

Symmetries in Elementary
Particle Physics

A. ZICHICHI

**SYMMETRIES IN
ELEMENTARY
PARTICLE
PHYSICS**

**1964 International School of Physics "Ettore Majorana,"
a CERN-MPI-NATO Advanced Study Institute**

SYMMETRIES IN ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS

Edited by A. Zichichi

ERRATA

On the front cover, N. Cabbibo should read N. Cabibbo.

In the Table of Contents on page xii, page 365 should be 367, and all following numbers should read two higher to coincide with the listings in the text.

On page 265, the heading "II. THE $K^0 - \bar{K}^0$ SYSTEM" should read "II. THE $K^0 - \bar{K}^0$ SYSTEM."

COPYRIGHT © 1965, BY ACADEMIC PRESS INC.

ALL RIGHTS RESERVED.

NO PART OF THIS BOOK MAY BE REPRODUCED IN ANY FORM,
BY PHOTOSTAT, MICROFILM, OR ANY OTHER MEANS, WITHOUT
WRITTEN PERMISSION FROM THE PUBLISHERS.

ACADEMIC PRESS INC.

111 Fifth Avenue, New York, New York 10003

United Kingdom Edition published by
ACADEMIC PRESS INC. (LONDON) LTD.
Berkeley Square House, London W.1

LIBRARY OF CONGRESS CATALOG CARD NUMBER: 65-25353

PRINTED IN THE UNITED STATES OF AMERICA.

FOREWORD

During two weeks in August-September 1964, 120 physicists from twenty-eight countries met in ERICE to attend the second course of the International School of Physics "Ettore Majorana", the proceedings of which are contained in this book.

The countries represented at the school were: Australia, Austria, Belgium, Canada, China, Czechoslovakia, Democratic Republic of Germany, Denmark, Federal Republic of Germany, France, Greece, Hungary, India, Ireland, Israel, Italy, Netherlands, Norway, Pakistan, Poland, Rumania, South Africa, Sweden, Switzerland, Turkey, United Kingdom, United States and Yugoslavia.

The School was sponsored by the European Organization for Nuclear Research (CERN), the Italian Ministry of Public Education (MPI) and the North Atlantic Treaty Organization (NATO). Many organizations gave their moral and financial support; we would like to acknowledge in a particular way the National Science Foundation of the United States of America and the Federazione degli Industriali Siciliani. The personal scientific sponsorship of Professors Gilberto BERNARDINI, Richard P. FEYNMAN and Victor F. WEISSKOPF was of vital importance for the realization and the great success of the school. Our gratitude to them is very deep and sincere. The school had the great fortune of having among its enthusiastic supporters the Italian Minister of State Dr. Bernardo MATTARELLA, to whom we wish to express our most sincere and grateful appreciation.

The programme of the school was greatly influenced by two remarkable discoveries: the Ω^- and the $K_2^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$. Both results encouraged a tremendous development in both theoretical and experimental work. At present, one may believe that we understand how isospin and hypercharge are inter-related, and we have great hopes that we are on the right track to understanding the link between these internal degrees of freedom of a particle and its intrinsic angular momentum. In other words, the isospin and the hypercharge do not seem to be more mysterious than the spin.

Thanks to very recent experiments, we already know that a fifth force of the kind so far considered cannot be responsible for the two-pion-decay-mode of the K_2^0 -meson, and we still have to wait for further experimentation to know whether the fundamental reason for the presence of this decay mode is really T-violation. These aspects of one of the most fundamental branches of Science and their possible implications, together with all necessary background, were taught and discussed in ERICE. I hope that the reader will enjoy the book as much as the students enjoyed attending the lectures and the discussions. This is, in fact, the first year that the discussions have been reproduced as faithfully as possible. It was felt that they could not be omitted without seriously injuring the spirit of the School.

At various stages of my work, I enjoyed the collaboration of many friends whose contributions have been extremely important for the School and are highly appreciated. I would like to thank them most warmly: Dr. T. Massam, who acted as deputy director, Drs. L.C. Biedenharn, M.J. Levine, J.D. Reichert and W.S. Wagner who acted as scientific secretaries; Misses Y. Dawson, S. Greenstreet, I. Speer and Mrs. L. Brusa, who were responsible for the typing and duplication of all lectures and discussions in Erice; Miss M. Hoeksema who acted as secretary of the course; and Misses Y. Dawson, C. Mason and Mrs. K. Wakley who were responsible for the final typing of all the proceedings in Geneva. A final word of acknowledgement to all those who, in Erice and in Geneva, helped me on so many occasions and to whom I feel very much indebted.

A. ZICHICHI
Geneva - 1964

TABLE OF CONTENTS

OPENING SPEECH

G. Bernardini	:	"La fisica ed il progresso del pensiero scientifico attraverso i secoli".	2
---------------	---	---	---

LECTURES

P. Kabir	:	SYMMETRY PRINCIPLES IN PARTICLE PHYSICS	11
		I : Invariance in quantum theory	11
		1. Superselection rules	13
		2. Generators of continuous transformations	14
		3. Inhomogeneous euclidean group	21
		4. Four-dimensional rotations	22
		5. Lorentz transformations	23
		6. Inhomogeneous Lorentz group	24
		7. Relation to usual spin description	26
		II : Discrete symmetry operations	27
		1. Charge conjugation	33
		2. G Parity	36
		3. Time reversal	36
		4. TCP Theorem	39
		III : The Yang-Mills field	41
		Bibliography	48
S.M. Berman	:	ELEMENTS OF SU_3	49
		I : Introduction and basic ideas	49
		The unitary group U_n	54
		U_2 and SU_2	56
		SU_3	57
		II : Properties of SU_3 representations	61
		III : Degeneracy and tensorial methods	70
		IV : The matrices for baryons and mesons and Yukawa couplings	79
		V : The mass formula; medium strong splittings	85
		VI : The electromagnetic mass splittings	94

VII : Decimet decay widths and summary	102
1. Multiplet structure	107
2. Strong mass formula	109
3. Electromagnetic mass formula	109
4. Decay widths - ($10 \rightarrow 8 + 8$)	109
References	110
R.P.Feynman : CONSEQUENCES OF SU_3 SYMMETRY IN WEAK INTERACTIONS	111
<u>1st Lecture</u> : Introduction	111
Form of the four-fermion weak interaction	112
Parity non-conservation	113
Strong interaction modification of weak decay matrix elements and the conserved vector current theory	114
Electromagnetic corrections to weak interaction matrix elements	117
<u>2nd Lecture</u> : Strangeness changing weak decays	120
The current-current theory	122
Pion decay	124
<u>3rd Lecture</u> : Introduction to SU_3	138
Sum rules for mass splittings	141
Octet operators	142
Reduction of the direct product of two octets	144
<u>4th Lecture</u> : Couplings of the baryons and mesons	150
SU_3 in the weak interactions	151
Universality and the strangeness changing decays	152
Comparison of the Cabibbo theory with experiment	154
Determination of the axial vector current F/D ratio	155
<u>5th Lecture</u> : Generalization of the Goldberger-Treiman Relation	158
Leptic decays	159
Non-leptic decays	160
Tests of the $\Delta I = \frac{1}{2}$ rule	161

	<u>6th Lecture:</u> Attempts to deduce the $\Delta I = \frac{1}{2}$ rule	165
	Weak decay data summary	171
R. Gatto	: VECTOR AND AXIAL CURRENTS UNDER FIRST ORDER SYMMETRY BREAKING	175
	I : The current octets	176
	II : First class and second class amplitudes	176
	III : Charge conjugation on an octet	177
	IV : First order symmetry breaking	177
	V : Restrictions following from charge conjugation	179
	VI : First class covariants	181
	VII : Second class covariants	182
	VIII : First class amplitudes for leptonic decays	182
	IX : Second class amplitudes for leptonic decays	183
	X : Electromagnetic amplitudes	184
	First class electromagnetic amplitudes	184
	Second class electromagnetic amplitudes	185
	XI : A non-renormalization theorem for the vector current octet	185
	XII : Bosons	188
	XIII : Currents with indefinite charge conjugation	190
	References	191
G. Zweig	: FRACTIONALLY CHARGED PARTICLES AND SU_6	192
	I : The Sakata model and its modification	192
	II : The Ace model	197
	III : A symmetry higher than SU_3	219
	References	234

P. Tarjanne	:	SU_4	235
		I : Representations of SU_4	236
		1. Sakata model	236
		2. Ace model	236
		3. Eightfold way	236
		II : Mass formulae	238
		III : Weak interactions	240
		References	243
L.C. Biedenharn	:	SOME PROPERTIES OF THE SU_n REPRESENTATION	244
		Suggested Bibliography	255
N. Cabibbo	:	POSSIBLE CONSEQUENCES OF THE $K_2^0 \rightarrow \pi + \pi^-$ decay	256
		I : Phenomenology of K decays (an outline)	256
		1. $K \rightarrow 2\pi$	256
		2. $K \rightarrow 3\pi$	258
		3. Leptonic decays	260
		II : The $K^0 - \bar{K}^0$ system	265
		1. Decays and mass difference	265
		2. Regeneration in matter	271
		III : Are K_0 's an isolated system?	273
		1. Reality character	275
		2. Consequences of reality character	275
		3. Consequences of tensor character	277
		IV : CP violation in K_2^0 decays	279
		1. $K_2^0 \rightarrow 2\pi$ decays, regeneration in matter	279
		2. Ratio of leptonic decays in K_2^0, R_2	282
		3. If CP is violated, how strongly so?	282
		4. Decay into 3π	284
		V : CP violation in weak interactions, leptonic decays	286
		Appendix - CP invariance and SU_3	291
		References	292

SEMINARS

J. Ashkin	: METHODS FOR ASSIGNING SPIN AND PARITY TO BARYON RESONANCES	293
	I : Determination of the spin and parity of baryon resonances. Method of Byers and Fenster	293
	Decay from a particular spin state of the Y^*	294
	II : Decay from a statistical mixture of spin states; density matrices for Y^* and Y	298
	III : Intensity distribution	301
	IV : Angular distribution of the polarization of Y	303
	1. Longitudinal polarization $\vec{P} \cdot \hat{n}$	304
	2. Transverse polarization	304
	V : Lorentz frames in which to measure the decay of Y^* and Y	305
	VI : Restrictions on the t_L^M	307
	VII : Summary of procedure for spin parity determination	309
	VIII : Background interference	309
	References	310
G. Bernardini	: GENERAL REVIEW OF NEUTRINO PHYSICS	311
	Separation of events into elastic and inelastic	319
	Recognition of elastic events	321
	The inelastic events	327
	To what level can we say that $\nu_\mu \neq \nu_e$	328
	Neutral currents	329
	W:intermediate vector bosons	330
	References	340
M.M. Block	: FUTURE EXPERIMENTS IN NEUTRINO PHYSICS	341

G. Conforto	: MEASUREMENT OF THE ANGULAR CORRELATION OF ELECTRONS RELATIVE TO Λ SPIN IN Λ^0 - β DECAY	360
B.A. Sherwood	: MOMENTUM SPECTRUM OF POSITRONS FROM MUON DECAY	365

DISCUSSIONS

led by R.P. Feynman 368

Discussion I	368
Discussion II	375
Discussion III	379
Discussion IV	384
Discussion V	389
Discussion VI	394

CLOSING LECTURE

R.P. Feynman	: PRESENT STATUS OF STRONG ELECTROMAGNETIC AND WEAK INTERACTIONS	398
	I : Basic physics	398
	II : Conservation laws	400
	III : Existential Questions	404
	IV : The question of dynamics	409
	V : Advice for the future	413

* * *

<u>List of Participants</u>	417
-----------------------------	-----

OPENING CEREMONY

Alla cerimonia inaugurale di apertura del corso, che ha avuto luogo nel salone dell'albergo Jolly in Erice, Mercoledì 26 Agosto, hanno partecipato: S.E. il Ministro On.le Avv.to Bernardo MATTARELLA, l'On.le Avv.to Enzo Occhipinti Presidente di Commissione Legislativa dell'Assemblea Regionale Siciliana, S.E. il Prefetto di Trapani Dr. A. Malarbi, il Presidente della Commissione Provinciale di Controllo Avv.to S. Grillo, il Presidente della Sicindustria Avv.to G. Messina, il Vicepresidente dell'Amministrazione Provinciale di Trapani Avv.to L. Canino, il Provveditore agli Studi Dr. G. Purpi, il Sindaco di Erice Avv.to G. Spitaleri, il Questore di Trapani Dr. Impuglisi ed altre Autorità Civili e Militari tra cui il Dr. A. Accardi, Segretario Generale della Provincia, il Presidente dell'Ordine dei Medici Dr. G. Garaffa ed il Comandante dei Carabinieri.

Il Presidente della Società Italiana di Fisica, Chiarissimo Professore Gilberto BERNARDINI dell'Università di Roma, ha tenuto il discorso inaugurale parlando sul tema: "La Fisica ed il Progresso del Pensiero Scientifico attraverso i Secoli."

* * *

Discorso inaugurale del Chiarissimo Professore G. Bernardini

"La fisica ed il progresso del pensiero
scientifico attraverso i secoli"

Eccellenze, Signore e Signori,

il titolo di questo mio discorso può essere sufficiente a far pensare a molti di loro, così gentilmente venuti a sentirmi, di dover trascorrere un'ora ascoltando un fisico che dice, per un verso o per un altro, quanto importante sia la fisica. Sapendo questo io non posso che apprezzare ancora di più la loro cortesia e mettermi nei loro panni, consapevole del fatto che nell'ultimo ventennio i fisici, ed in generale gli scienziati, hanno sfruttato a fondo il ruolo dominante da essi assunto in una società umana ormai sostanzialmente condizionata da uno sviluppo scientifico senza precedenti.

Sono molte le cause di questo sviluppo che ha origini lontane ed una storia complessa. Una storia che in media sembra essere quella dell'accrescimento e del propagarsi del benessere su masse sempre più vaste di uomini, anche se si tratta di una storia profondamente travagliata e, come sempre succede per le grandi e rapide transizioni della società umana, costruita a prezzo di tragedie collettive dove intere popolazioni patirono in una misura che sconvolgerebbe per compassione qualsiasi uomo sano di mente e di cuore anche quando esposte a simili sofferenze non fossero state decine di milioni di uomini, ma una sola creatura umana. Di questa storia e precisamente del rapporto determinante fra progresso scientifico e progresso umano vorrei parlare oggi, pur sapendo di non poter dire loro niente che non sia già stato detto o scritto precedentemente. Questo mio discorso ha però un'aspirazione: vorrei convincere loro che il chiamare il nostro tempo enfaticamente l'Era della Scienza è connesso ad un'ingenua, spesso rozza, indiscriminata esaltazione della mente umana, che è bene

combattere ed eliminare, specialmente attraverso la larga diffusione di un'autentica cultura scientifica. Vorrei dimostrare che è assurdo il ritenere più o meno inconsciamente che si sia costituita e si stia sviluppando una nuova classe di maghi ogni giorno in azione per produrre un nuovo tipo di miracoli. Nè nella Scienza, nè in quelli che la coltivano come attività e professione, c'è niente che sia o debba apparire magico. Il pensare diversamente è solo frutto di una nuova forma di ignoranza, pericolosa come il feticismo e da distruggere come il feticismo. E' questo in sostanza ciò che io vorrei sapere dire a loro fino a raggiungere il loro convincimento.

Potrei cominciare col dire che l'influenza essenziale della Scienza sulla società umana sembra ovvia non solo nella storia, ma anche nella preistoria. Che gli uomini vissuti cinque o diecimila anni fa abbiano considerato quelli o quello fra loro, capace di accendere il primo fuoco, un essere degno di competere con la potenza divina non sorprende nessuno. Sembra anche del tutto naturale che gli uomini vissuti alcune migliaia di anni fa abbiano considerato come esseri superiori, facendone gli arbitri della vita delle tribù, quelli, fra loro, più intelligenti ed attivi capaci di differenziare attraverso la ripetuta osservazione di fenomeni biologici, le "male erbe", dalle piante medicinali e dai cereali, iniziando di questi ultimi la coltivazione sistematica. Ma la Scienza solo negli ultimi quattro secoli ha perduto il suo carattere sporadico ed episodico. Archimede ed Aristotele furono gli unici grandi maestri di Galileo Galilei e dei suoi contemporanei; ed invece a un secolo di distanza dalla morte di Galileo Galilei la fisica e la biologia erano già delle solide costruzioni di conoscenza e di cultura che ogni generazione ereditava dalla precedente, con chiare e sempre più vaste prospettive.

Potrebbe forse sembrare che oggi la situazione non sia molto diversa e sotto alcuni aspetti credo sia giusto il pensarlo. Tuttavia sono incline a credere che un'analisi più profonda della sequenza dei rapporti fra Scienza e Tecnica, fra quest'ultima e il progresso sociale,

fra progresso sociale ed evoluzione intellettuale e morale, porterebbe a constatare che differenze profonde esistono per esempio sul ruolo esercitato dalla Scienza prima e dopo l'avvento della rivoluzione industriale, prima e dopo l'ultima grande guerra. Tracciando una breve sintesi vorrei cominciare con l'inquadrare le scoperte astronomiche di Keplero e di Galileo nell'influenza che esse ebbero sullo sviluppo spirituale degli uomini del loro tempo. Prima di queste scoperte la libertà intellettuale era limitata alle espressioni artistiche. Pittori e scultori, poeti ed architetti, erano i soli capaci di parlare agli uomini un linguaggio che potesse risvegliare in essi gli aspetti più alti della dignità umana. Come esempi, che io ricordo per la chiarezza estrema raggiunta nell'esprimere una grande visione, vorrei ricordare loro il bacio di Giuda nella Cappella degli Scrovegni e l'Adamo benedetto dal Creatore, nella cappella Sistina. Ma appena un secolo e mezzo dopo l'apparire del "Siderium Nunci" e la pubblicazione in Olanda del "Dialogo intorno a due Scienze nuove", la descrizione corretta e raffinata di tutti i fenomeni meccanici e di alcuni fenomeni fondamentali di ottica, frutto delle opere di Huyghens, Newton, Laplace, Eulero ed altri fino a Lagrange, la legge della gravitazione universale e le conseguenti grandi scoperte astronomiche, erano una luce che si distendeva lontano sul futuro di tutti gli uomini. Furono molti allora quelli capaci di leggere la grande Enciclopedia, la "Summa della Storia Moderna"; e da questi uomini colti, divenuti liberi dai pregiudizi che avevano cristallizzato la società umana per oltre cinque secoli, scaturì il più grande movimento sociale della Storia: la rivoluzione francese. Il secolo successivo è invece il secolo della rivoluzione industriale, ed è in questo secolo che si comincia a delineare un rapporto fra Scienza e Società Umana, antichissimo come processo, ma essenzialmente nuovo rispetto alla scala dei tempi. Durante il diciannovesimo secolo l'intervallo di tempo che intercorre fra una serie di scoperte scientifiche e le "invenzioni" che utilizzano queste scoperte ai fini del benessere e dello sviluppo della civiltà comincia a contrarsi. La contrazione aumenterà rapidissimamente con l'estendersi ed il concatenarsi fra loro delle scienze e delle loro applicazioni, in

tutte le attività umane. Fra la sintesi dei fenomeni elettromagnetici e luminosi fatta da Maxwell (esempio quasi unico nella storia del pensiero umano) e la telegrafia senza fili di Marconi, c'è un intervallo di circa cinquanta anni; fra la scoperta delle proprietà singolari dei semiconduttori e l'uso universale delle radio tascabili, delle teletrasmissioni attraverso satelliti artificiali ecc. passano meno di dieci anni.

Con la rivoluzione industriale, ha inizio questa reazione a catena sempre più rapida fra scienza ed invenzione, fra invenzione e industria. La rivoluzione industriale ebbe inizio con la macchina a vapore inventata dall'orologiaio Watt, col processo per produrre la soda caustica di Leblanc, con l'invenzione dell'illuminazione a gas di Murdoch e la costruzione del primo telaio continuo da parte del barbiere Arkwright. Lo sviluppo economico corrispondente dei paesi più progrediti fu enorme. Insieme (poichè con le macchine a vapore e con la luce artificiale che prolungava il giorno, gli uomini, anche fisicamente poco prestanti, potevano produrre quello che nel passato avrebbe richiesto ingente e qualificata mano d'opera) adolescenti e ragazzi vennero sottoposti ad una lenta sistematica decimazione perpetrata con salari di fame e quattordici ore di lavoro giornaliero.

La rivoluzione industriale con le sue glorie e le sue incredibili miserie cambiò radicalmente la società delle nazioni più civili. Al tempo stesso ebbe inizio fra la cultura scientifica e tutte le altre forme di cultura atte a migliorare il livello intellettuale e morale dei popoli civili quel divorzio di cui oggi ogni giorno, risentiamo le conseguenze. Scienza divenne sinonimo d'invenzione e quest'ultima fu un bene o un male a seconda dell'uso che ne fecero gli uomini cui le vicende storiche, di volta in volta, affidarono il destino dei popoli.

Ovviamente oggi la struttura delle società più progredite è diversa per esempio da quella che regolava la vita dell'Europa un secolo fa, ma sarebbe pericolosa e spregievole illusione addurre il merito di

questa evoluzione agli uomini che direttamente coltivarono nel secolo scorso, le Scienze. Nel secolo scorso Fisica, Chimica e Biologia progredirono rapidissimamente sfruttando a fondo tutti i vantaggi dello sviluppo tecnico, ma il "Progresso" e le sue spesso imprevedibili tragiche conseguenze, furono oggetto di studio e di pensiero da parte di una nuova categoria di scienziati e filosofi: i sociologi. Al tempo stesso la Scienza come cultura diffusa e largamente educatrice perde giorno per giorno il grande prestigio e la grande influenza di cui aveva goduto nel secolo precedente.

E' mia opinione, condivisa da molti, che anche oggi, dopo tante penose esperienze, molte persone (fra le più colte, ma non direttamente impegnate in attività di ricerca scientifica) abbiano una considerazione del valore della scienza che ben poco ha in comune con il peso che si attribuisce alla cultura come elemento essenziale di civiltà.

Cultura è un bene individuale e insopprimibile; è costruita dalle migliori esperienze personali consentiteci dal nostro intelletto e dalla nostra sensibilità, e può o dovrebbe essere guida determinante per il nostro modo di vivere.

Però oggi ciò sembra raramente vero per la cultura scientifica. La connessione fra una pura scoperta scientifica e lo sviluppo industriale ed economico che ne possono derivare è così rapida che il senso del progresso scientifico penetra nella maggioranza degli uomini innocentemente, ma brutalmente, attraverso la constatazione giornaliera che col denaro è possibile avere una vita più facile e gradevole e naturalmente, almeno per quanto riguarda lo spirito, più superficiale.

La cultura scientifica quindi viene ignorata perchè della Scienza interessa con grossolano materialismo, solo ciò che serve. Al suo posto si sostituiscono, invadenti, altre forme di cultura più facili a essere superficialmente acquisite, meno impegnative quindi, intellettualmente e moralmente. Questo modo di procedere è secondo me (e non credo che sia una distorsione professionale) un "errore" ed è particolarmente grave