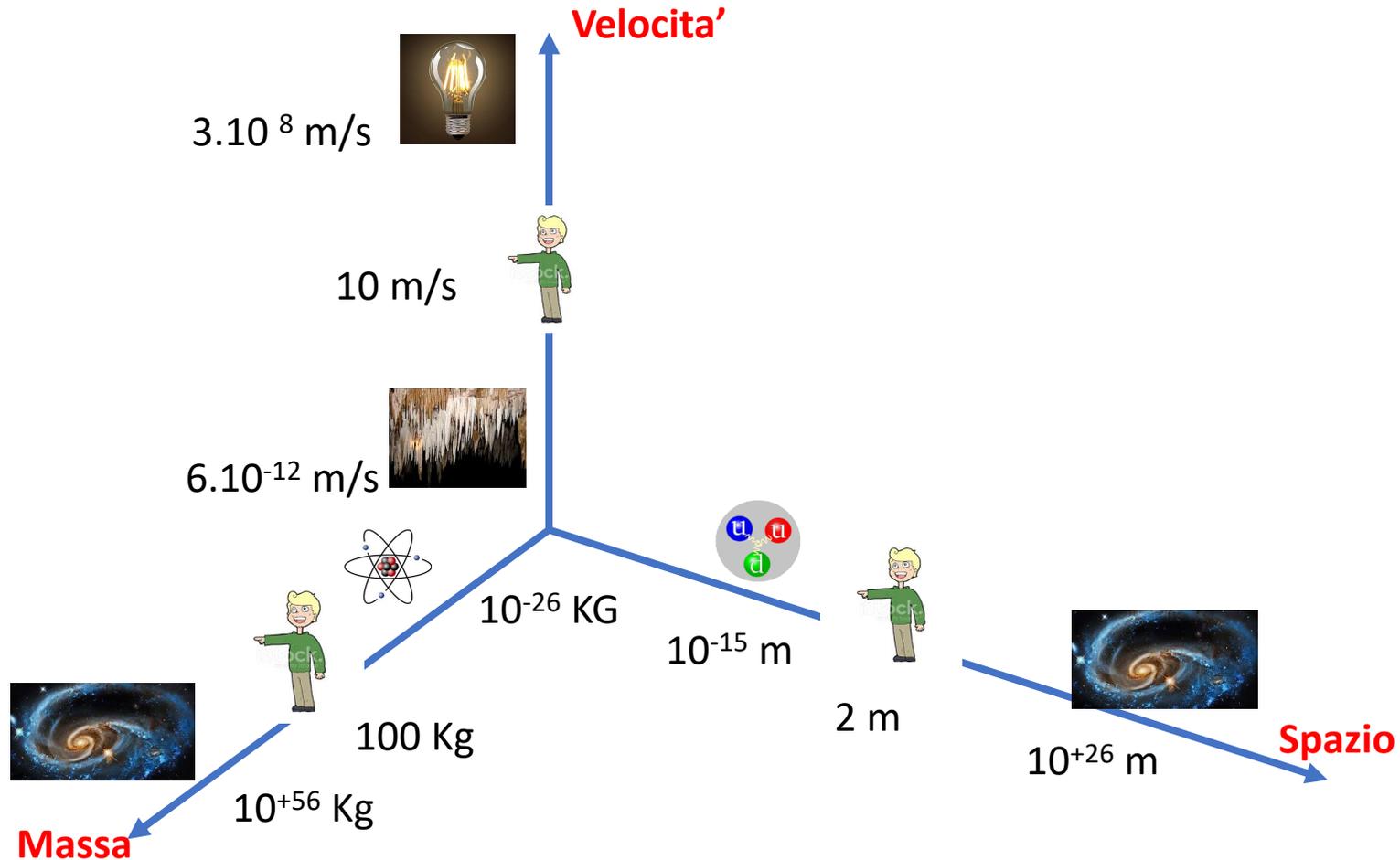


Salvador Dalí, Surrealist Composition with Invisible Figures 1936

La scala della Natura e dell'Uomo

Quando la misura della Natura cambia la scale di grandezza c'è bisogno di nuove leggi della fisica. Due nuovi paradigmi sono necessari per spiegare i fenomeni del mondo microscopico scoperti tra la fine dell' 800 e l'inizio del 900:

- **Meccanica quantistica**
- **Relatività Speciale**



Riduzionismo

Quello che ci circonda è estremamente **complesso**, spesso la sovrapposizione di moltissime cose diverse. Il riduzionismo è il processo fondamentale usato in fisica per la comprensione della realtà.

Esempio: quali sono gli elementi di base di questa torta:
Uova, farina, zucchero, panna, cioccolato frutta...
cibi complessi sono fatti da ingredienti semplici

Le proprietà dei sistemi complessi si possono interpretare in termini delle proprietà delle parti più semplici che li compongono e delle forze che intervengono a comporli.

Ogni ulteriore livello di “riduzione” porta con se` una grande quantità di informazioni, **il passaggio da un livello a quello successivo avviene attraverso lo studio di simmetrie che indicano la presenza di una sotto-struttura**

La fisica ha fatto enormi progressi utilizzando il riduzionismo nella comprensione delle leggi dell’universo suddividendo le parti in piccole parti e capirle una a una. **Le simmetrie aiutano a trovare le parti costituenti delle cose.**



Quali sono i componenti fondamentali di questa torta ?

Riduzionismo

Le simmetrie aiutano a trovare le parti costituenti delle cose

«La Natura (o ciò che ne vedo) mi ispira, mi mette, come ogni altro pittore, in uno stato emozionale che mi provoca un'urgenza di fare qualcosa, ma voglio arrivare più vicino possibile alla verità e astrarre ogni cosa da essa, fino a che non raggiungo le fondamenta. »



Piet Mondrian (1872-1944)

Simmetrie

Da un punto di vista estetico, sin dall'inizio dei tempi, l'uomo ha un'esigenza profonda di simmetria che è associata all'idea di bellezza e all'ideale di perfezione. La simmetria ci permette di semplificare la realtà, estrapolando al tutto la comprensione di una parte



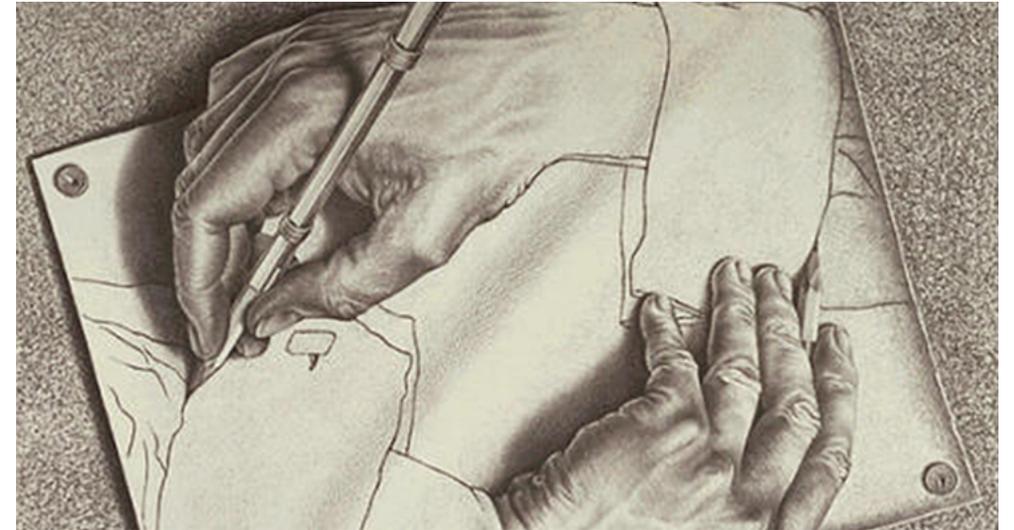
Amalie Emmy Noether
1882-1935

Teorema di Noether

Per ogni simmetria continua delle leggi della Fisica esiste una legge di conservazione.

Per ogni legge di conservazione esiste una simmetria continua.

Le leggi di conservazione sono conseguenza dell'invarianza delle leggi Fisiche a talune operazioni di simmetria.



Mani che disegnano Escher 1947

Le Tre Grandi Simmetrie dello Spazio e Tempo

- **Lo spazio è omogeneo**

Un esperimento effettuato in un posto da gli stessi risultati se esso è ripetuto nelle stesse condizioni in un altro posto.

- **Lo spazio è isotropo**

Se effettuiamo un esperimento e quindi ruotiamo l'apparato sperimentale in una nuova posizione il risultato sarà identico.

- **Il tempo è omogeneo**

Se si effettua un esperimento ora e lo si ripete in una data successiva i risultati non cambieranno

Le leggi della Fisica sono invarianti per traslazioni nello spazio

Conservazione della quantità di moto

Le leggi della Fisica sono invarianti per rotazioni nello spazio

Conservazione del momento angolare

Le leggi della Fisica sono indipendenti dal tempo

Legge di Conservazione dell'Energia

Simmetrie Discrete e Simmetrie Nascoste

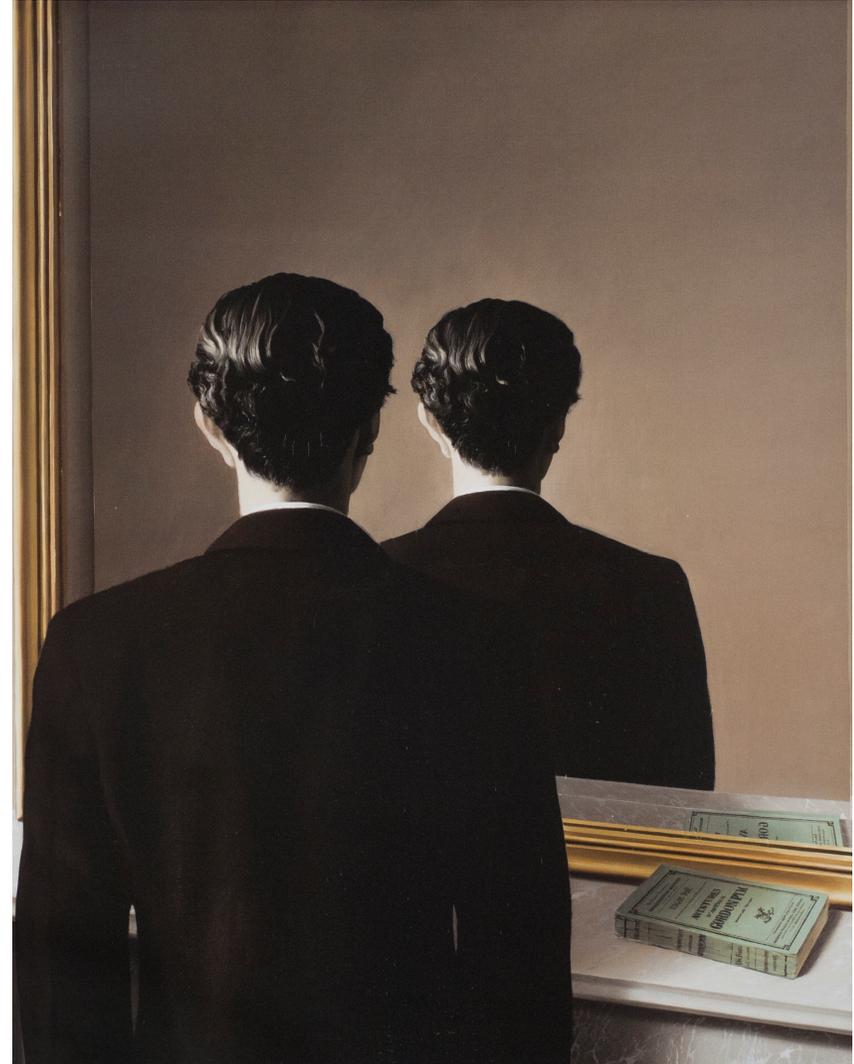
Altre proprietà intrinseche che ci attendiamo nello studio della Natura sono le simmetrie discrete

Simmetria P per riflessione (parità)

Simmetria C per la coniugazione di carica (materia-antimateria)

Simmetria T per inversione temporale

- Viviamo in un mondo memore della simmetria ma con qualche difetto; **possiamo restaurare la perfezione riavvicinandoci al momento della creazione dell'Universo**
- Il XX secolo dai fisici è stato definito "il secolo della simmetria", per l'importanza avuta da questo concetto nello sviluppo scientifico. Ma in realtà spesso non è una simmetria, ma la violazione di una simmetria ad aprire nuove porte per la comprensione della natura.
- **Nella vera bellezza la simmetria ha sempre qualche imperfezione...**

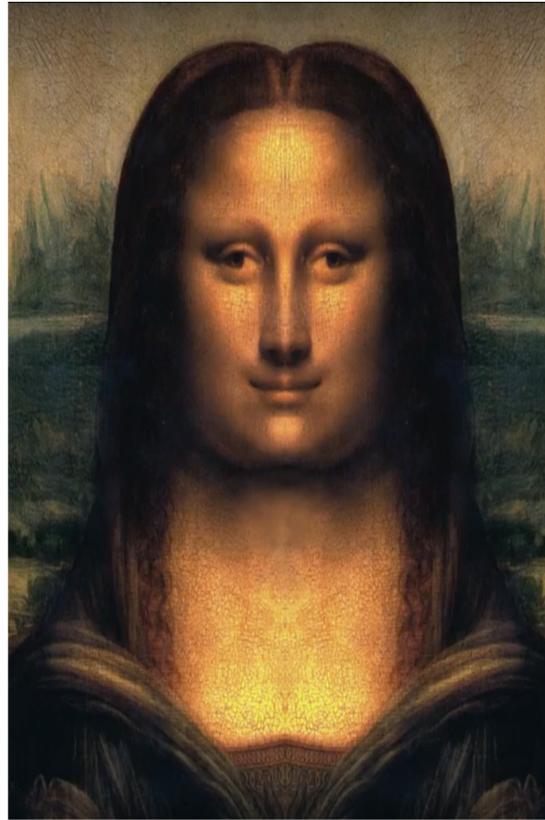


Riproduzione vietata di Magritte 1937

Simmetrie Discrete e Simmetrie Nascoste



Leonardo, La Gioconda



Si dice che i tessitori di tappeti inserivano volutamente un piccolo difetto nelle loro trame simmetriche. Temevano che dentro una simmetria troppo perfetta le loro anime sarebbero rimaste imprigionate per l'eternità.

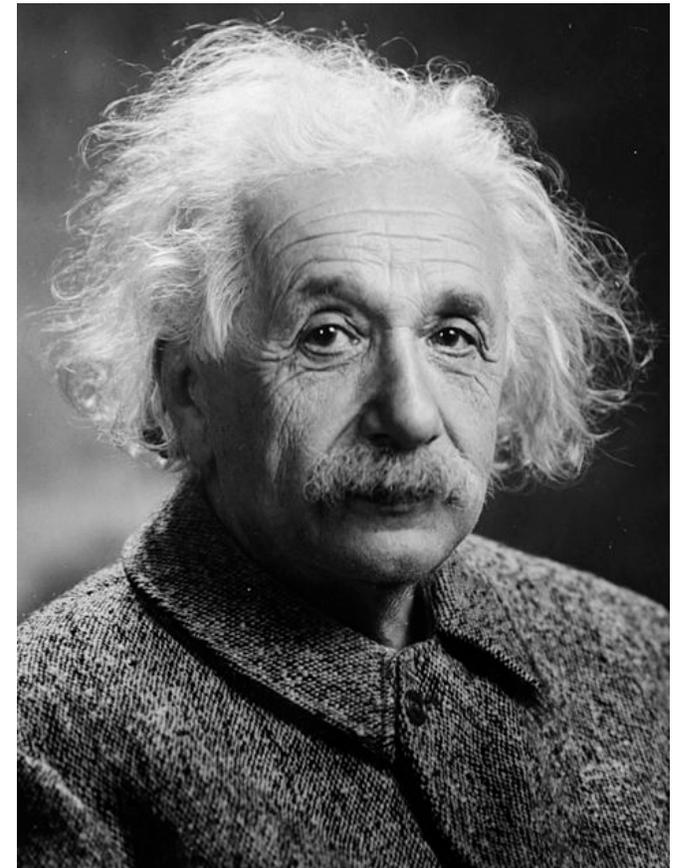
Einstein e la Relativita' Speciale

- **Postulati della Relativita' Speciale**

- Tutte le leggi fisiche in **sistemi di riferimento inerziali** (sistemi che si muovono a velocita' costante) devono avere la stessa forma matematica -> relativita' Galileiana
- **La velocita' della luce deve essere la stessa in tutti i sistemi di riferimento**


$$C = 299792458.000 \text{ m/s}$$

- Quindi c'era bisogno di trasformazioni che mantenessero le stesse leggi per tutti i sistemi inerziali
- Per formulare queste trasformazioni anche **il tempo e lo spazio dovevano trasformarsi** passando da un sistema ad un altro.
- Si giunse alle trasformazioni di Lorentz
- Per velocita' molto piu' piccole della velocita' della luce ci si riconduce alle trasformazioni di Galileo

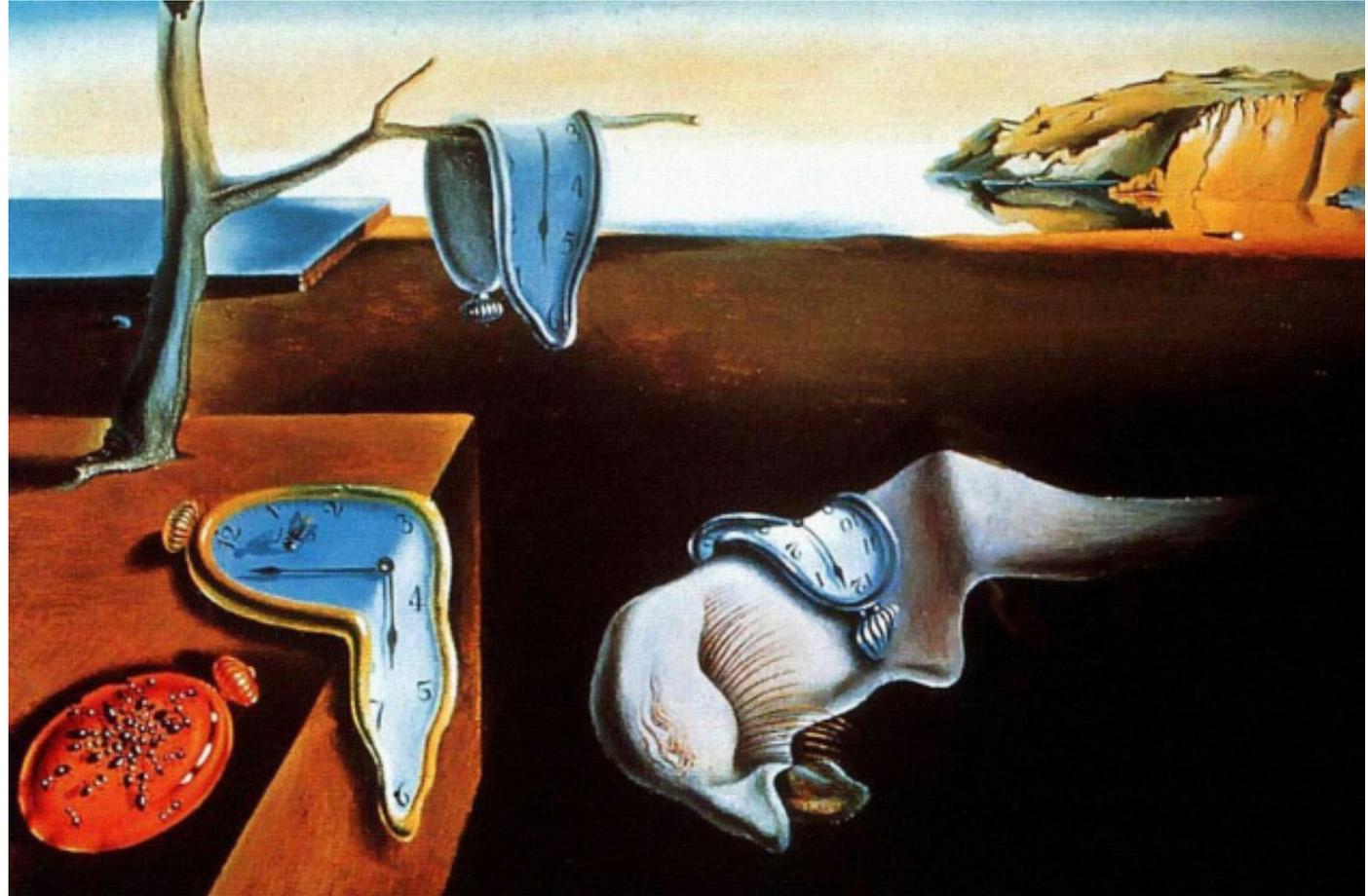


Albert Einstein 1879-1955

Einstein e la Relativita' Speciale

Conseguenze:

- lo spazio ed il tempo non sono quantita' indipendenti
- Non c'e' uno spazio assoluto ed un tempo assoluto
- Nessun oggetto puo' superare la velocita' della luce
- Non simultaneita' degli eventi in sistemi indipendenti
- Contrazione dello Spazio
- Dilatazione del Tempo
- Diversi osservatori vedono una realta' differente



1904 - 1989 Dalí, La persistenza della memoria (1931)

Il Tempo e lo Spazio: i punti di vista dell'Ossevatore

Lo spazio e tempo possono cambiare geometrie e reciproche dimensioni.

1907 Opera che apre la strada alla stagione cubista.
800 studi preparatori in cui l'artista cerca un nuovo modo di rappresentare le forme e lo spazio.
Lo **spazio e il tempo sono scomposti** in volumi bidimensionali distinti ma "**simultaneamente**" percepiti da postazioni diverse dei vari osservatori .
Donna seduta a destra vista simultaneamente da **diverse angolazioni**.



Picasso, Les demoiselles d'Avignon -1907

E' l'equazione che stabilisce l'equivalenza e il fattore di conversione tra l'energia e la massa di un sistema fisico. "E" indica l'energia contenuta o emessa da un corpo, "m" la sua massa e "c" la costante velocità della luce nel vuoto.



- Si pone il problema della massa (principio di equivalenza)
- La relatività speciale associa il tempo e lo spazio, la massa e l'energia
- Un corpo se possiede una velocità ha un'energia cinetica, se ci mettiamo nel sistema di riferimento del corpo la sua velocità sarà nulla, ma il corpo ha ancora l'energia legata alla sua massa.
- Se faccio variare l'energia di un corpo allora ne faccio variare anche la massa
- Da questa equazione deriva che un corpo non può superare la velocità della luce

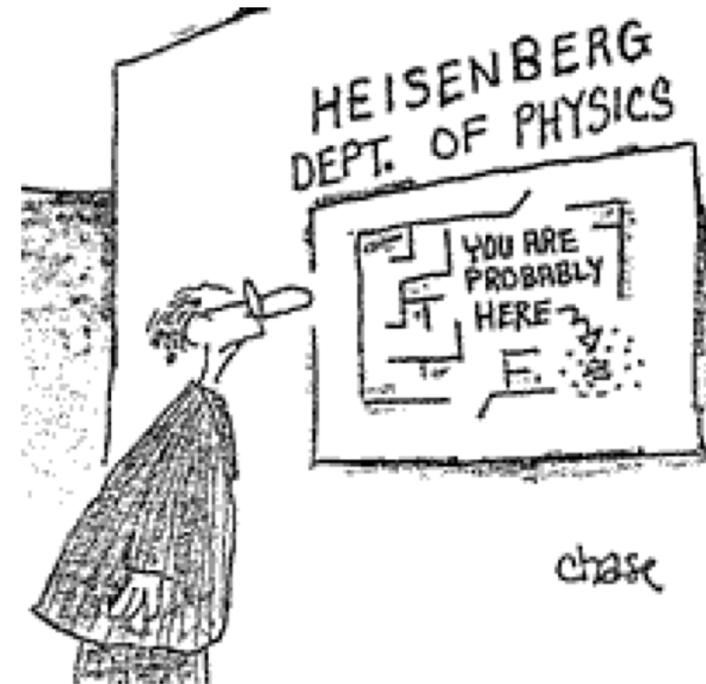
Meccanica Quantistica

Una delle teorie piu' contro-intuitive mai pensata dall'uomo ma che spiega perfettamente il comportamento della materia nel mondo microscopico.

«Nessuno la comprende davvero» ha detto nel 1965 **Richard Feynman**, uno dei fisici più brillanti della sua generazione.

I pilastri della teoria:

- Nel mondo microscopico, le quantità fisiche come l'energia non possono essere scambiate in modo "continuo" ma attraverso "pacchetti" detti "quanti". **Bohr** applica l'idea della quantizzazione energetica agli atomi. Gli elettroni possono esistere in certe orbite conosciute come stati quantici.
- La luce è composta da corpuscoli di energia detti "fotoni"; e anche gli atomi possono assorbire questa energia soltanto a pacchetti: (effetto fotoelettrico -**Einstein**)
- Tutte le particelle hanno una doppia natura: «In alcuni esperimenti si comportano come corpuscoli, in altri come onde». (**De Broglie**)
- Principio di indeterminazione, formulato nel 1927 dal fisico tedesco **Werner Heisenberg**. Quindi, se vogliamo descrivere il comportamento di un elettrone in un atomo, possiamo solo affermare che è localizzato in una nube intorno al nucleo, e **la meccanica quantistica ci indica la probabilità** che, effettuando una misura, l'elettrone si trovi in un certo punto.



Meccanica Quantistica – Misurare le Onde

Il principio di indeterminazione di Heisenberg (1927)

Nelle **onde di probabilità** che rappresentano una particella non possiamo misurare con precisione simultaneamente la **posizione** x e la **quantità di moto** p . Le incertezze sulle due grandezze, infatti, devono rispettare la relazione

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Un'altra coppia di grandezze fisiche che non possono essere misurate simultaneamente con precisione sono **l'energia** E e il **tempo** t

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

In intervalli di tempo brevi l'energia di un sistema può avere fluttuazioni grandi. **Nel vuoto, ad esempio, dove l'energia dovrebbe essere invariabilmente nulla, l'energia può fluttuare per brevi istanti, facendo emergere «dal nulla» particelle, massa ed energia destinate a «sparire» dopo un breve istante.**

Il numero che caratterizza la Meccanica Quantistica è la costante di **Planck**

$$h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$



(1912-1956) Jackson Pollock, Alchimia 1947

Fondatore di un'estetica nuova dell'Action Painting basata sul segno e sulla macchia. L'idea basata sul principio d'indeterminazione, parte dall'idea dell'impossibilità di fissare in maniera determinata il fenomeno artistico. L'arte non è il risultato di un'azione ma la stessa azione nel momento in cui avviene.

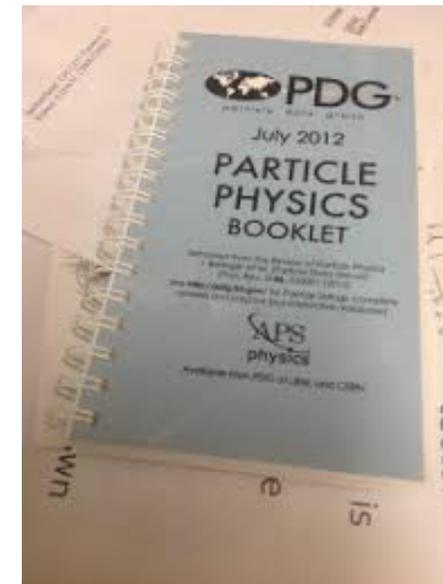
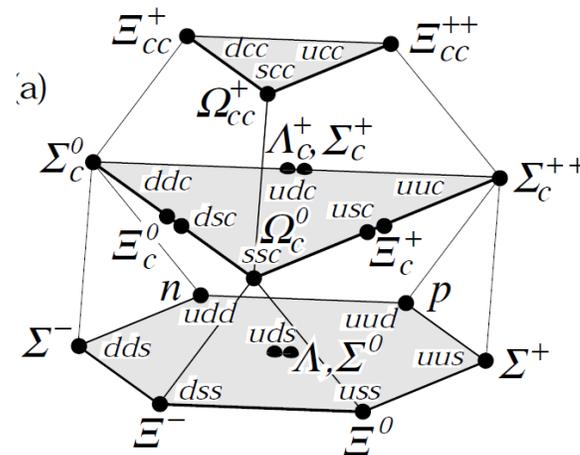
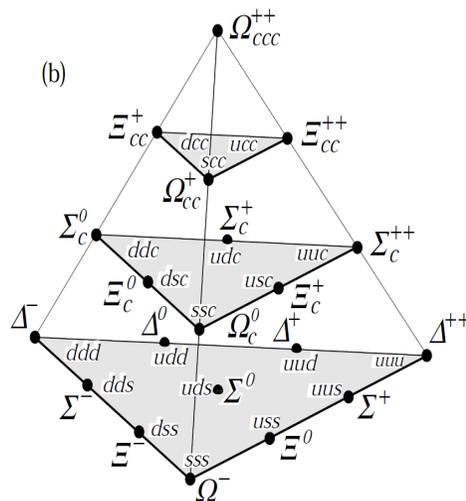
Da punto di vista sperimentale: Lo Zoo delle particelle

Durante la prima meta' del '900 le innovazioni tecnologiche hanno permesso la ricerca e la scoperta del mondo subatomico. Nascono i primi acceleratori di particelle, e i primi rivelatori di particelle.

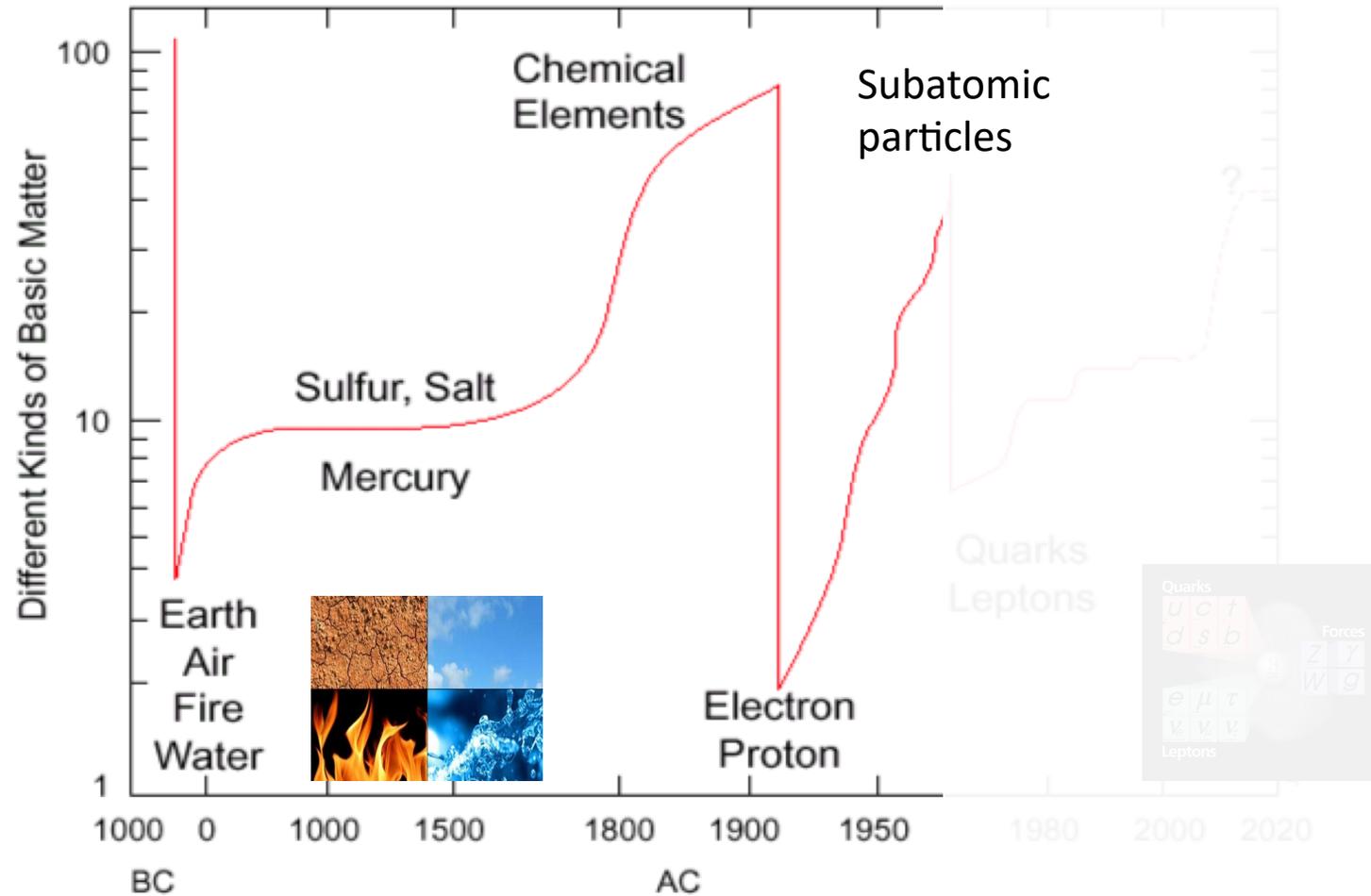
- Gli acceleratori permettono di creare fasci di particelle a grandi energie e farli scontrare con dei bersagli fissi o creare interazioni tra i fasci medesimi.
- L'energia dei prodotti d'interazione si trasforma in massa ($E=mc^2$)

Una grande quantita' di particelle subatomiche tra gli anni '50 e '60 che sono state classificate secondo le loro proprieta'.

Una nuova simmetria appare:



I Componenti Fondamentali della Materia nella Storia



La Fisica delle Particelle e il Modello Standard

La descrizione delle particelle elementari e delle loro interazioni è basata su modelli matematici molto complessi. Il modello attualmente accettato si chiama **“Il Modello Standard”** che è **una teoria dei campi quantizzata e relativistica.**

Descrive le due categorie fondamentali

- **Particelle elementari di materia**
- **Particelle messaggeri delle forze fondamentali** (spiegano le interazioni delle particelle di materia)

Le simmetrie spiegano i processi d'interazione fondamentali tra le particelle

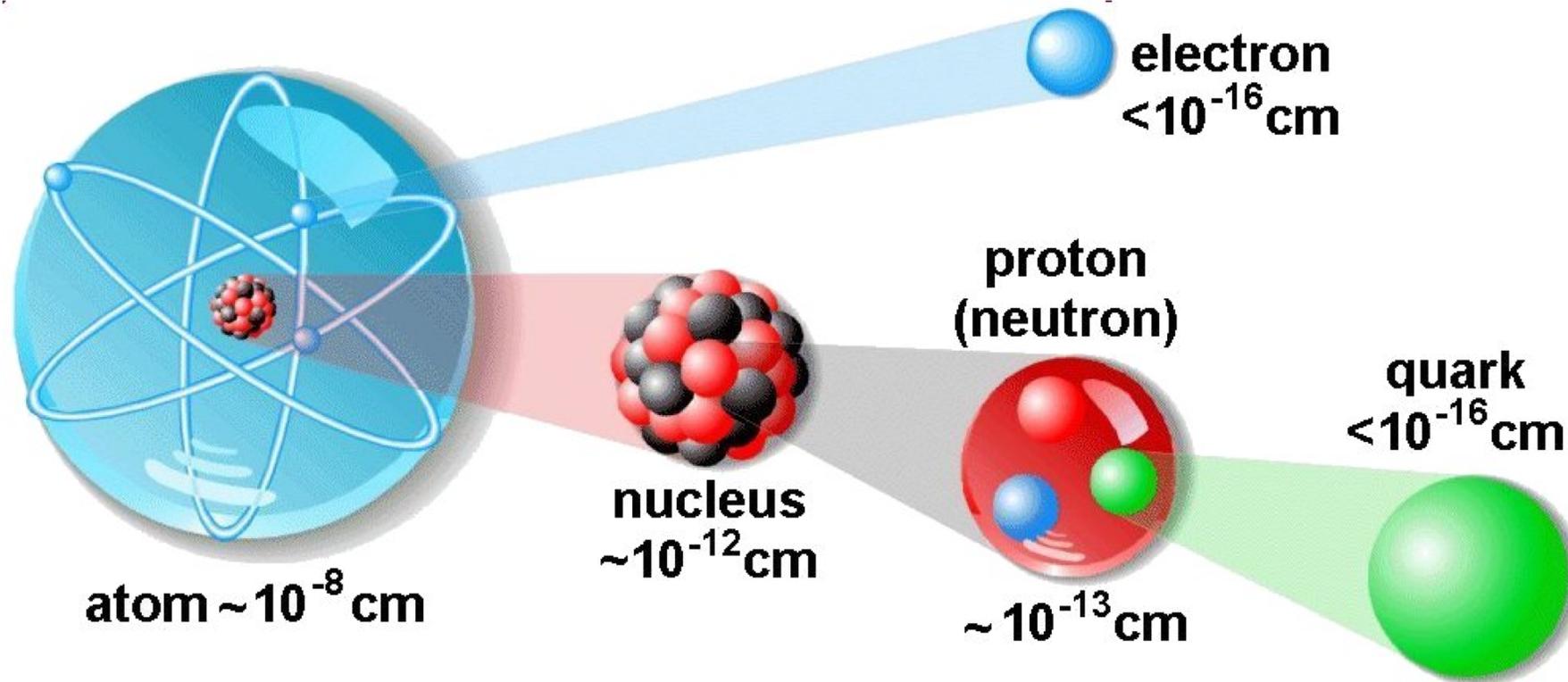
- ✓ l'interazione elettromagnetica (mediata dal fotone);
- ✓ l'interazione debole (mediata dai bosoni W e Z⁰ (Rubbia))
responsabile della radioattività (naturale o artificiale che sia ...)
- ✓ l'interazione forte (mediata dai gluoni), agente fra i quarks e responsabile della stabilità dei nuclei atomici.

**Nel Modello Standard le particelle sono prive di massa →
A volte le simmetrie sono nascoste: Rottura spontanea di una
simmetria (Bosone di Higgs)**



Salvador Dalí, L'eco del vuoto, circa 1935

La Scala delle Grandezze nelle Particelle Elementari



Particelle Messaggeri delle Forze:

Forza elettromagnetica	fotone con $m=0$
Forza debole	W, Z massivi
Forza forte	gluone $m=0$
(Gravita')	

Particelle Elementari: ritenute senza struttura interna (anche se non è esclusa)

Il Modello Standard

Three generations of matter (fermions)

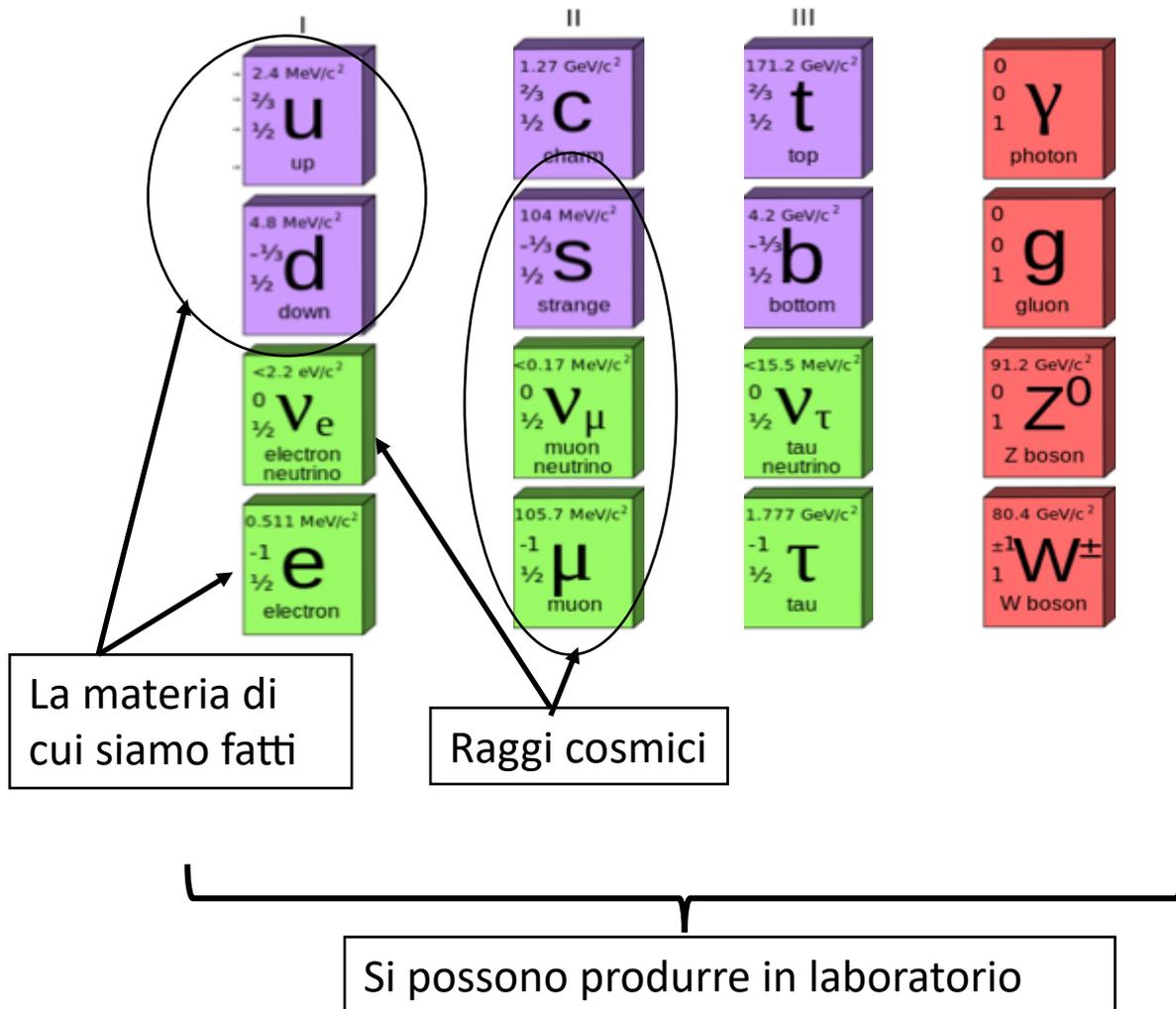
	I	II	III		
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0	? GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
name →	u up	c charm	t top	γ photon	H Higgs boson
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon	
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	0	0	0	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson	
					Gauge bosons

La forza di Higgs è diversa dalle altre..

Queste particelle si dicono "messaggeri", sono quelli che trasmettono le forze

Queste particelle si dicono "materia", sono i costituenti della materia

Il Modello Standard: una nuova simmetria?



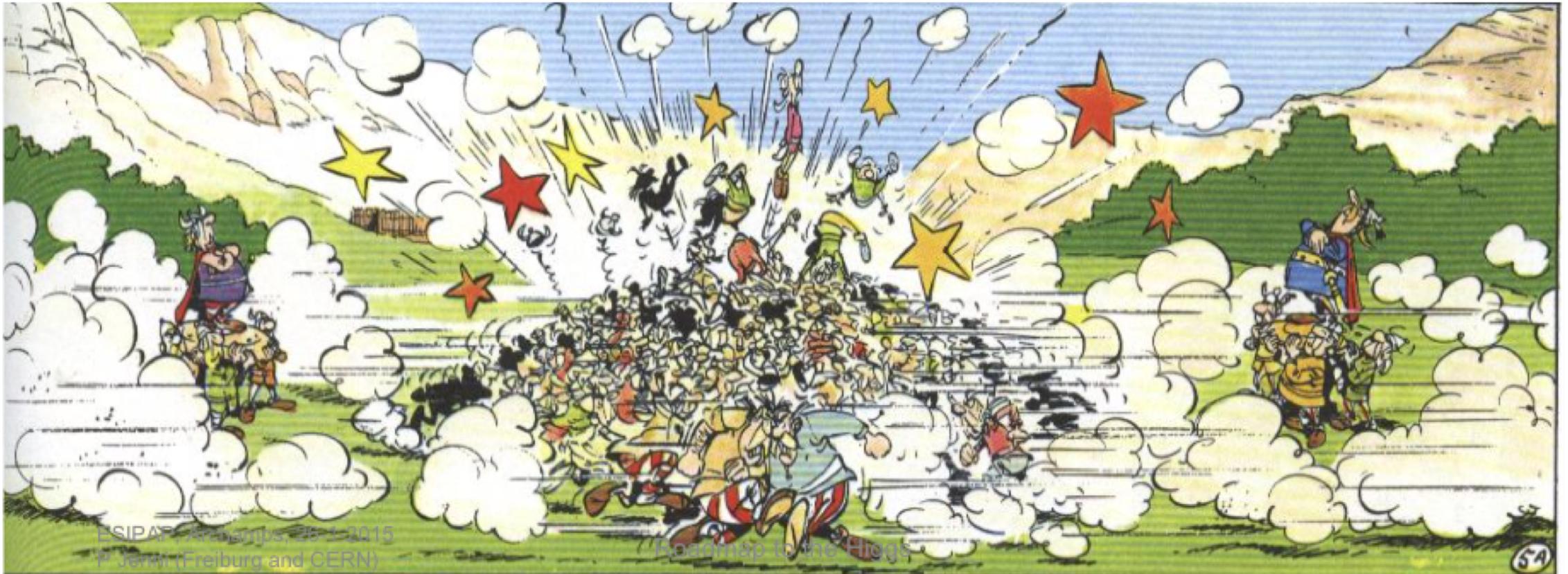
Particelle Messaggeri delle Forze:

Forza elettromagnetica	fotone con $m=0$
Forza debole	W, Z massivi
Forza forte	gluone $m=0$
(Gravita')	

La materia viene prodotta insieme alle rispettive antiparticelle (antimateria).

Come si creano le particelle in laboratorio?

Attraverso urti tra particelle si possono creare altre particelle: l'energia delle particelle viene trasformata in materia e la massa si può trasformare in energia ($E=mc^2$).
Si crea sempre materia ed antimateria in quantità uguali.



Misurare l'Invisibile

Tanto più la lunghezza d'onda è piccola (ovvero tanto più l'energia è grande) tanto più piccole sono le dimensioni che possiamo esplorare

I microscopi elettronici possono esplorare regioni di $\sim 10^{-6}$ cm – cellule / DNA

Per andare oltre (10^{-13} - 10^{-15} cm): particelle accelerate

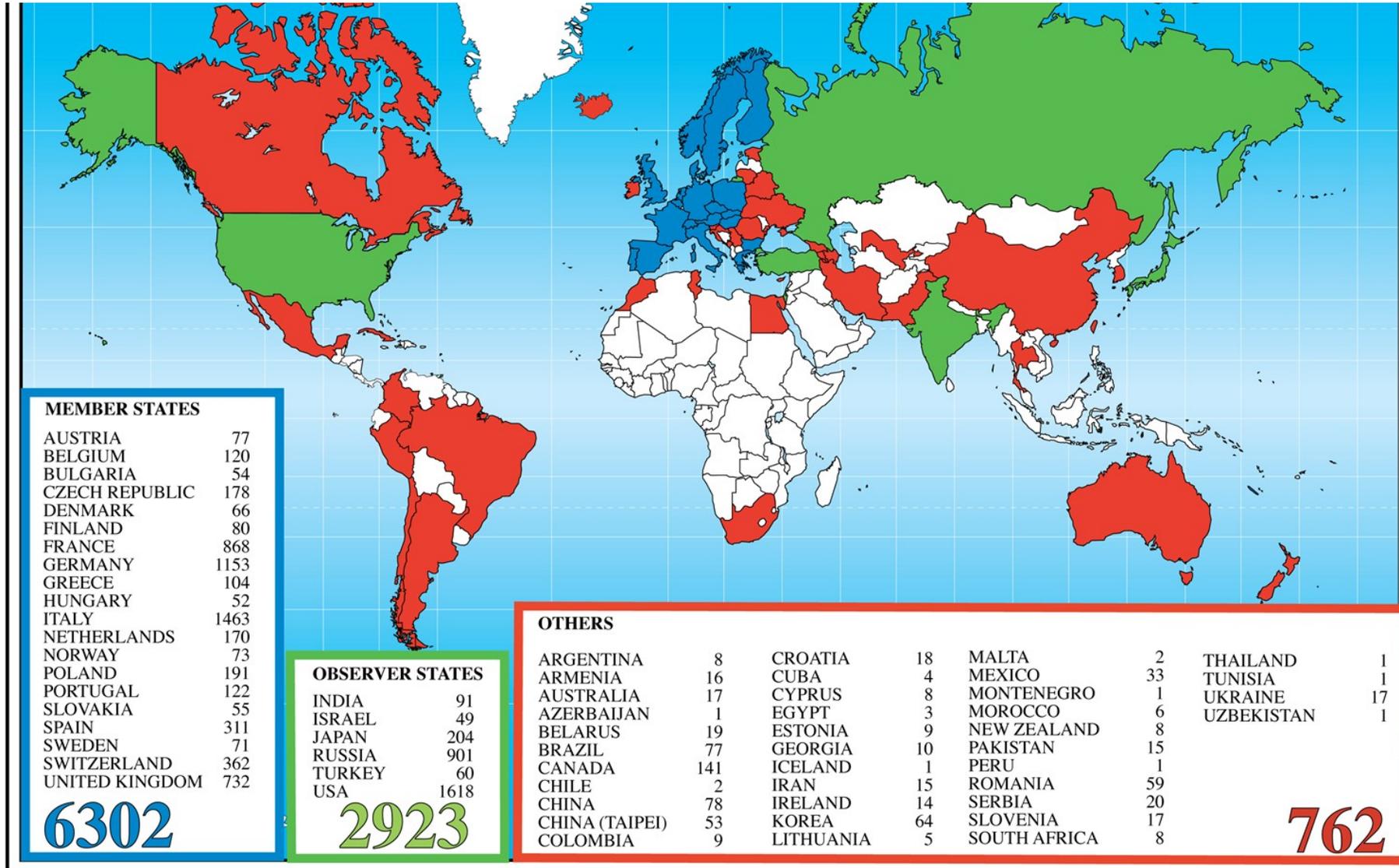
- ✓ Ci permettono di ripetere gli esperimenti a parità di condizioni iniziali
- ✓ Possiamo scegliere l'energia di lavoro per esplorare la natura a diverse dimensioni
- ✓ Si possono produrre nuove particelle avendo un'energia disponibile $E=mc^2$

Questi tipi di progetti portarono nel 1954 alla fondazione del CERN

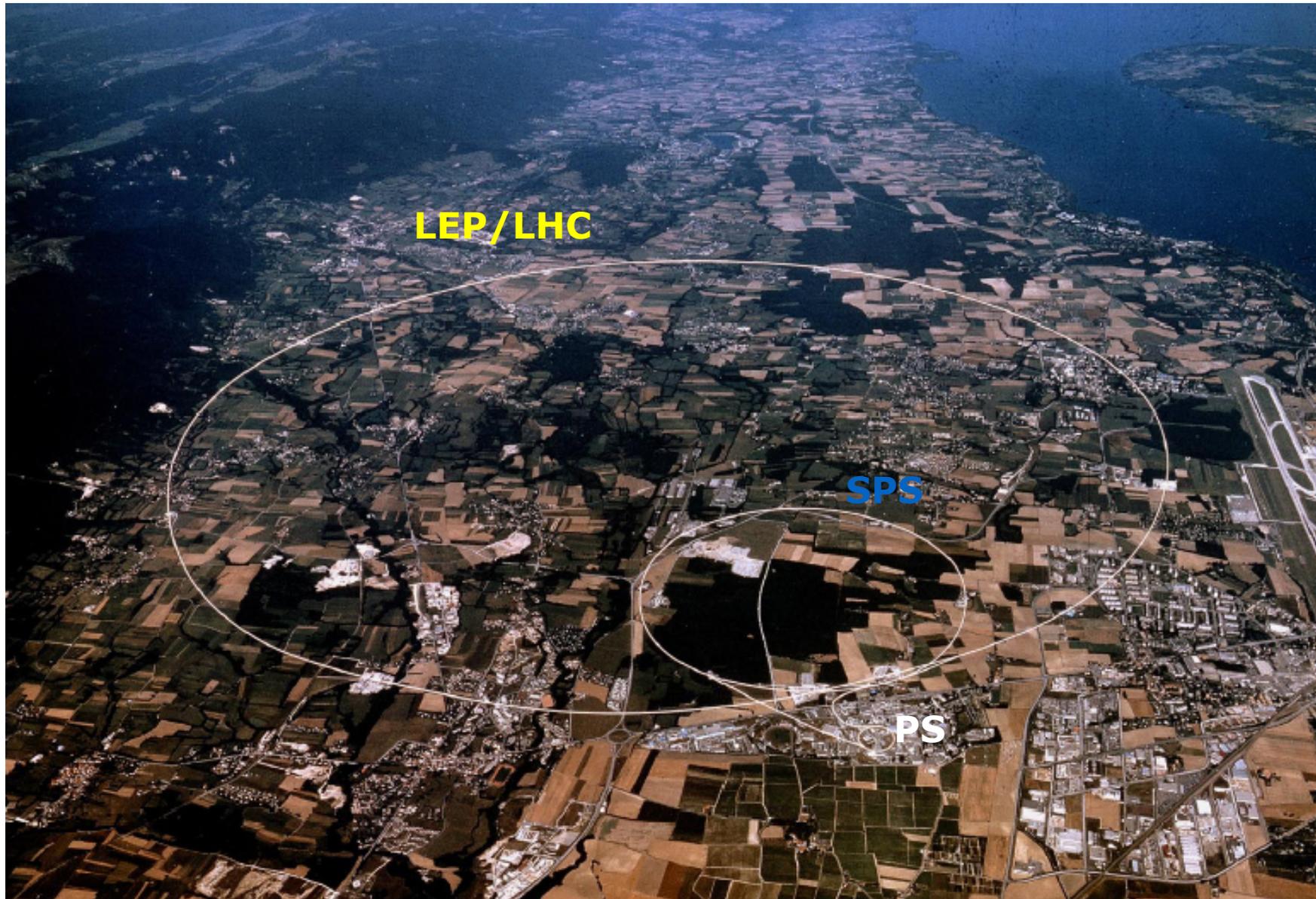


CERN: emblema di collaborazione mondiale

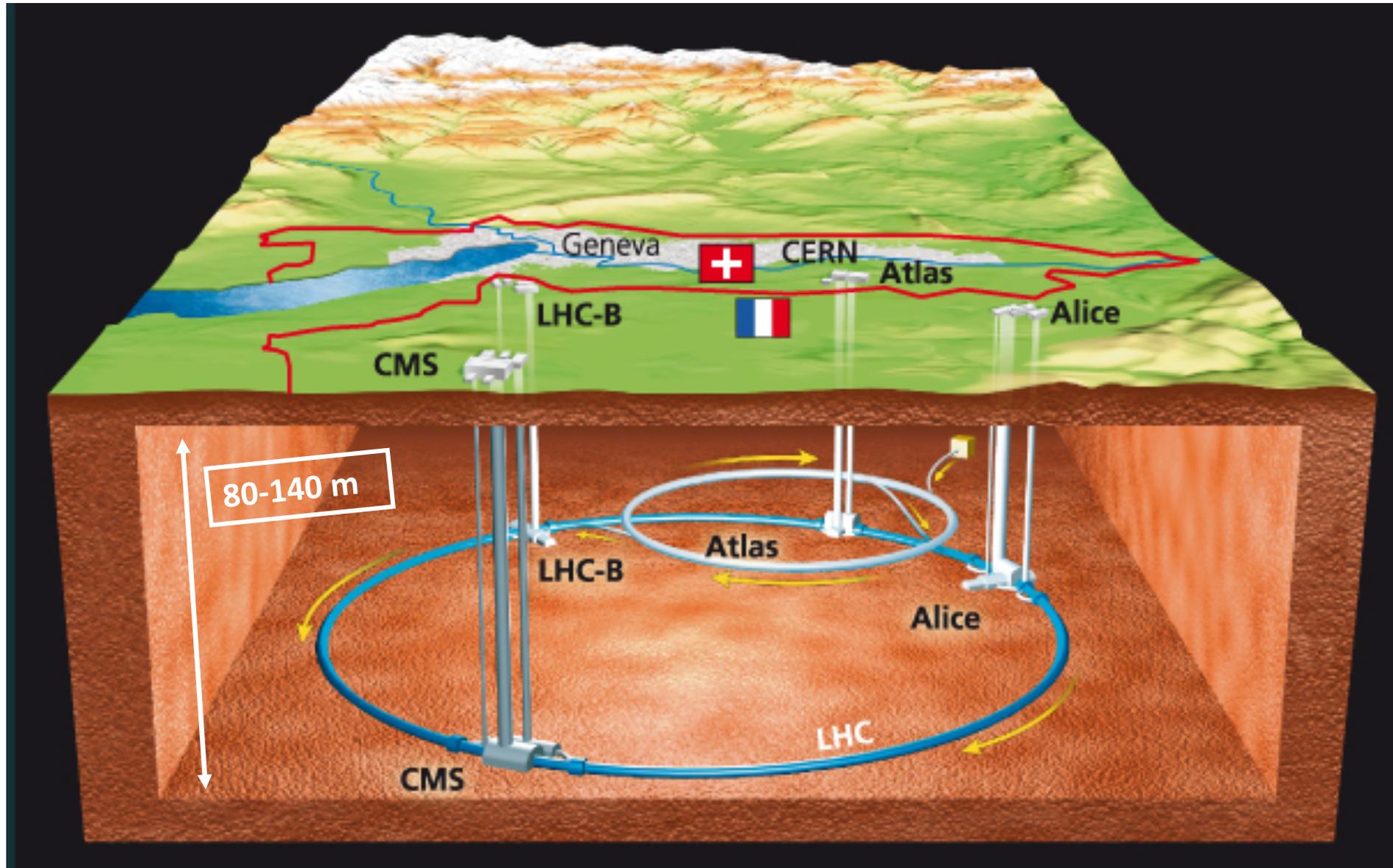
Condivisione globale delle risorse e del sapere tecnico/scientifico



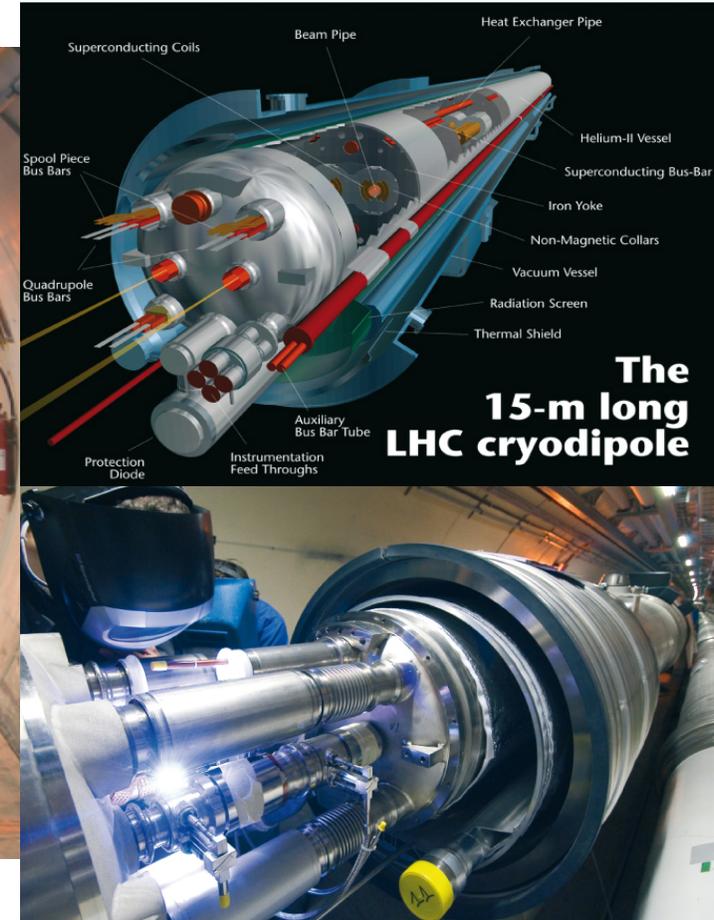
IL CERN visto dall'alto.....



Il CERN sottoterra.....



Cosa c'è nel tunnel di LHC?



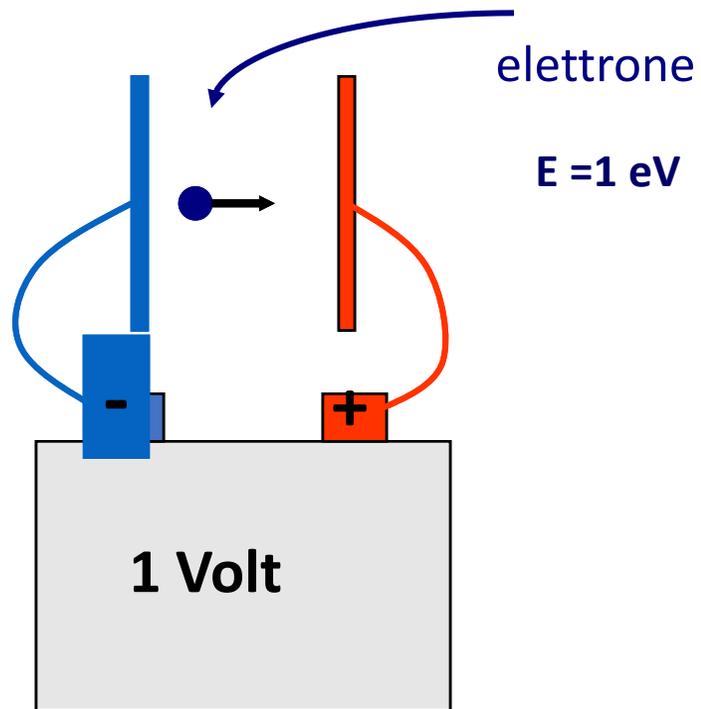
~1700 magneti superconduttori che operano con correnti fino a 10000 Ampere e ad una temperatura $T=-271.3\text{ C}$
E' il luogo piu' freddo dell'universo!

Unita' di Misura dell'Energia

I fisici usano il **TeV** - Giga ElectronVolt = 10^{12} eV

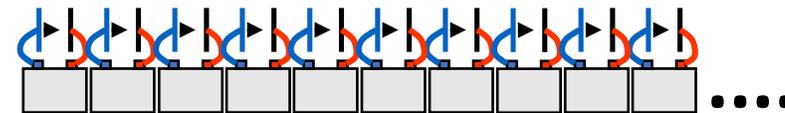
$m(\text{protone}) = 0.938 \text{ GeV} \rightarrow 1.67262158(31) \times 10^{-27} \text{ Kg}$

$m(\text{elettrone}) = 0.0005 \text{ GeV} \rightarrow 9.109 \times 10^{-31} \text{ Kg} = (1/2000 m(p))$



$E = 1 \text{ eV}$

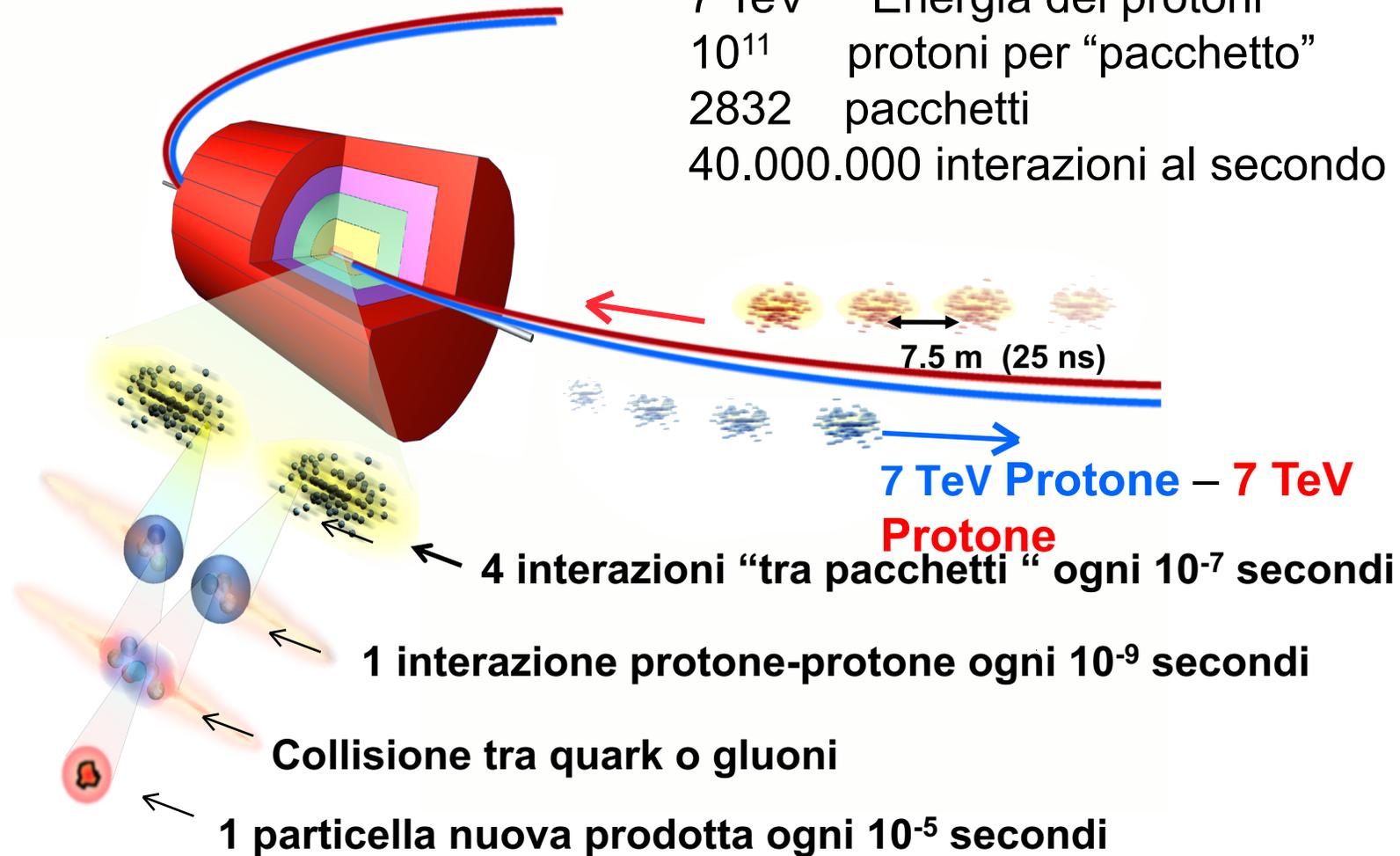
Per dare ad un elettrone l'energia di **1TeV**, dovremmo mettere di seguito $10^{12} = 1000000000000$ pile da 1 Volt !!



Large Hadron Collider

Costruito nel tunnel di LEP / urti protoni - protoni

7 TeV Energia dei protoni
 10^{11} protoni per "pacchetto"
2832 pacchetti
40.000.000 interazioni al secondo



Come si rivelano le particelle?

Rivelatori

Quando si lavora ad un acceleratore i rivelatori hanno il compito di:

- Identificare il tipo di particelle prodotte
- Misurarne traiettoria (traccia), energia e quantità di moto

Per stabilire:

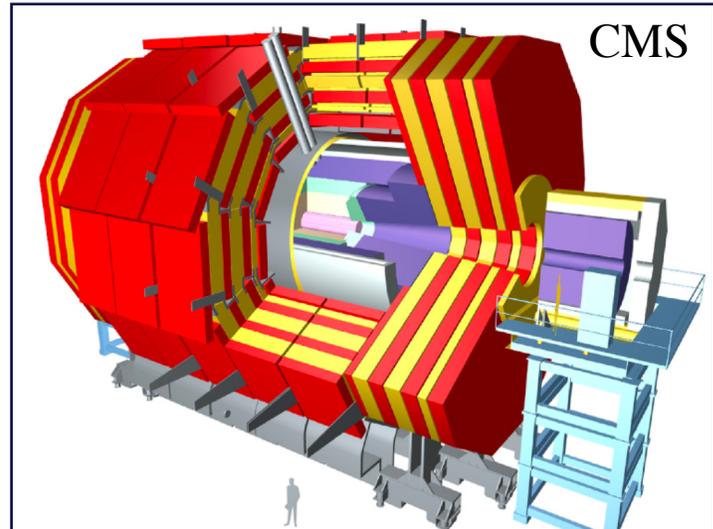
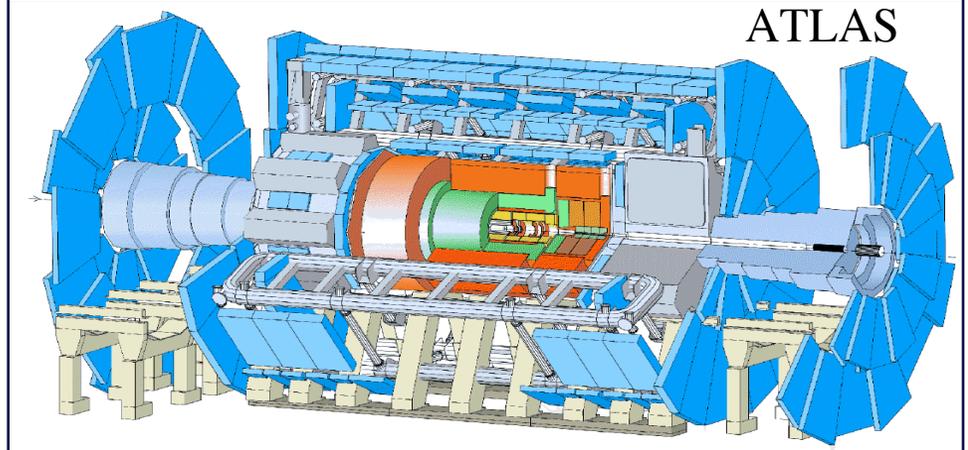
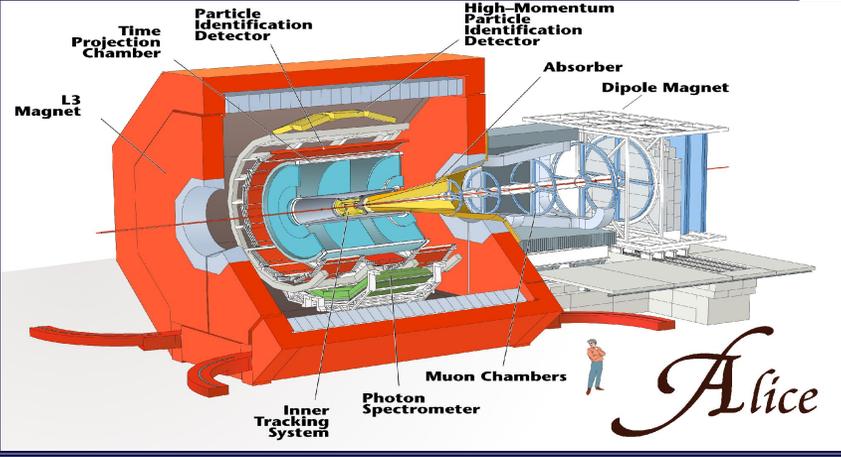
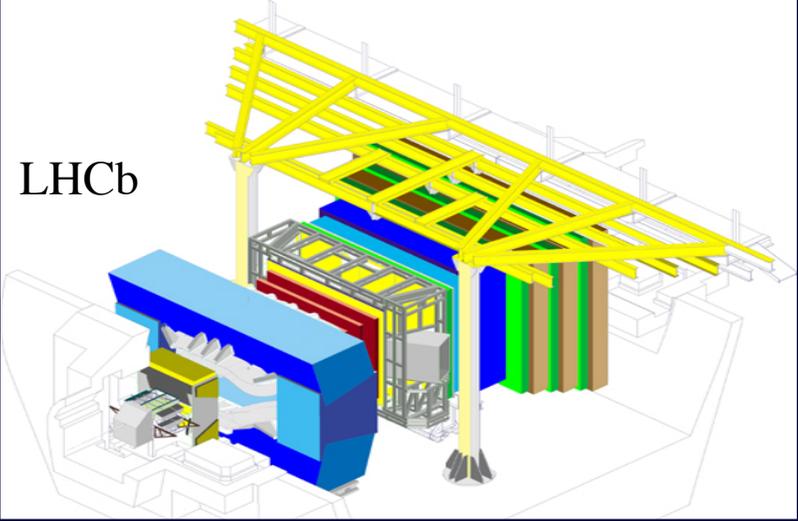
- Che cosa è accaduto nella collisione
- Se si è prodotto qualche fenomeno interessante

Molte particelle hanno vita effimera e decadono in particelle più leggere:

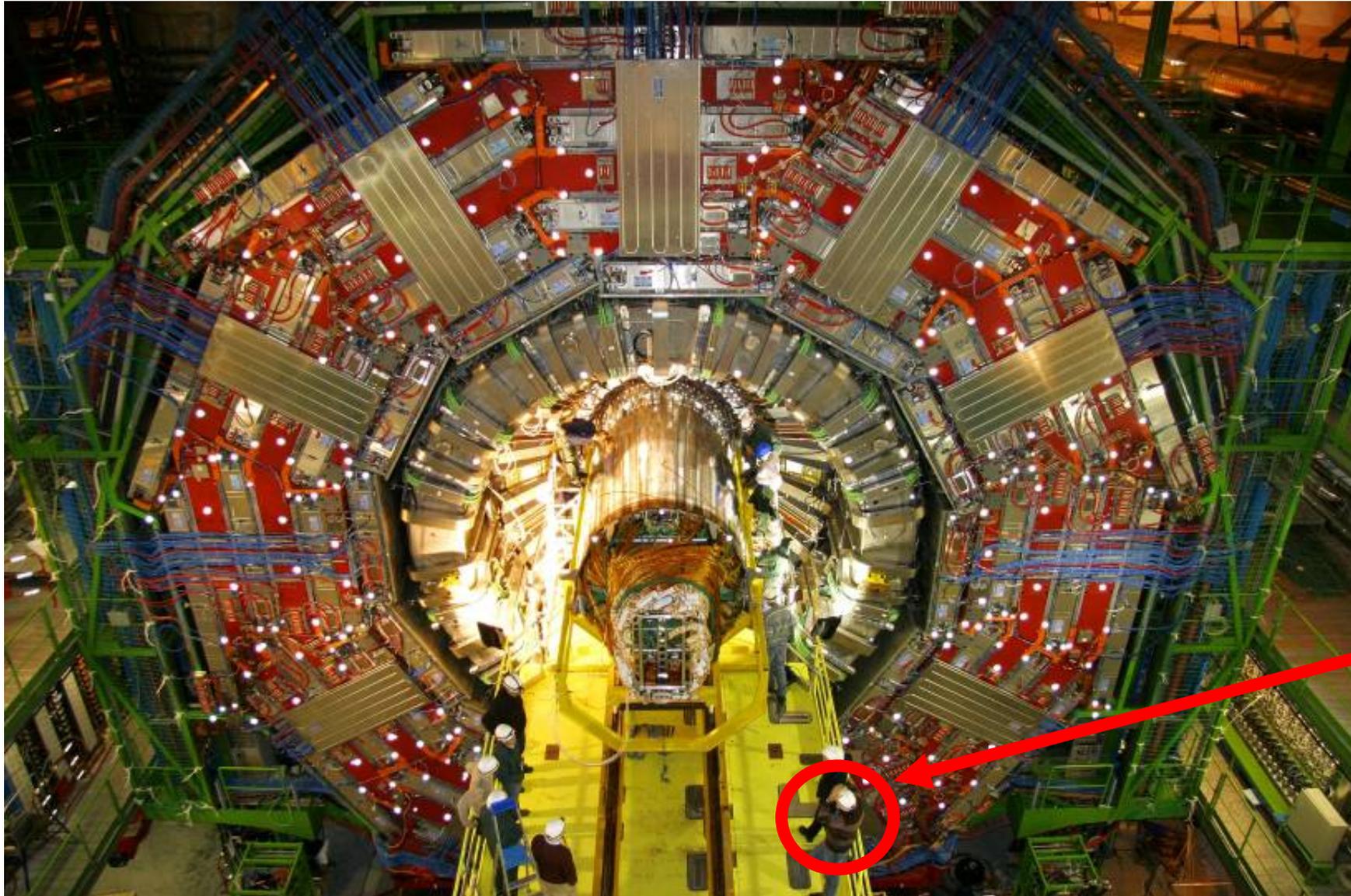
- Si rivelano queste ultime
- Dalle loro caratteristiche si risale alle proprietà delle particelle che le hanno generate

I rivelatori sfruttano le proprietà di alcuni materiali in grado di trasformare il passaggio di una particella in un segnale “visibile”

LHCb

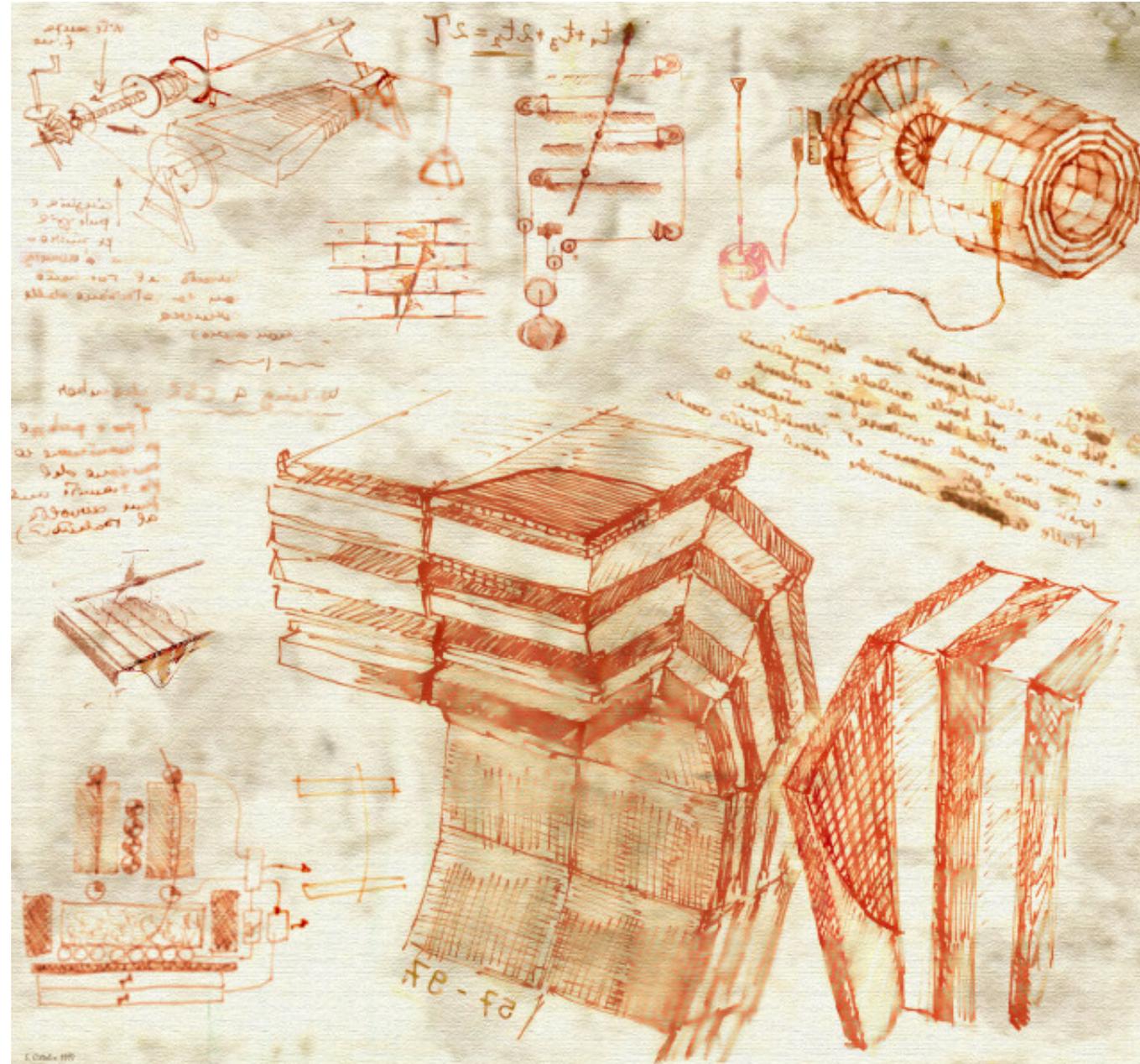


The Compact Muon Solenoid Experiment



Da notare la scala

Leonardo in CMS



L'Origine della Massa

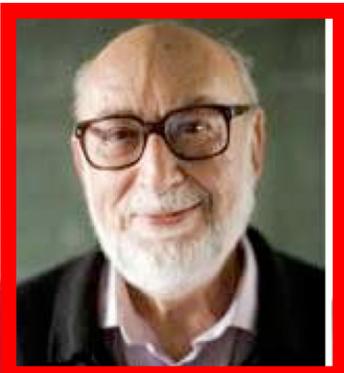
Il Campo di Higgs

Il Bosone di Higgs

- **1964:** Una soluzione per l'origine della massa: **il meccanismo di Higgs**
- Le particelle acquistano massa nell'interazione con un nuovo ***campo che pervade lo spazio***
 - La massa di una particella dipende dall'intensità dell'interazione con il campo
- **In meccanica quantistica relativistica ci aspettiamo che al campo di Higgs sia associata una particella: il Bosone di Higgs**



R. Brout



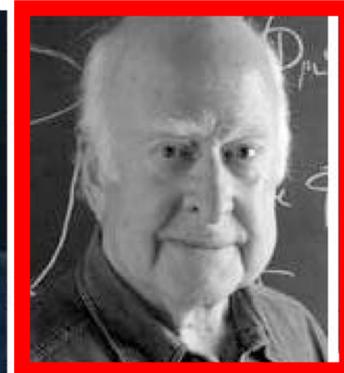
F. Englert



G. Guralnik



C.R. Hagen



P. Higgs



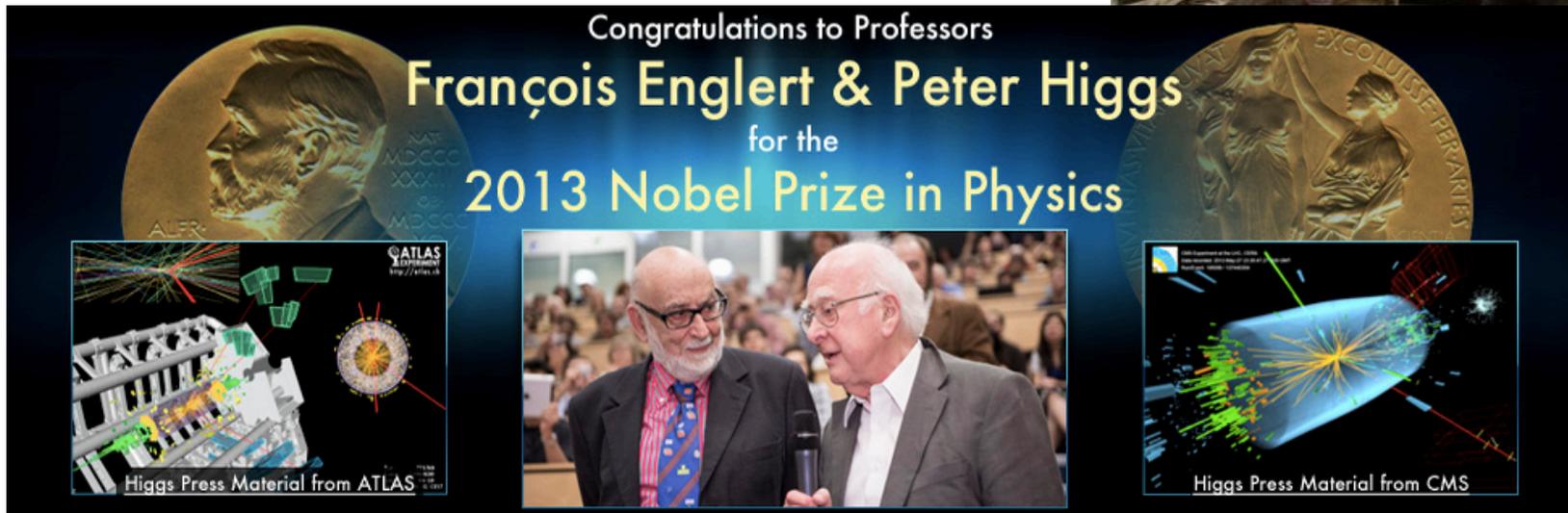
T. Kibble

Il Bosone di Higgs

Osservazione diretta di questa particella e' necessaria per una conferma che tale meccanismo e' corretto.

E' l'unico pezzo mancante della teoria che oggi abbiamo delle interazioni fondamentali (il Modello Standard)

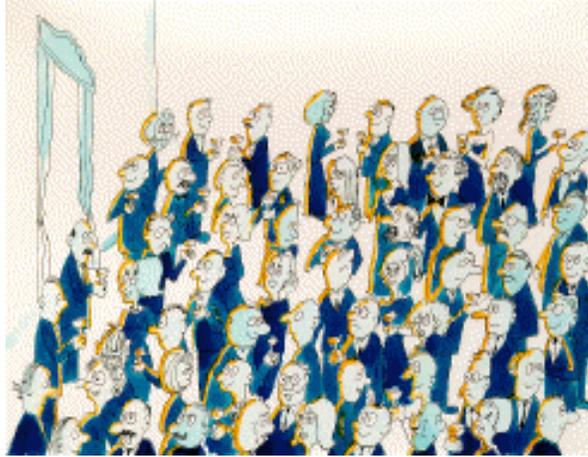
Nel Modello Standard il bosone di Higgs deve esistere con una massa al di sotto di 1 TeV, altrimenti la teoria non e' piu' valida.



4 luglio 2012
Annuncio ufficiale della scoperta del Bosone di Higgs da parte degli esperimenti ATLAS e CMS.

2013 Premio Nobel per la fisica

Il bosone di Higgs per tutti... (1)



Per capire il meccanismo di Higgs, immaginiamo una stanza piena di fisici in quieta conversazione: è come lo spazio riempito del campo di Higgs

... Un famoso scienziato entra, creando disturbo quando si muove nella stanza, poiché ammiratori e curiosi si affollano intorno a lui ...



... l' affollamento è motivo di resistenza al suo movimento ... in altre parole lo scienziato **'acquista' massa**: così fa una particella che si muove nel campo di Higgs ...

Il bosone di Higgs per tutti... (2)



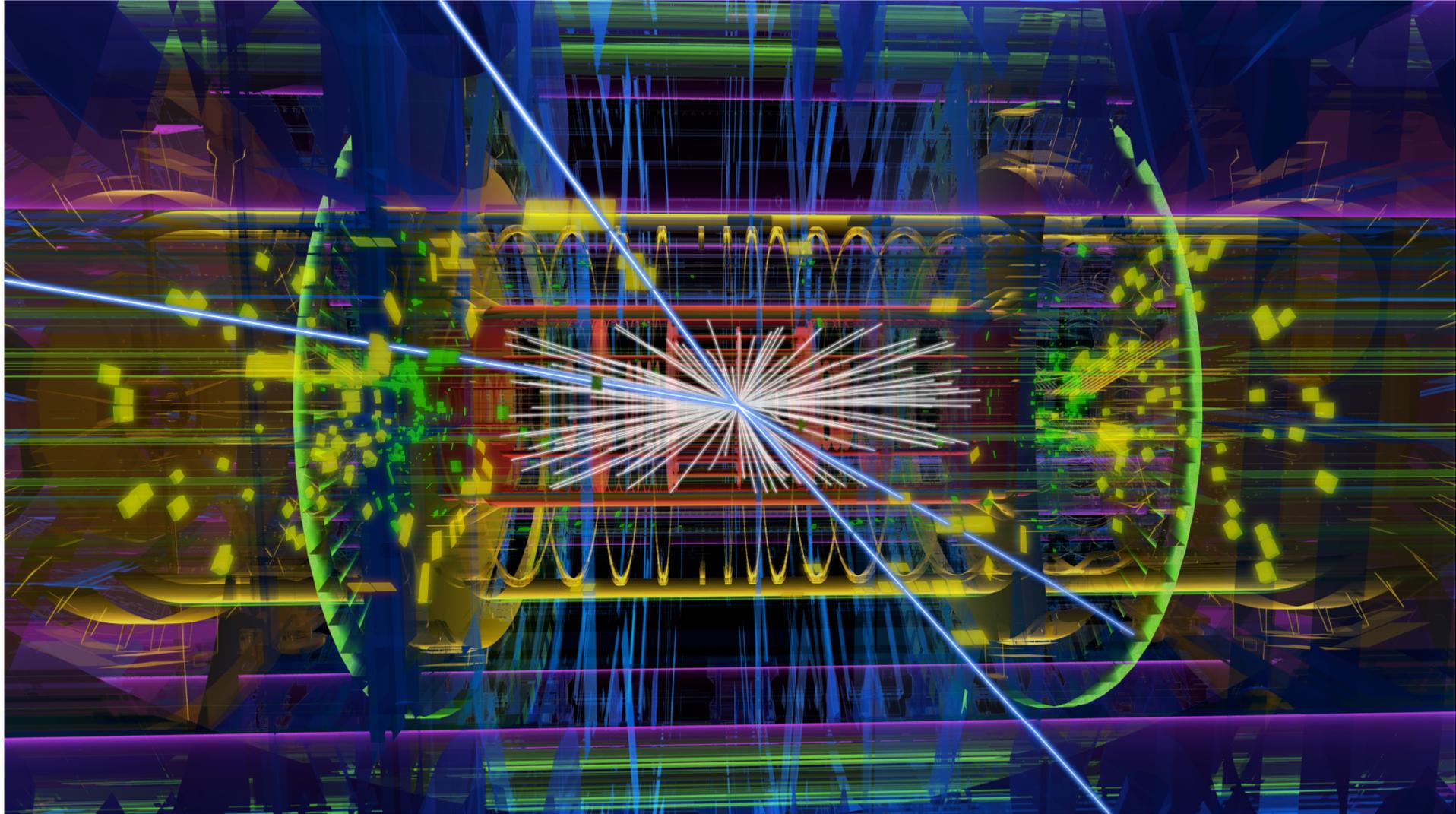
... inoltre, se una notizia arriva nella stanza

.... può crearsi un raggruppamento fra gli scienziati stessi. Nell'analogia, questi addensamenti (di energia) del campo sono le **particelle (bosoni) di Higgs**



L'analogia è stata pensata dal Prof. David J. Miller (U.C. London) che è stato anche premiato per la brillante spiegazione del bosone di Higgs al ministro inglese della scienza nel 1993

Bosone di Higgs nei rivelatori di CMS



Art at CMS

Xavier Cortada 2013





Dialoghi tra Scienza e Arte
5 Febbraio 2016
Museo Ettore Fico - Torino

Luca Pozzi, Michael Hoch (CMS, CERN), S. Maselli (Torino INFN)