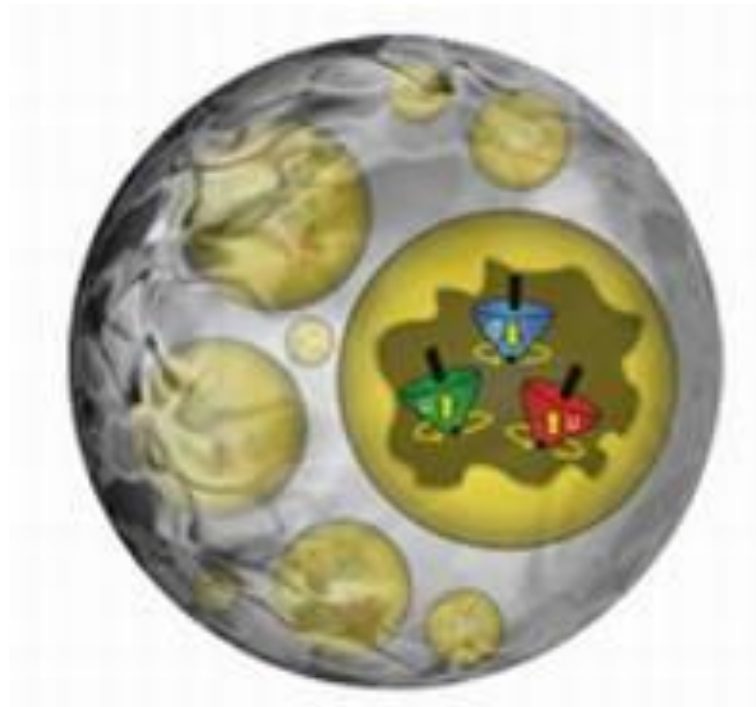


FP7 - ERC Advanced Grant 2009

PE2: Fundamental constituents of matter

Prop. 246980 - Production of Polarized Antiprotons (POLBPAR)



*“Antiprotoni polarizzati per lo studio dello spin del protone”*

P. Lenisa

Università di Ferrara, 04 dicembre 2014

Horizon 2020 – Excellent Science  
ERC-Advanced Grant 2016: Proposal number 694340  
“Search for EDM in Storage Rings” (srEDM)  
*(Perché non c'è il nulla?)*



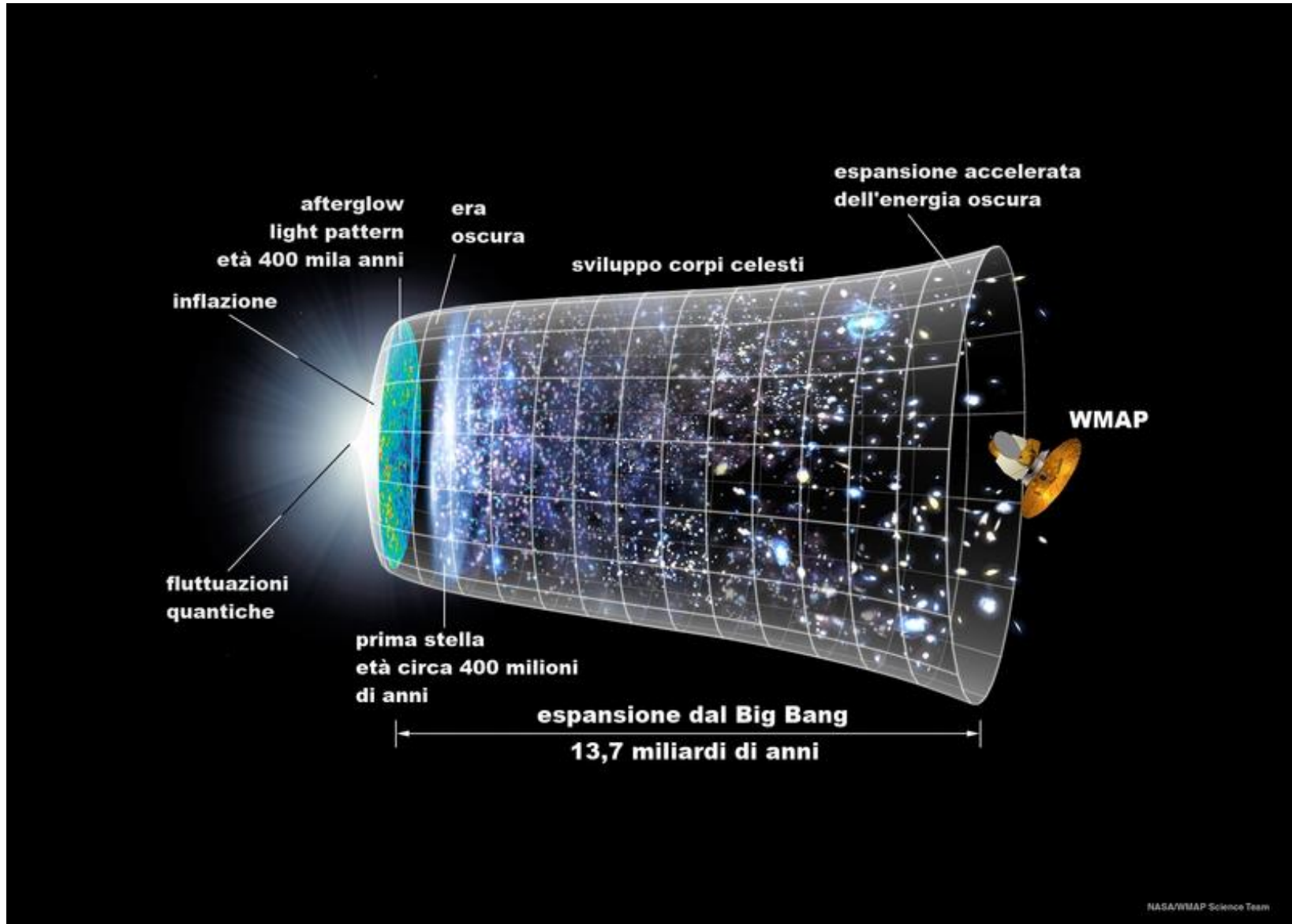
C. D. Friedrich (1818): “*Il viandante*”

*Paolo Lenisa*

*Università di Ferrara - Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra*

*05 ottobre 2016*

# L'evoluzione dell'Universo





# Da dove viene la materia dell'Universo?

The image is a composite of three parts. On the left, two diagrams labeled 'A' and 'B' show the processes of pair production and annihilation. Diagram A shows a central point of radiation (yellow wavy lines) from which a blue particle and a red anti-particle emerge. Diagram B shows a blue particle and a red anti-particle colliding at a central point, from which radiation (yellow wavy lines) emerges. In the center is a vertical strip of a starburst or galaxy core image with a bright white center and radiating purple and blue light. On the right, a black background features two colored boxes: a blue box on the left and a red box on the right. The blue box contains the number '10,000,000,001' and the word 'MATTER' below it. The red box contains the number '10,000,000,000' and the words 'ANTI-MATTER' below it. Below these boxes, the text 'Dove è finita l'antimateria?' is written in large white font. At the bottom right, the numbers 'US' and '1' are displayed in white.

Radiation creates particle and anti-particle.

**A**

Particle and antiparticle annihilate, creating radiation.

**B**

10,000,000,001

MATTER

10,000,000,000

ANTI-MATTER

Dove è finita l'antimateria ?

US

1

A causa dell'annichilazione  
materia-antimateria  
non dovrebbe esistere  
nemmeno la materia!

*Perchè  
non c'è  
il nulla?*

Il mistero della nostra esistenza

# Alla ricerca dell'antimateria

Il rivelatore AMS sulla stazione spaziale internazionale (ISS)

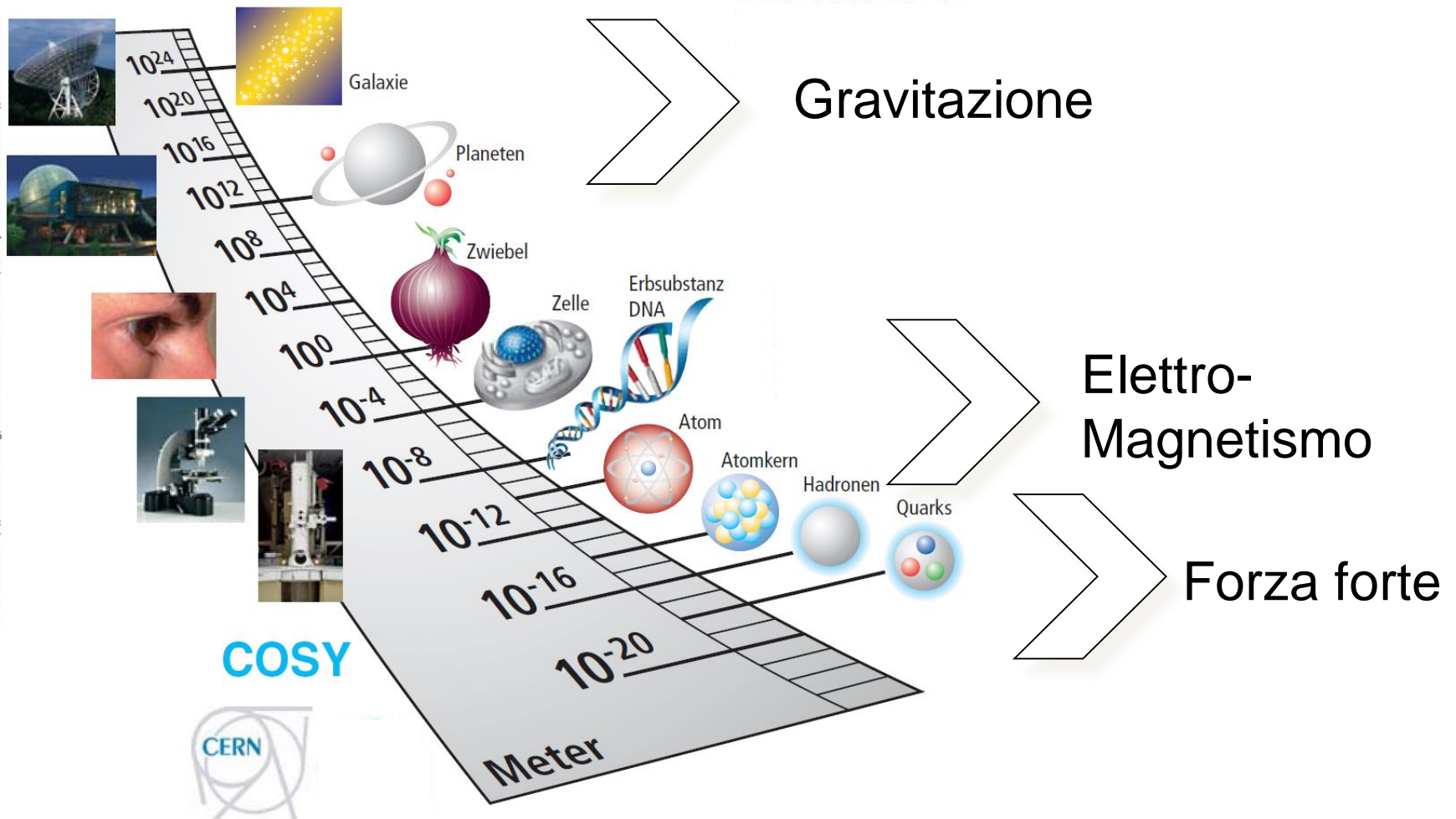


Finora nessuna traccia di nuclei di anti-elio o anti-carbonio



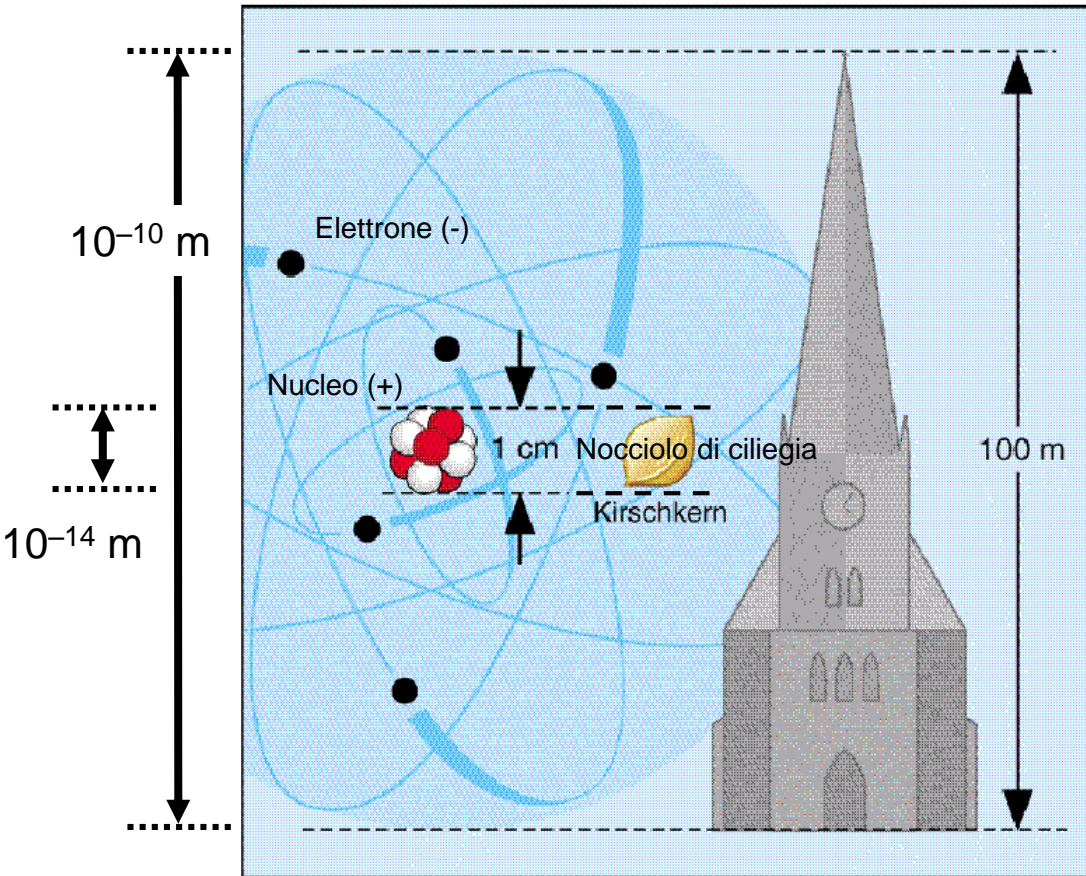
# La struttura dell'universo: dal più grande al più piccolo

W.-P. Schneider (2), D. Laufenberg, Zeiss Planetarium Schwaz (www.planetarium-schwaz.at), R.-U. Limbach

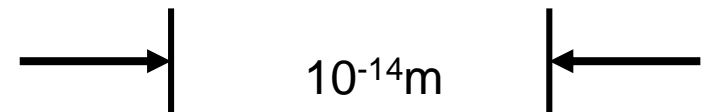
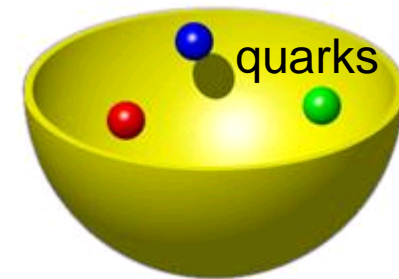
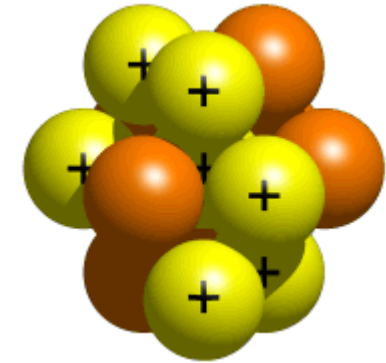


# Forza forte e nuclei

Grandezze a confronto



protone      neutrone





# Simmetria

*E' una trasformazione che lascia il sistema inalterato.*



Duomo di Acquisgrana



# Simmetria e selezione naturale



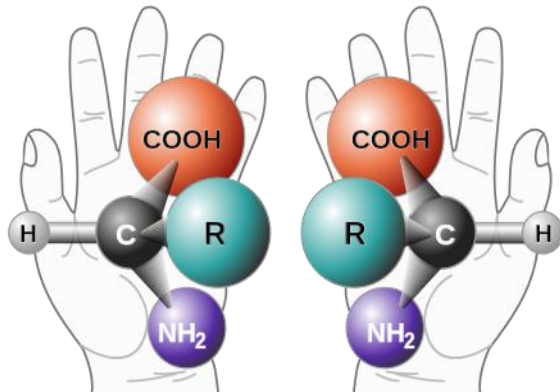
*La selezione naturale ci ha resi molto sensibili alla simmetria:  
„Se nella foresta vedi qualcosa di simmetrico che ti guarda...  
... significa che o tu mangi lei o lei mangia te...”*

# Parità (P)

- La vita nello specchio non è necessariamente uguale alla nostra.



*“Ti piacerebbe abitare dietro lo specchio Kitty? Chissà se ti darebbero il latte anche lì... Forse il latte dello specchio non è buono...”*



## **Molecole chirali:**

Lattosio ed acido lattico presentano molecole “speculari.”

**P.S. Non bevete il latte dello specchio!**

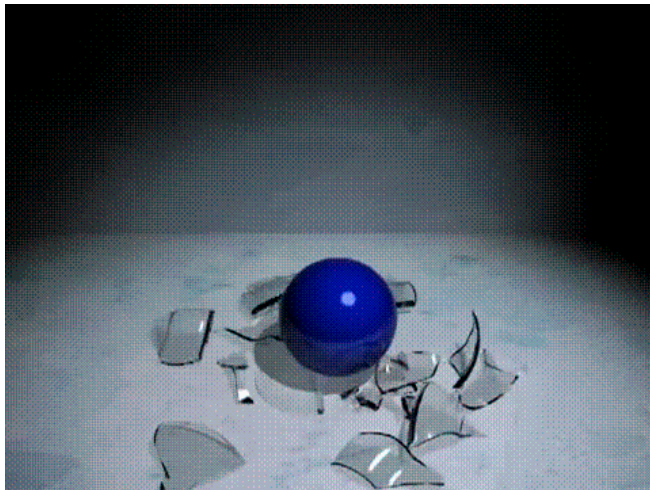


# Inversione temporale (T)

- Nel mondo macroscopico esiste una „freccia del tempo“.

Passato

Futuro



Anche senza avere assistito alla scena sappiamo quale delle due situazioni è quella „reale“.

# Simmetrie in Fisica

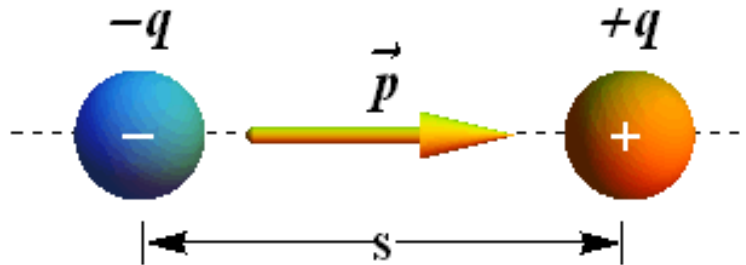
Nel mondo microscopico le cose funzionano diversamente!

Il mondo microscopico è simmetrico rispetto alle simmetrie:

- **Parità:**  $\mathbf{P}: P(r) \rightarrow P(-r)$ 
  - (La “vita” nello specchio)
- **Inversione temporale:**  $\mathbf{T}: t \rightarrow -t$ 
  - (Inversione della direzione del tempo)
- **Coniugazione di carica:**  $\mathbf{C}$ : cambia il segno di tutte le cariche
  - (Scambio di particelle e antiparticelle)

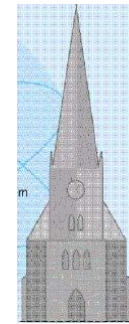
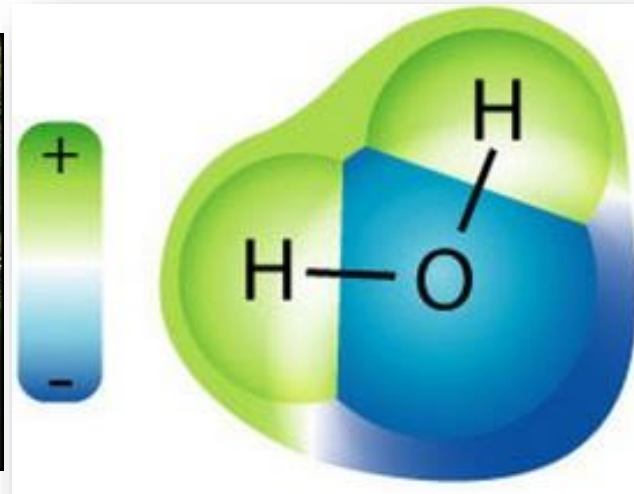
# Il momento di dipolo elettrico

Definizione:



Separazione tra  
I centri di carica  
positiva e negativa

Esempio:



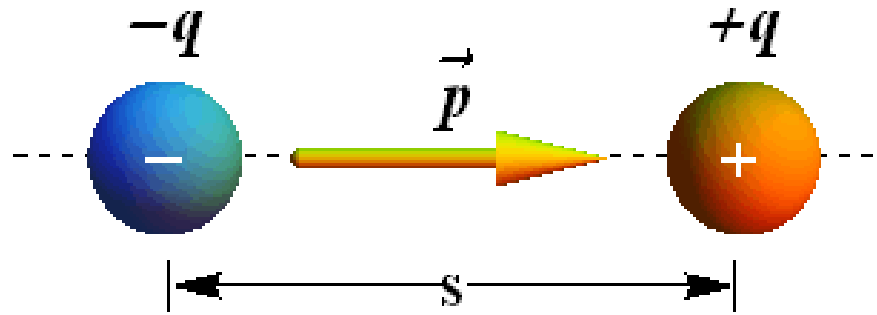
Molecola d'acqua:  
momento di dipolo permanente  
(Stato fondamentale degenerato  
di stati di parità opposta)

La separazione di carica produce un momento di dipolo elettrico



# Il momento di dipolo elettrico

Definizione:



$$\vec{p} = q \cdot \vec{s}$$



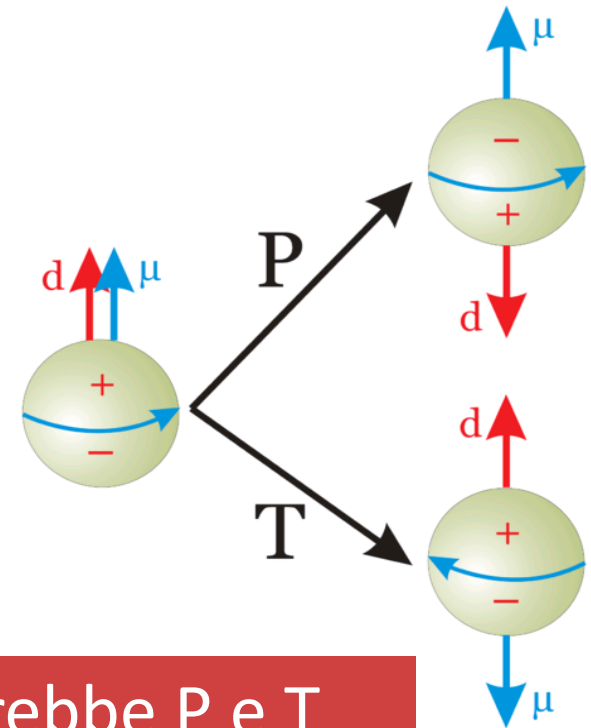
nte  
re

La separazione di carica produce un momento di dipolo elettrico

# Momento di dipolo (EDM) del protone e simmetria



La violazione delle simmetrie di P e T può originare un **momento di dipolo elettrico** nel protone.



Un EDM momento del protone violerebbe P e T

*Domanda: Il protone possiede un EDM?*

# Perché è interessante?



A. Sacharov (1967): *“Per spiegare la dominanza della materia sull’antimateria è necessario che alla nascita dell’Universo si siano violate la simmetrie di P e T (violazione combinata di CP)”*.

I momenti di dipolo elettrico sono „sonde“ sensibilissime di violazione di simmetria e possono essere utilizzati per investigare la nascita dell’universo



I momenti di dipolo elettrico sono „molto“  
piccoli:



→ Sono necessari esperimenti di precisione

(„Misurare il diametro della Terra con precisione migliore di  $1/1000$   
del diametro di un capello“.)

# Come si studia l'EDM del protone?

Occorre un fascio di protoni *“polarizzati”*.

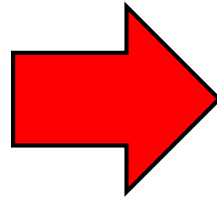
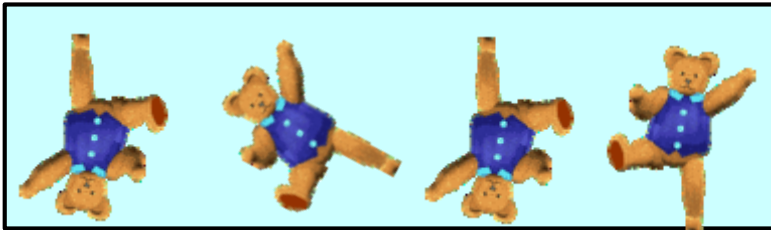
In un fascio *non polarizzato*:

gli *“spin”* sono orientati in tutte le direzioni

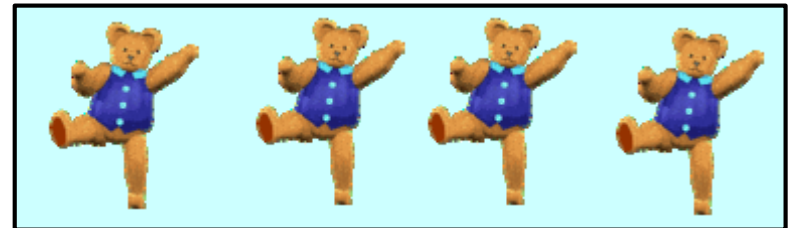
In un fascio *polarizzato*:

tutti gli *“spin”* sono orientati nella stessa direzione

Fascio non polarizzato

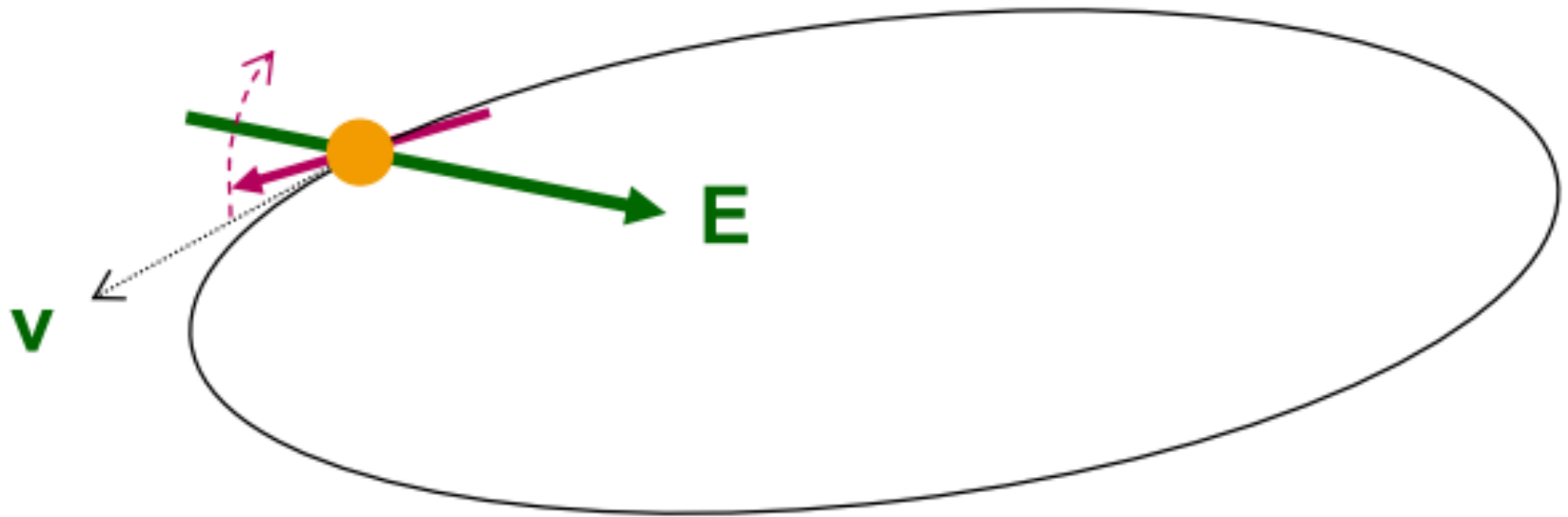


Fascio polarizzato



La novità della ricerca:

Misura del momento di dipolo elettrico tramite fasci polarizzati in un anello di accumulazione.



Idea: Osservazione della variazione della direzione dello spin di un fascio di particelle polarizzate.



# Luogo della ricerca: Anello di accumulazione „COSY“ a Jülich (Germania)



# Istituzioni partecipanti al progetto

- *Forschungszentrum Jülich – Institut für Kernphysik (Germania)*
  - Principal Investigator: Prof. Dr. H. Ströher (Direttore Istituto Fisica Nucleare)
  - Riconosciute competenze a livello mondiale in:
    - Fisica degli acceleratori e dei fasci polarizzati di particelle
    - Disponibilità di un acceleratore di particelle di caratteristiche adatte
- *Università di Ferrara – Dipartimento di Fisica (Italia)*
  - Responsabile Scientifico: Prof. P. Lenisa
  - Riconosciute competenze a livello mondiale in:
    - Fisica di fasci e bersagli polarizzati
    - Tecnologia della polarizzazione.
- *Rheinisch-Westfälische Technische Universität – Aachen (Germania)*
  - Responsabile Scientifico: Prof. J. Praetz
  - Riconosciute competenze a livello mondiale in:
    - Ricerca e tecnologia applicata
    - Campi elettrici in vuoto e radiofrequenza.

*La squadra raccoglie l'esperienza mondiale del settore.*

*R.S. presentano riconosciuta esperienza in gestione gruppi di ricerca internazionali.*



# Organizzazione e svolgimento temporale

	Month 1-12	Month 13-24	Month 25-36	Month 37-48	Month 49-60	Sum
WP-1 Accelerator Development	JÜLICH					45
		RWTH				42
					UNIFE	-
WP-2 Polarimetry	JÜLICH					0
		RWTH				0
			UNIFE			30
WP-3 Simulations	JÜLICH					0
					RWTH	-
					UNIFE	-
WP-4 Feasibility Studies at COSY	JÜLICH					0
		RWTH				48
				UNIFE		24
WP-5 srEDM Measurements	JÜLICH					60
						0
		UNIFE		UNIFE		36
<b>Σ: 285</b>						105 90 90

# Storage ring steps up search for electric dipole moments

The JEDI collaboration aims to use a storage ring to set the most stringent limits to date on the electric dipole moments of hadrons, describe [Paolo Lenisa](#), [Jörg Pretz](#) and [Hans Ströher](#).

The fact that we and the world around us are made of matter and only minimal amounts of antimatter is one of the fundamental puzzles in modern physics, motivating a variety of theoretical speculations and experimental investigations. The combined standard models of cosmology and particle physics suggest that at the end of the inflation epoch immediately following the Big Bang, the number of particles and antiparticles were almost in precise balance. Yet the laws of physics contrived to act differently on matter and antimatter to generate the apparently large imbalance that we observe today.

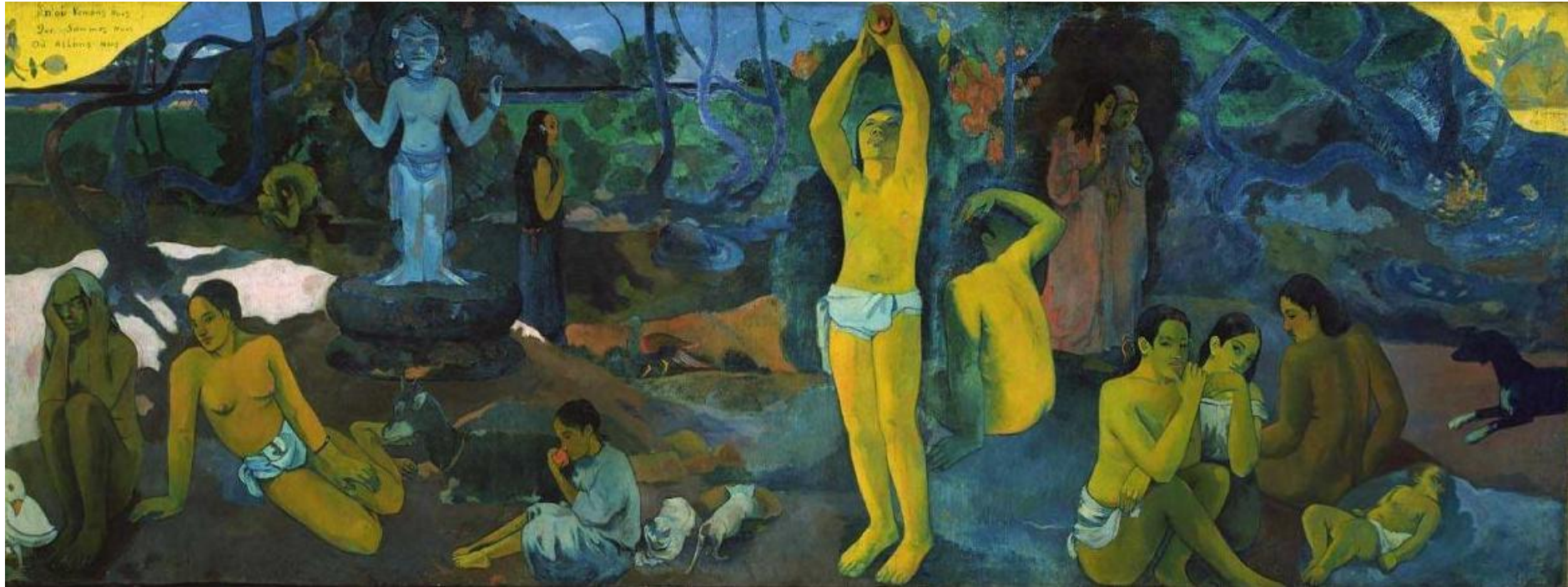
One of the necessary mechanisms required for this to happen – namely CP violation – is very small in the Standard Model of par-



*The COSY storage ring at the Forschungszentrum Jülich in Germany is being modified to search for very small electric dipole moments.*



# P. Gauguin (1897)



*“Da dove veniamo? Che siamo? Dove andiamo?”*



# Finanziamento

Cost Category			Total in Euro			
			JÜLICH	RWTH	UNIFE	Total
Direct Costs <sup>1</sup>	Personnel	PI	193456			193456
		Senior Staff				
		Postdocs	619060	447127	376528	1442715
		Students				
		Other				
	<i>i. Total Direct costs for Personnel (in Euro)</i>		812516	447127	376528	1636171
	Travel		30000	30000	60000	120000
	Equipment					
	Other goods and services	Consumables	60000	60000	60000	180000
		Publications (including Open Access fees), etc.				
		Other: Audits	6000	6000	6000	18000
	Other: Workshops		20000			20000
	<i>ii. Total Other Direct Costs (in Euro)</i>		116000	96000	126000	338000
<b>A – Total Direct Costs (i + ii) (in Euro)</b>			928516	543127	502528	1974171
<b>B – Indirect Costs (overheads) 25% of Direct Costs (in Euro)</b>			232128	135782	125632	493542
<b>C1 – Subcontracting Costs (no overheads) (in Euro)</b>			0	0	0	
<b>C2 – Other Direct Costs with no overheads (in Euro)</b>			0	0	0	
<b>Total Estimated Eligible Costs (A + B + C) (in Euro)</b>			1160644	678909	628160	2467713
<b>Total Requested Grant (in Euro)</b>			1160644	678909	628160	2467713

- Durata progetto: anni 5
- Inizio ufficiale: 01.10.16