

UNIVERSO SPECULARE (MIRROR UNIVERSE)

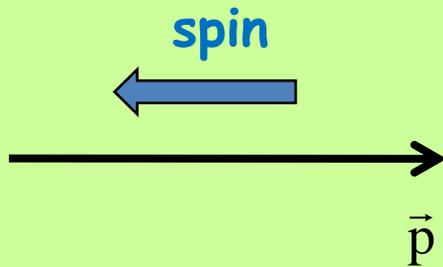
Seminari di Fisica

**Dipartimento di Fisica
dell'Universita' di Torino
14 marzo 2017**

Alessandro Bottino

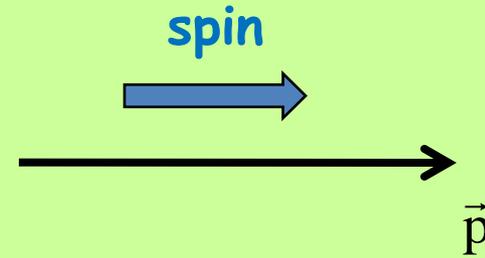
- ★ Quali motivazioni per l'esistenza di un **Universo Speculare (US)**?
- ★ **Fenomenologia delle particelle** nell'US
- ★ **Cosmologia** dell'US
- ★ **Interazioni** tra particelle ordinarie e particelle speculari
- ★ **Materia oscura** e US

Particelle con spin (momento angolare intrinseco)



stato sinistrorso

$$|e_L\rangle$$



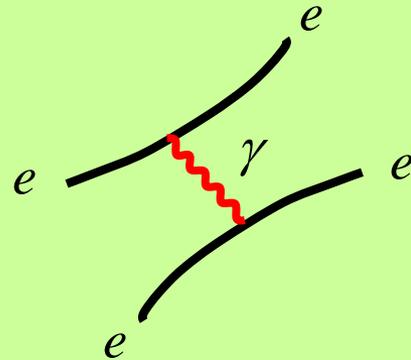
stato destrorso

$$|e_R\rangle$$

Per esempio, per un elettrone generico:

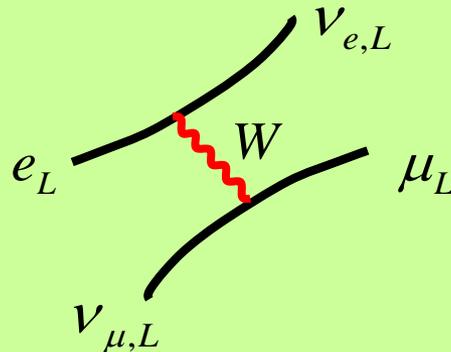
$$|e\rangle = |e_L\rangle + |e_R\rangle$$

Nei **processi elettromagnetici** la componente destrorsa e quella sinistrosa delle particelle si accoppiano al fotone **con la stessa intensità**



Non vi è interesse a separare lo stato $|e\rangle$ in componenti $|e_L\rangle$ e $|e_R\rangle$

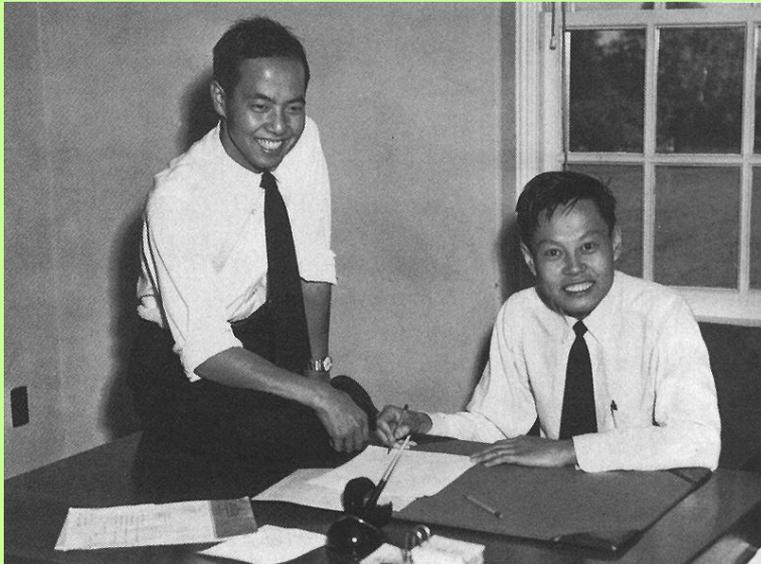
Invece **nei processi deboli** mediati dal bosone W solo la componente sinistrosa partecipa



Gli anni 1956-1957:

T.D. Lee e C.N. Yang ipotizzano che l'interazione debole possa violare la parita' e studiano quali processi possano manifestare queste proprieta'

C.S. Wu e collaboratori realizzano sperimentalmente uno di questi processi e mostrano effetti di violazione di parita'



T.D. Lee C.N. Yang
Premi Nobel 1957



C.S. Wu

Question of Parity Conservation in Weak Interactions*

T. D. LEE, *Columbia University, New York, New York*

AND

C. N. YANG,† *Brookhaven National Laboratory, Upton, New York*

(Received June 22, 1956)

The question of parity conservation in β decays and in hyperon and meson decays is examined. Possible experiments are suggested which might test parity conservation in these interactions.

There is actually no *a priori* reason why its violation is undesirable. As is well known, its violation implies the existence of a right-left asymmetry.

E' un problema che esista una violazione di parità e quindi una asimmetria L-R? Non necessariamente

Se si vuole comunque ripristinare una simmetria L-R si può ipotizzare che, accanto all'Universo ordinario (nel quale il neutrino attivo è rappresentato da ν_L), vi sia un **Universo speculare** (nel quale il neutrino attivo è rappresentato da ν_R)

exist corresponding elementary particles exhibiting opposite asymmetry such that in the broader sense there will still be over-all right-left symmetry.

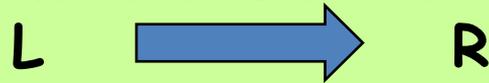
In such a picture the supposedly observed right-and-left asymmetry is therefore ascribed not to a basic non-invariance under inversion, but to a cosmologically local preponderance of, say, ϕ_R over ϕ_L , a situation not unlike that of the preponderance of the positive proton over the negative. Speculations along these lines are extremely interesting, but are quite beyond the scope of this note.

Considerazioni riprese successivamente da

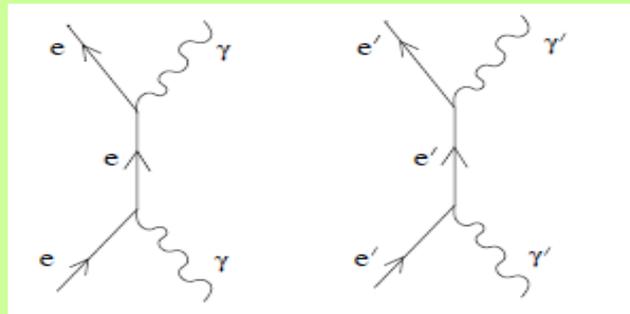
I.Yu.Kobzarev, L.B.Okun and I.Ya.Pomeranchuk (1966)

Un modello di Universo speculare

All'interno dell'Universo speculare esistono tutte le **particelle gemelle** di quelle dell'Universo ordinario: e' , p' , He' , O' , Fe' , ...
ma con accoppiamenti ottenuti dalla trasformazione



I **processi elettromagnetici sono identici** nei due Universi,
esempio dello scattering Compton:



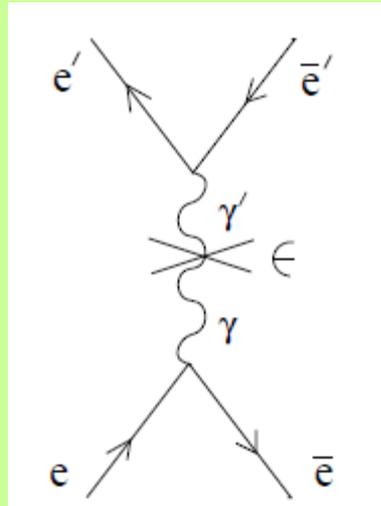
le sezioni d'urto dei due processi sono uguali

Invece il **bosone debole W'** si accoppia solo con le componenti **destrorse** di leptoni e quark

Possiamo avere una **finestra di osservazione su l'US** se esiste, **oltre alla gravità**, un termine di **accoppiamento tra particelle ordinarie e quelle speculari**, per esempio tramite un accoppiamento tra fotone ordinario e fotone speculare:

$$L = \frac{\varepsilon}{2} F^{\mu\nu} F'_{\mu\nu}$$

In questo caso un elettrone speculare si accoppierebbe con un fotone ordinario con una **carica efficace** $\varepsilon \times e$



Vincoli sull'US: la **cosmologia dell'Universo ordinario** che descrive molto bene alcuni processi fondamentali come

la nucleosintesi degli elementi leggeri (BBN)

la radiazione di fondo fotonica

la formazione di strutture a grande scala

non deve essere modificata dall'introduzione dell'US.

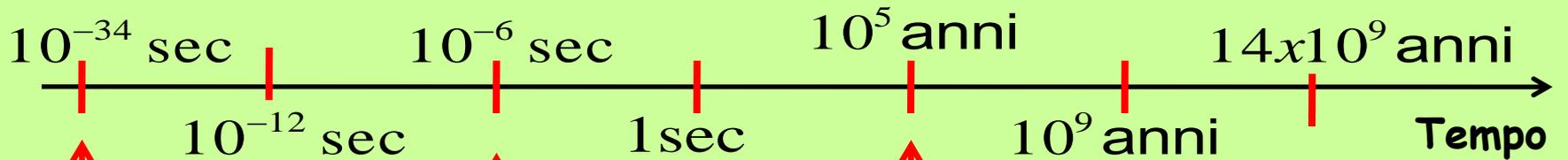
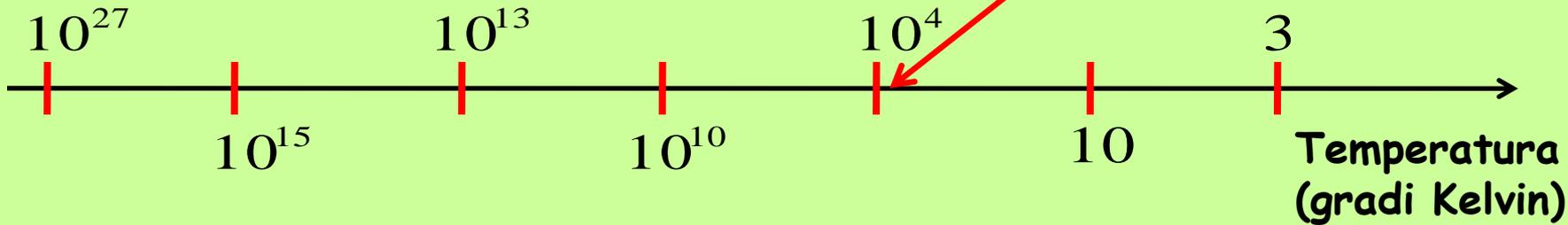
Non vi sono problemi se si ipotizza che, dopo l'inflazione, i **due settori, quello ordinario e quello speculare**, si riscaldino a **temperature diverse** con $T_s < T_o$:

se $T_s < \frac{1}{2}T_o$ la BBN non viene modificata

se $T_s < \frac{1}{4}T_o$ la materia barionica speculare può costituire la **materia oscura** dell'Universo $\Omega_{B'} \cong 5 \Omega_B$

**B
I
G**

**B
A
N
G**



fine della grande unificazione

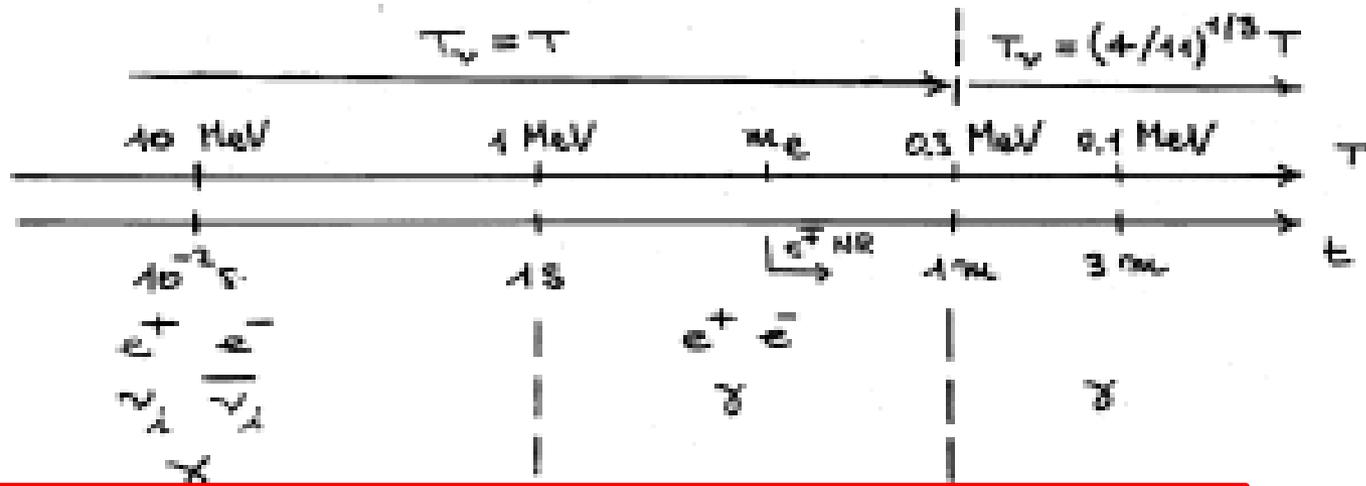
transizione quark adroni

inizia la formazione delle strutture cosmologiche

fine della unificazione elettrodebole

nucleosintesi

formazione della nostra galassia



$g_{*} = \frac{43}{4}$
 $g_{*} = \frac{11}{2}$
 $g_{*} = 2$

$\nu_2, \bar{\nu}_2, \nu_3$
 si disaccoppiano

$e^+ e^- \nu_i$
 annichilano

\uparrow (ca. 8 MeV)

n, p, ν_i
 si disaccoppiano

①

②

③

--- fasi della BBN ---

$$\frac{n}{p} \approx \left(\frac{n}{p} \right)_{T \approx 10^9 \text{ K}}$$

$$\frac{n}{p} = e^{-\frac{m_n - m_p}{T}} \approx \frac{1}{6}$$

$$\frac{n}{p} \approx \frac{1}{7}$$

Idrogeno 75%
Elio-4 25%

Contenuto in energia/materia nell'Universo

materia ordinaria (barionica)	$\cong 5\%$	}	$\Omega_{\text{DM}} \cong 5 \Omega_{\text{B}}$
materia oscura	$\cong 25\%$		
energia oscura	$\cong 70\%$		

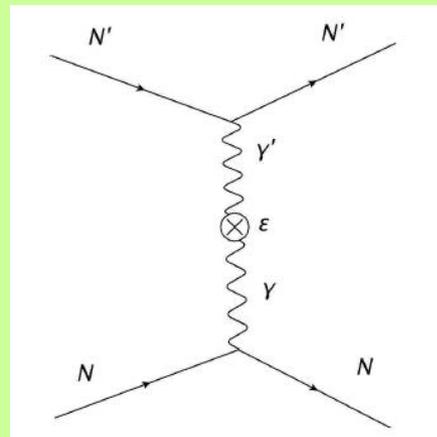
Notare che nell'US:

idrogeno	25%
elio-4	75%

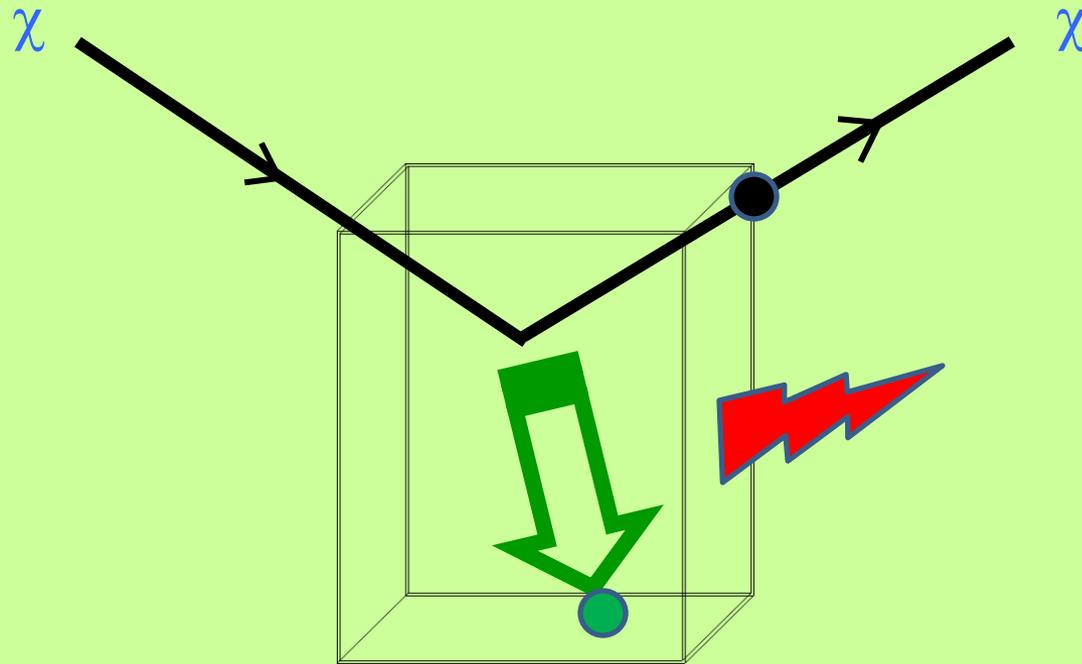
e anche gli elementi pesanti possono essere più abbondanti che nell'Universo ordinario

Particelle speculari come **candidate per materia oscura** introdotte da **S.I. Blinnikov and M. Yu. Khoplov**, **Sov. J. Nucl. Phys. 36 (1982) 472**

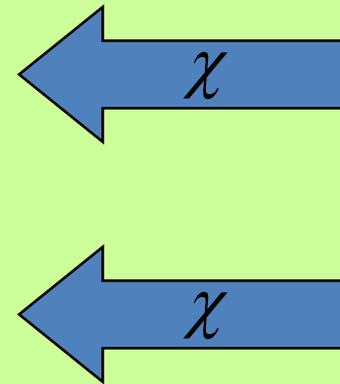
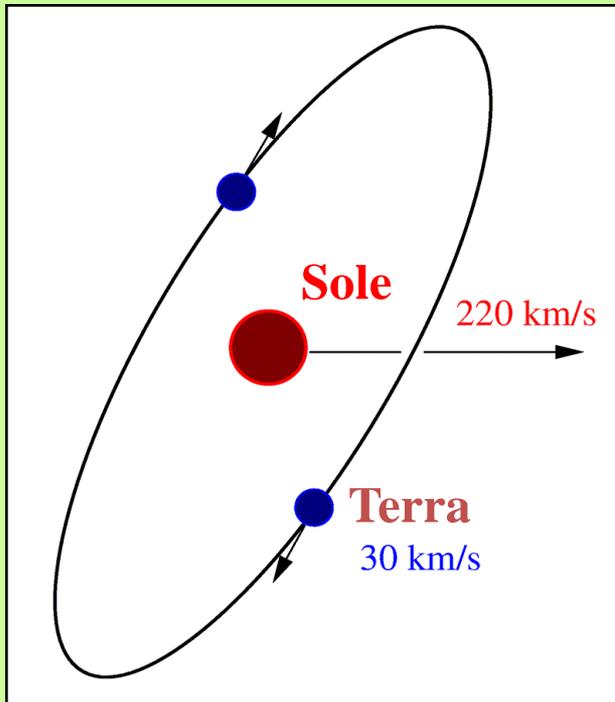
Segnali in esperimenti di rivelazione diretta di materia oscura sarebbe causati da **urto di nuclei speculari su di un nucleo ordinario del rivelatore** (**scattering Rutherford** indotto da interazione fotone speculare - fotone ordinario)



Misure dirette di WIMP



misura di rinculo nucleare

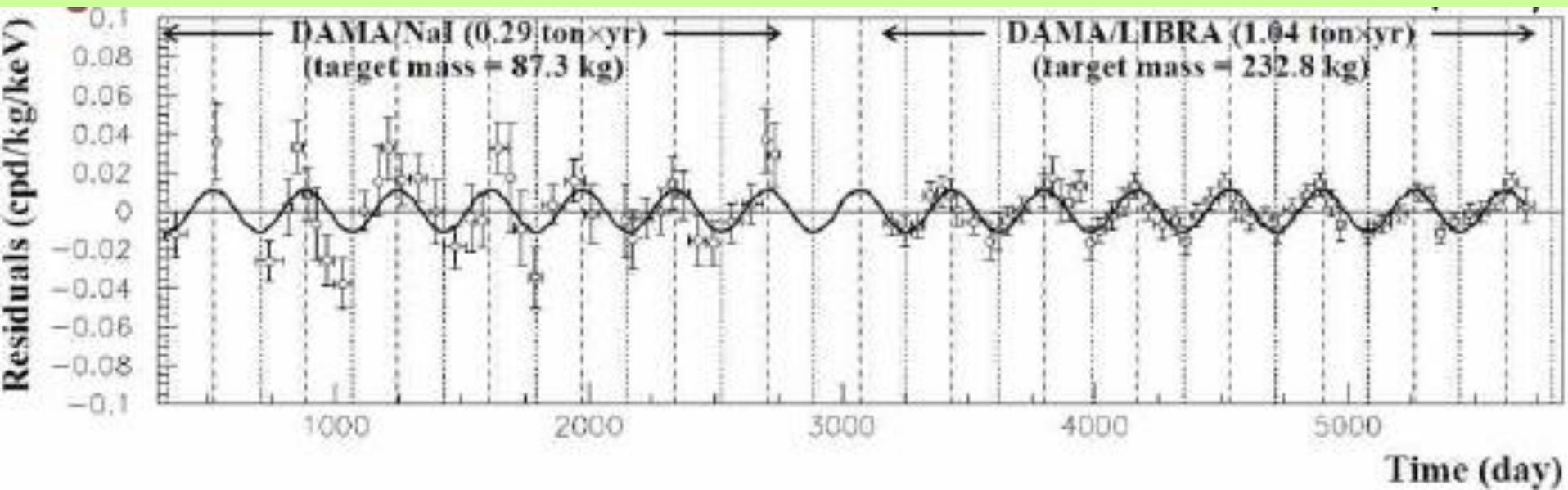


Moto del sistema solare
rispetto alle particelle
dell'alone oscuro

Esperimento DAMA presso il Laboratorio Nazionale del Gran Sasso dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Osservata una variazione annuale del segnale su di un periodo di più di 14 anni (esposizione totale = 1.33 tonnellate × anno)

9.3 σ C.L.



Questo segnale è compatibile con una materia oscura rappresentata da materia barionica speculare in modelli che sono in accordo anche con altri dati cosmologici (Cerulli et al, arXiv:1701.08590 [hep-ex])

Conclusioni

- ★ Per **ripristinare la simmetria destra-sinistra** è suggestivo immaginare l'esistenza di un Universo Speculare a quello ordinario
- ★ La **cosmologia dell'US** deve essere tale da non modificare apprezzabilmente quella dell'UO
- ★ La **materia barionica speculare** ha una composizione molto diversa da quella ordinaria e può costituire (almeno in parte) la **materia oscura cosmologica**
- ★ Difficile trovare diretta evidenza della effettiva esistenza dell'US