



The Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics - Arcetri, Florence  
Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze  
INFN, Sezione di Firenze



# Conference in honor of **ROBERTO CASALBUONI** 70th Birthday

GGI Arcetri, Firenze - September 21st, 2012

#### Speakers:

G. Altarelli, Università di Roma 3 and CERN  
S. De Curtis, INFN - Firenze  
F. Feruglio, Università di Padova  
J. Gomis, Universitat de Barcelona  
M. Grazzini, University of Zurich and INFN - Firenze  
M. Mannarelli, INFN - LNGS  
M. Modugno, IKERBASQUE & Universidad del País Vasco - Bilbao  
M. Redi, INFN - Firenze

#### Local Organizing Committee:

A. Barducci, S. De Curtis, D. Dominici, G. Pettini

Quando mi trasferii a Firenze, un paio di settimane dopo la laurea, scoprii con piacere che Gatto nell'anno o poco più trascorso a Firenze era riuscito ad aggregare un gruppo teorico di tutto rispetto. Oltre ai fiorentini Ademollo, Chiuderi e Longhi, laureatisi alcuni anni prima, vi trovai colleghi di Roma dell'anno precedente al mio, Guido Altarelli, Franco Buccella e Luciano Maiani, e Gabriele Veneziano che aveva appena cominciato il lavoro di tesi con Gatto. Un bel gruppo, che verrà poi ricordato come i «gattini», in omaggio all'opera dell'unico professore che nell'Italia del dopo-guerra sia stato capace di creare una scuola di fisica teorica che ha lasciato il segno.

(Giuliano Preparata)

“Because of my momentarily health conditions I cannot participate to the conference in honor of Roberto Casalbuoni, but I cannot avoid to write this letter to try to summarize some moments of my long collaboration with him.”



## From Gatto's letter

- Roberto asked me for his thesis when I was in Florence in 1969. The first work involved also Longhi and was an application of what were called at the time sidewise dispersion relations. But almost simultaneously our interest was taken by the possibility of realizing infinitely rising trajectories, a field which interested a number of theoreticians at that time, including Gell-Mann.

## Indefinitely Rising Trajectories and Gell-Mann's Program.

R. CASALBUONI (\*)

*Istituto di Fisica dell'Università - Firenze*

R. GATTO

*Istituto di Fisica dell'Università - Padova*  
*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Padova*

G. LONGHI

*Istituto di Fisica dell'Università - Firenze*  
*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Firenze*

(ricevuto il 16 Giugno 1969)

### 1. - Introduction and summary of conclusion.

In the preceding paper (1) we presented an algebraic realization of an indefinitely rising trajectory. The realization was in terms of an infinite-component wave-equation containing higher-order derivatives. A particularly interesting feature was the absence in the physical representations of spacelike and of lightlike solutions of continuum spin. This feature was seen to be directly connected with the indefinite linear rising of the trajectory.

It is well known that Gell-Mann's program (2) of saturating the current algebra commutators at infinite momentum in the Hilbert space of single-particle states is plagued by the impossibility of explicitly obtaining the commutators in the approach to Gell-Mann's program and the possible differences we shall here:

- a) construct the conserved currents of our model.
- b) proceed to a formal quantization of the infinite-component field.
- c) derive the current commutators from the canonical commutators and compare with the corresponding commutators of current algebra.

(\*) Now at Istituto di Fisica dell'Università, Padova.

(1) R. CASALBUONI, R. GATTO and G. LONGHI: *Let. Nuovo Cimento*, 2, 159 (1969).

(2) M. GELL-MANN, D. HORN and J. WEYERS: *Proceedings of the Heidelberg Conference, 1967*.

## From Gatto's letter

- In the following years Roberto developed his interest to more formal issues, using his exceptional mathematical abilities, and following a path leading to supersymmetries and anticommuting variables.

UNIFIED DESCRIPTION OF QUARKS AND LEPTONS <sup>\*</sup>R. CASALBUONI <sup>1</sup>*CERN, Geneva, Switzerland*

and

R. GATTO

*Département de Physique Théorique, Université de Genève, 1211 Genève 4, Switzerland*

Received 24 September 1979

We exploit the peculiar relation between color and flavor degrees of freedom, which emerges from the use of anticommuting variables, to propose a unified description of quarks and leptons. The description leads naturally to unified groups such as SU(5) and O(10), and allows a simple graphical representation of the dynamics. We also comment on possible extensions to include many families.

In this note we want to propose a unified description of quarks and leptons. The main idea will be to attribute color and charge to fermionic degrees of freedom. To this purpose we introduce a set of three Fermi oscillators ( $a_i, a_i^\dagger$ ) where  $i = 1, 2, 3$  are the color indices. The creation operator  $a_i^\dagger$  carries an electric charge  $Q = 1/3$  and  $B-L = 2/3$  ( $B$  = baryon number,  $L$  = lepton number). We also introduce a basic two-component spin 1/2 fermion  $\chi_L$  ( $L$  stands for left-handed) with  $Q = 0$  and  $B-L = -1$ . We identify  $(\nu_e, \bar{d}_j, u_j, e^+)_L$  with the states which can be formed with  $\chi_L$  and the  $a_i^\dagger$ 's:

$$(\nu_e)_L \equiv \chi_L, \quad (\bar{d}_j)_L \equiv a_j^\dagger \chi_L,$$

$$(u_j)_L \equiv a_j^\dagger a_k^\dagger \chi_L \quad (\text{cyclic order}), \quad (1)$$

$$(e^+)_L \equiv a_1^\dagger a_2^\dagger a_3^\dagger \chi_L.$$

Because of the Fermi character of the  $a_i^\dagger$ 's these are all possible states, and one verifies that all quantum numbers are correctly assigned. It is convenient to visualize

<sup>\*</sup> Supported in part by the Swiss National Science Foundation.

<sup>1</sup> On leave of absence from, and address after December 31, 1979: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze, 50125 Florence, Italy.

the content of eq. (1) as in table 1.

To describe  $(e^-, \bar{u}_i, d_i, \bar{\nu}_e)_L$  we add to the set  $(a_i, a_i^\dagger)$  a fourth colorless Fermi oscillator  $(b, b^\dagger)$ . The operator  $b^\dagger$  carries  $Q = -1$  and  $B-L = 0$ . We then have

$$(e^-)_L \equiv b^\dagger \chi_L, \quad (\bar{u}_i)_L \equiv b^\dagger a_i^\dagger \chi_L,$$

$$(d_j)_L \equiv b^\dagger a_j^\dagger a_k^\dagger \chi_L \quad (\text{cyclic order}), \quad (1')$$

$$(\bar{\nu}_e)_L \equiv b^\dagger a_1^\dagger a_2^\dagger a_3^\dagger \chi_L,$$

and the graphical content is again illustrated in table 1. We consider the relation of color and flavor degrees of freedom as evidenced by eqs. (1) and (1') as extremely suggesting.

From the assignments, it follows that

$$Q = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 a_i^\dagger a_i - b^\dagger b \equiv \frac{1}{3} \sum_i N_i - N,$$

$$B-L = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 N_i - N_{\chi_L}, \quad (2)$$

$$C_{ij} = a_i^\dagger a_j - \frac{1}{3} \left( \sum_{k=1}^3 N_k \right) \delta_{ij},$$

- Infinite component wave equations
- Dual models
- Classical aspects of susy representations
- Composite models for  $q$  and  $l$
- Chiral symmetry breaking in QCD
- Phenomenology and model building in BSM (BESS,  $Z'$ , little Higgs..)
- Chiral lagrangians for heavy mesons
- Strong interactions at non zero  $T$  and density







È stato una cancellazione sistematica dei fattori  $(2\pi)^4$  eccetto quello associato alle  $\delta$ , che è compensato dal  $(2\pi)^4$  che abbiamo lasciato nell'integrale in  $d^4q$ .

Ogni vertice contribuisce con il fattore  $-ie\gamma_\mu$  ed ogni particella esterna, con il suo spinore ed il fattore  $\frac{m}{EV}$ .  
 C'è inoltre il fattore:

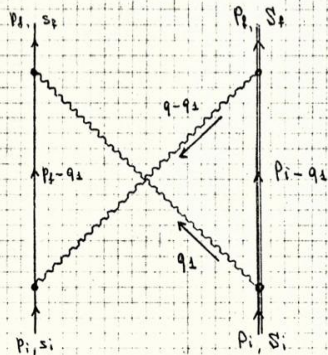
$$\frac{i}{p-m+i\epsilon}$$

per il propagatore del fermione intermedio in termini,

$$\frac{-i}{q^2+i\epsilon}$$

per ogni fotone intermedio.

L'altro termine nella  $\mathcal{M}$ , corrisponde al grafico (nello spazio degli impulsi):



Pertanto, questo grafico, dà lo stesso contributo del precedente, salvo la sostituzione nel propagatore del fotone di  $p_1+q_1$  in  $p_1-q_1$ , ed il con.

sporzionale fattore, cioè:

$$1) \bar{u}(p_1, s_1) \gamma^\mu \frac{1}{p_1 - q_1 - M + i\epsilon} \gamma^\mu u(p_1, s_1)$$

La valutazione della  $\mathcal{M}$  non è banale, poiché coinvolge una difficile integrazione quadridimensionale. Il calcolo è stato eseguito nel limite statico del fotone, trattato come una sorgente Coulombiana uniforme, di Dalitz.

## Bremsstrahlung

È possibile che uno dei due fotoni scambiate nello scattering elettrone-fotone del  $q^2$  ordine, soddisfi la condizione  $q^2=0$ .

In questo caso può emettere, invece di essere riassorbito, ed emettere come radiazione libera o bremsstrahlung.

Un quark potenziale di un fotone di impulso  $k_\mu$  e polarizzazione  $\epsilon^\mu$ , può essere scritto come un'onda piana:

$$1) A^\mu(x) = \frac{\epsilon^\mu}{\sqrt{2kV}} (e^{-ikx} + e^{ikx}) \quad \begin{matrix} a) k_\mu k^\mu = 0 \\ b) \epsilon_\mu k^\mu = 0 \end{matrix}$$

$\epsilon_\mu$  è il quadrivettore di polarizzazione che soddisfa alle condizioni di trasversalità (b).

In un riferimento speciale di Lorentz,  $\epsilon^\mu$  è puramente spaziale:

$$2) \epsilon^\mu \equiv (0, \underline{\epsilon}) \quad \text{con } \underline{\epsilon} \cdot \underline{\epsilon} = 1$$

# Meccanica Quantistica

Roberto Casalbuoni

Dipartimento di Fisica, Università di Firenze

Appunti delle lezioni date all'Università di Firenze nell'a.a. 2005/2006.

## Capitolo 2

### L'esperimento di interferenza di Young

L'esperimento che maggiormente mette in risalto gli aspetti più fondamentali della meccanica quantistica è l'esperimento di interferenza di Young, o esperimento della doppia fenditura illustrato in Figura 2.1.

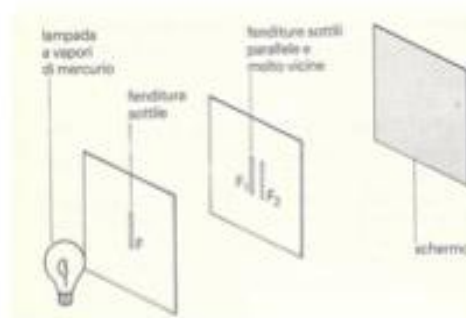


Figura 2.1: Schema del dispositivo per l'esperimento di Young.

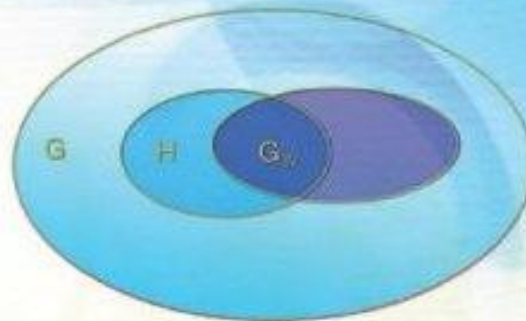
In questo esperimento, un raggio luminoso viene scisso in due fasci per effetto delle due fenditure  $F_1$  e  $F_2$  producendo una figura di interferenza sullo schermo. Le frange di interferenza sono dovute ai diversi cammini percorsi dai due raggi che possono arrivare in fase o in opposizione di fase sullo schermo, producendo dei minimi o dei massimi di intensità luminosa, come mostrato in Figura 2.2. Tutto questo è perfettamente spiegabile nell'ambito della teoria ondulatoria della luce. Supponiamo adesso di analizzare al microscopio vari punti sullo schermo.

Sulla base dell'ipotesi ondulatoria della luce ci aspetteremmo di osservare delle distribuzioni uniformi, come mostrato nella parte sinistra di Figura 2.3. Ciò che

Copyrighted Material

INTRODUCTION TO  
**QUANTUM FIELD  
THEORY**

**Roberto Casalbuoni**



 World Scientific

Copyrighted Material

# From Gatto's letter

- It does not belong to me to describe the purpose, utilities, and realizations of the Galilei Institute. But Florence, because of its vast contribution to theory, in great part due to Roberto's work, and because of the presence of the Galilei Institute, is now considered everywhere in the world as one of the most important centers in Italy for theory.
- To me, who arrived in Florence at a time when very little existed and when any development took much work and unbelievably strong efforts, this comes as a point of satisfaction and of gratitude to all the younger people who have contributed to the success. Ademollo and Veneziano should be also mentioned here. But historically Roberto had a prominent role.



# FAENZA: ARRIVO

100 Km.

del **Passatore**

FIRENZE - FAENZA (Romagna)

24-25 maggio 1986

14<sup>o</sup> EDIZIONE



ORGANIZZAZIONE  
U.O.E.I. - FAENZA



# program

**9.30- 9.45 Introduction**

**9.45-10.30 Guido Altarelli Does Nature Really Care about Naturalness?**

**10.30-11.00 coffee break**

**11.00-11.45 Michele Modugno From Gross-Neveu to Gross-Pitaevskii, and beyond**

**11.45-12.30 Michele Redi/Stefania De Curtis From BESS to Composite Higgs**

**12.30-14.00 lunch break**

**14.00-14.45 Massimiliano Grazzini The nature of the 125 GeV boson, SM Higgs or else ?**

**14.45-15.30 Massimo Mannarelli Color superconductivity**

**15.30-16.15 Joaquim Gomis Vector Supersymmetry and Non-linear Realizations**

**16.15-16.45 coffee break**

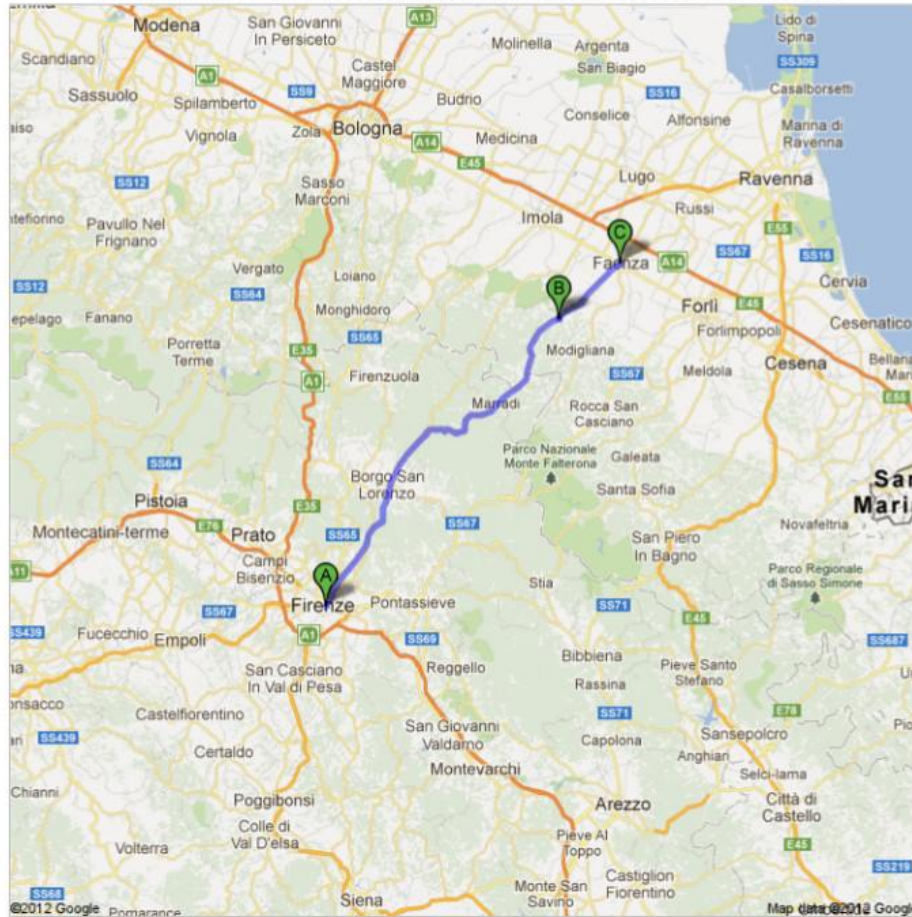
**16.45-17.30 Ferruccio Feruglio Flavor Symmetries and Neutrino Oscillations**

**17.30-18.00 Luigi Dei Popularisation of science: un omaggio all'opera di divulgazione scientifica di Roberto Casalbuoni**



Indicazioni stradali per Faenza RA  
96,6 km – circa 20 ore 9 min

Le indicazioni per tragitti a piedi sono in versione beta.  
Presta attenzione – questo percorso potrebbe non disporre di marciapiede o aree pedonali.



**FAENZA: ARRIVO**  
**100 Km.**  
**del Passatore**



**FIRENZE - FAENZA (Romagna)**  
24-25 maggio 1986  
**14° EDIZIONE**

ORGANIZZAZIONE  
U.O.E.I. - FAENZA