

A. Baracca^(x) e S. Bergia^(o): CONSIDERAZIONI CRITICHE SULLE SCELTE E SUL METODO DELLA RICERCA ATTUALE IN FISICA DELLE ALTE ENERGIE. -

1. - INTRODUZIONE. -

1. a. -

Crediamo che ci si possa trovare, tra fisici, genericamente d'accordo sul livello inadeguato della nostra comprensione dei fenomeni riguardanti le particelle elementari; per di più, da qualche anno a questa parte, si va diffondendo tra i fisici attivi in questo campo uno stato di animo di insoddisfazione per vari aspetti metodologici della ricerca attuale.

Da parte di alcuni è diventato addirittura di moda scherzare su tali aspetti e condire i rapporti generali alle conferenze internazionali con battute di spirito accompagnate o meno da vignette.

Nel senso di un impegno critico più serio si sono invece mossi, negli ultimi anni, a nostro avviso, alcuni fisici italiani, che hanno tentato di suscitare un dibattito su questi problemi all'interno della SIF.

Selleri⁽¹⁾ ha analizzato l'importanza delle "mode", per lo meno per quanto riguarda la "teoria" delle interazioni forti, e la capacità di alcuni grossi centri mondiali di determinarle.

Fabri⁽²⁾ ha posto l'accento sui dati sociologici riguardanti la popolazione dei fisici, e sui fattori esterni, sul piano economico e sul piano del costume, che influiscono sulle strutture organizzative e sulle metodologie della ricerca.

Guidoni⁽³⁾ ha sottolineato come si persegua un approccio "random" ai problemi, fatto re, questo, a suo parere, di rapido progresso in una fase iniziale, ma in seguito negativo dallo stesso punto di vista dell'ottimizzazione dell'informazione. Questo fatto, d'altronde, non gli pare avvenire a caso: il parametro essenziale che determina le caratteristiche della ricerca ha le dimensioni $[t^{-1}]$; la competizione è cioè il principio guida, secondo la tesi, non verificata, che l'efficienza e la competitività portino necessariamente al progresso scientifico e alla selezione dei migliori; gli esperimenti sono programmati in funzione delle scadenze dei congressi e l'approfondimento dell'analisi o la ricerca delle cause delle discordanze vengono troncati quando si è raggiunto (o comunque cessa) lo scopo di arrivare primi; non si compiono, salvo rare eccezioni, esperimenti lunghi; esistono esperimenti "sicuri", che cioè garantiscono comunque risultati di prestigio, anche se non contribuiscono con ciò a portare chiarezza o ad aggiungere informazioni valide nel campo di cui si occupano (si veda, ad esempio, quella che nelle "Tabelle di Rosenfeld" è chiamata, nemmeno troppo eufemisticamente, "Confusion in the R region").

Facciamo certamente un torto agli autori citati riportando così schematicamente i contributi da loro portati; la citazione ha soltanto il senso di richiamare il tipo di tematica che è stata affrontata; rimandiamo alla lettura dei documenti in questione per un apprezzamento complessivo delle loro analisi.

Un minimo comune denominatore delle analisi citate ci pare essere costituito dalla sensazione che nella ricerca attuale ciò che lascia insoddisfatti o comunque perplessi non sia soltanto lo stadio arretrato a cui si trova la nostra conoscenza dei processi che studiamo ma anche il fatto che il processo stesso di acquisizione della conoscenza scientifica, il modo in cui si produ-

(x) - Istituto di Fisica Teorica dell'Università - Firenze

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sottosezione di Firenze

(o) - Istituto di Fisica dell'Università - Modena

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Bologna

ce scienza, ha oggi acquistato caratteristiche nettamente diverse da quelle di un passato anche recente, cui siamo legati tuttora per formazione mentale complessiva.

Ad una riflessione in tal senso stimolano fatti macroscopici quali l'aumento che si è avuto, soprattutto dopo la seconda guerra mondiale (e forse in connessione col fatto che proprio la scienza ha saputo fornire, in quella occasione, un'arma decisiva), nel numero dei ricercatori, nei fondi spesi nella ricerca, i mutamenti nella organizzazione della ricerca (centri di ricerca, ricerca tecnologica, collaborazioni internazionali, ecc.).

Accanto a questi vi sono altri fatti più specifici, che, se non sono nuovi, esasperano però caratteristiche che erano molto sfumate nel passato: l'enorme aumento di carta stampata, la corsa alle pubblicazioni, la competitività che degenera non di rado in vera e propria aggressività.

Il tipo di salto qualitativo avvenuti nell'ambito della fisica subnucleare, sia teorica che sperimentale, è stato ben documentato da Jackson in occasione di un recente congresso⁽⁴⁾:

"As a final comment on the state of our art and its development over the past 50 or 60 years I offer Figs. 1 and 2. Figure 1 is evidence for progress in theory. The top equation, taken from a paper in *Phil. Mag.* of 1910, is perhaps the first scattering cross section formula in particle physics; it is certainly the most famous. Since 1910 theory has progressed - the second cross section formula, typical of many in *Phys. Rev.* in 1968, shows that equations have become longer, more numerous, and, I fear, less famous. The experimental side, too, has changed drastically over the years. Progress of sorts is indicated by the acknowledgements shown in Fig. 2. In 1919 good physics was done with simple apparatus and an able assistant to help with the tedious work of observing a zinc sulphide screen, but the completion of almost any experiment in high energy physics fifty years later requires a galaxy of Professors, Ph. D. physicists, engineers, and technicians to assist, support and encourage an international team of researchers assembled from the far corners of the earth, as is attested by daggers, asterisks, and other symbols on almost every name.

What will the next 50 years bring? "

Quanto allo spirito che anima questo caratteristico "modo di produzione", preferiamo riferirci sinteticamente all'editoriale di una nuova rivista (Fig. 3) che ci sembra emblematico da questo punto di vista: velocità di pubblicazione, brevità degli articoli, pubblicazione di risultati non definitivi (il che comporta più pubblicazioni, più brevi e quindi più difficilmente leggibili; e un maggior numero di risultati sbagliati, di cui molti non riceveranno forse mai una verifica).

Lo studio delle circostanze generali determinanti questa situazione coinvolge evidentemente tutte le connessioni economiche e sociali della scienza.

Mentre siamo convinti che solo un'analisi globale a questo livello possa realmente chiarire i termini complessivi della questione, vorremmo però qui avanzare l'ipotesi che molta strada si possa compiere in questa direzione partendo dall'analisi del dato specifico, delle caratteristiche della produzione scientifica stessa, del complesso della fenomenologia, delle teorie e dei modelli esistenti⁽⁵⁾, delle loro interrelazioni e della metodologia generale che porta all'acquisizione di tali elementi.

Proponiamo, cioè, un atteggiamento scientifico anche nei confronti di tali problemi, che non solo eviti il pericolo di giungere a conclusioni non basate su un'attenta valutazione dei fatti, ma configuri un tipo di lavoro in cui il fisico possa operare ancora "da fisico" utilizzando le proprie competenze specifiche e sfuggendo al dilemma tra il rifiuto del proprio ruolo (o addirittura della scienza) e la separazione artificiosa tra l'attività di ricerca, da continuare in modo tradizionale, e la riflessione critica su tale attività.

1. b. -

E' appunto credendo alla praticabilità, per lo meno su tempi brevi, di una tale scelta, che abbiamo iniziato un riesame critico della nostra stessa attività di ricerca⁽⁶⁾, intendendo così fornire una esemplificazione del tipo di impegno che progettiamo.

Intendiamo, con questa nota, proseguire su questa strada, approfondendo le considerazioni di cui abbiamo fatto oggetto una lettera al Presidente della SIF⁽⁷⁾.

Nell'analisi delle caratteristiche e dei metodi della fisica sperimentale (§ 2) e teorica (§ 3) delle alte energie, cercheremo, per quanto è nelle nostre capacità, di pervenire ad un ulteriore grado di approssimazione. Punto di riferimento costante di questa analisi sarà il tentativo

$$y = \frac{Qdm}{2\pi r^3 \sin \phi \cdot d\phi} = \frac{ntb^2 \cdot Q \cdot \cos \phi^2}{16r^3} \cdot \phi/2 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{4\pi(s-m^2)^2} & \left[\frac{|\sin \theta_i|^2 (1 + \cos 2\varphi_\gamma) |t - (Y+m)^2| |t|^{-1} |\gamma_1|^K |(s/s_0)^{2(\alpha_K-1)} \alpha_K^2}{|\Gamma(\alpha_K+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K|^2} + (1 - \cos 2\varphi_\gamma) \right. \\ & \times |\sin \theta_i|^2 (t - m_K^2)^2 |t - (m - Y)^2| \left(\frac{\alpha_K^2 |t|^{-1} |\gamma_1|^2 |(s/s_0)^{2(\alpha_K-1)} \alpha_K^2}{|\Gamma(\alpha_K+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K|^2} + \frac{\alpha_Y^2 |t|^{-1} |\gamma_1|^2 |(s/s_0)^{2(\alpha_Y-1)} \alpha_Y^2}{|\Gamma(\alpha_Y+1) \cos \frac{1}{2} \pi \alpha_Y|^2} \right. \\ & + \frac{\alpha_T^2 |t|^{-1} |\gamma_1|^2 |(s/s_0)^{2(\alpha_T-1)} \alpha_T^2}{|\Gamma(\alpha_T+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_T|^2} + \frac{2\alpha_K \alpha_Y \sin \frac{1}{2} \pi (\alpha_Y - \alpha_K) \gamma_1^2 \gamma_1^2 |(s/s_0)^{\alpha_K + \alpha_Y - 2}}{|\Gamma(\alpha_K+1) \Gamma(\alpha_Y+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K \cos \frac{1}{2} \pi \alpha_Y|} \\ & + \frac{2\alpha_K \alpha_T \gamma_1^2 \gamma_1^2 \cos \frac{1}{2} \pi (\alpha_T - \alpha_K) (s/s_0)^{\alpha_K + \alpha_T - 2}}{|\Gamma(\alpha_K+1) \Gamma(\alpha_T+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_T|} \left. \right) + (1 + \cos^2 \theta_i - \cos 2\varphi_\gamma \sin^2 \theta_i) \\ & \times \frac{\alpha_K^4 |t - (m+Y)^2| |t|^{-2} |\gamma_1|^K |(s/s_0)^{2(\alpha_K-1)} \alpha_K^2}{|\Gamma(\alpha_K+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K|^2} + (1 + \cos^2 \theta_i + \cos 2\varphi_\gamma \sin^2 \theta_i) (t - m_K^2)^2 \\ & \times |t - (m - Y)^2|^2 \left(\frac{|\gamma_1|^2 |(s/s_0)^{2(\alpha_K-1)} \alpha_K^2 |t|^{-2}}{|\Gamma(\alpha_K+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K|^2} + \frac{\alpha_Y^2 |\gamma_1|^2 |(s/s_0)^{2(\alpha_Y-1)} \alpha_Y^2}{|\Gamma(\alpha_Y+1) \cos \frac{1}{2} \pi \alpha_Y|^2} + \frac{\alpha_T^2 |\gamma_1|^2 |(s/s_0)^{2(\alpha_T-1)} \alpha_T^2}{|\Gamma(\alpha_T+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_T|^2} + 2 \sin \frac{1}{2} \pi \right. \\ & \times (\alpha_Y - \alpha_K) |t|^{-1} \frac{\gamma_1^2 \gamma_1^2 |(s/s_0)^{\alpha_K + \alpha_Y - 2}}{|\Gamma(\alpha_K+1) \Gamma(\alpha_Y+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K \cos \frac{1}{2} \pi \alpha_Y|} + \frac{2 \cos \frac{1}{2} \pi (\alpha_T - \alpha_K) \gamma_1^2 \gamma_1^2 |(s/s_0)^{\alpha_K + \alpha_T - 2}}{|\Gamma(\alpha_K+1) \Gamma(\alpha_T+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K \cos \frac{1}{2} \pi \alpha_T|} \left. \right) + 4 \cos \theta_i (t - m_K^2) \\ & \times [(t - (m+Y)^2) |t - (m - Y)^2|]^{1/2} \gamma_1^2 |(s/s_0)^{\alpha_K-1} \alpha_K^2 \left(\frac{\Gamma^2 \gamma_1^2 \alpha_K \cos \frac{1}{2} \pi (\alpha_K - \alpha_K) (s/s_0)^{\alpha_K-1}}{|\sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K \Gamma(\alpha_K+1) \Gamma(\alpha_K+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K|} \right. \\ & \left. + \frac{\Gamma^{-1} \sin \frac{1}{2} \pi (\alpha_Y - \alpha_K) \alpha_Y^2 \gamma_1^2 |(s/s_0)^{\alpha_Y-1}}{|\Gamma(\alpha_K+1) \Gamma(\alpha_Y+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K \cos \frac{1}{2} \pi \alpha_Y|} + \frac{\Gamma^{-1} \alpha_T \gamma_1^2 \cos \frac{1}{2} \pi (\alpha_K - \alpha_T) (s/s_0)^{\alpha_T-1}}{|\Gamma(\alpha_T+1) \Gamma(\alpha_K+1) \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_K \sin \frac{1}{2} \pi \alpha_T|} \right) \left. \right]. \quad (75) \end{aligned}$$

FIG. 1 - Progresso nella teoria 1910 → 1968. Formule per le sezioni di urto allora e adesso (da J. D. Jackson, Proc. Int. Conf. on Elementary Particles, Lund, 1969, p. 105).

"I desire to express my thanks to Mr. William Kay for his invaluable assistance in counting scintillations."

(Professor Sir Ernest Rutherford, April 1919)

"We would like to thank Professor J. Steinberger who participated in the design and in the earlier part of this experiment, and Professors W. Paul, P. Preiswerk and H. Faissner for support and encouragement. We acknowledge the assistance of Mr. J. Daub and Dr. P. Zanella, who made the measurement of the events on Luciole possible. Dr. L. Caneschi has helped in the running of the experiment. The detection apparatus was built with the help of Messrs. F. Blythe, K. Bussmann, J. M. Fillot, and G. Muratori. Finally, we would like to thank Dr. G. Petrucci, the CPS staff, and especially Dr. L. Hoffmann for the setting up and operation of the slow ejected proton beam."

(A. Bohm, * P. Darriulat, C. Grosso, ** V. Kaftanov, ***

K. Kleinknecht, H. L. Lynch, † C. Rubbia, H. Ticho, †† and K. Tittel, * 30 May 1968)

FIG. 2 - Progresso nell'esperimento 1919 → 1968. Ringraziamenti allora e adesso (da J. C. Jackson, Proc. Int. Conf. on Elementary Particles, Lund, 1969, p. 105).

The most important function of a research periodical is to bring the original findings of its contributors to its readers with a minimum of delay. This is our primary goal. The system we are setting up here, we believe, will bring to an almost irreducible minimum the time taken in the mechanical aspects of producing this periodical. The first two or three issues will undoubtedly show our inexperience but we do hope to improve as we learn. We believe that the figure of merit of a research periodical is a far more rapidly decreasing function of time required between the submission and the publication of an article compared to the number of errors in the finished copy. We put a greater emphasis, therefore, on the speed of publication. With experience, we do hope to bring the residual errors in the finished copy to a very acceptable minimum.

Refereeing of research articles is very important. The time, τ , taken in refereeing an article of N pages is a rapidly increasing function of N ($\tau \approx (N)^\xi$, where $\xi \approx 2$). Consequently, we strongly encourage our contributors to keep their articles as short as possible. Although we do not at the present want to put rigid limits on the length of articles submitted, we do envisage a delay in getting long articles refereed.

We will endeavor to bring to our readers the current results of research in progress. This is one of the reasons we intend to include conference proceedings from time to time. We encourage our contributors to submit for publication the results of research in progress and fairly well along but not necessarily completely finished. In this respect, this periodical attempts to bridge the gap between the regular periodicals and the letter journals.

The success of this venture will have to depend on the encouragement and response forthcoming from the physics community. We believe we are fulfilling a need and we hope that you, the physicist, will help and encourage us by publishing the results of your research in this journal and by subscribing to it. We are attempting to bring it to you at a modest cost.

(Managing Editor)

FIG. 3 - Editoriale della rivista "Particles and Nuclei" (1970).

di delineare le opzioni metodologiche tipiche della ricerca attuale in fisica delle alte energie, la cui enucleazione riteniamo necessaria per cogliere a fondo il suo modo di procedere tipico, anche attraverso il confronto critico delle reali caratteristiche di questa ricerca con quello che si intende comunemente con "metodo" della scienza, con i dettami di moderne correnti epistemologiche circa i criteri di verificabilità, falsificabilità, ecc., e circa i rapporti tra esperimento e teoria.

La divisione tracciata tra ricerca sperimentale e teorica è puramente di comodo e, ne siamo convinti, risulterà abbastanza artificiosa. La natura del rapporto teoria-esperimento, a cui bisogna necessariamente giungere per superare questa secca, è analizzata nel §4, dove tentiamo di individuare con quali modalità questo legame si stabilisca oggi nei suoi termini concreti e reali.

Il livello di analisi raggiunto a questo stadio richiede allora che si affrontino due ordini di problemi: non solo la esistenza di modalità peculiari del modo attuale di produrre scienza contrasta con la visione tradizionale di una scienza immutabile nel suo metodo; ma poi l'impossibilità di ricondurre queste modalità a pure esigenze di metodo incrina anche l'altra visione tradizionale di una scienza che si sviluppa solo sulla base dei problemi che essa pone al suo interno.

I due scogli possono essere superati nell'ambito di una concezione di una scienza che, come ogni altra attività umana, nasca nella storia e che risenta nella metodologia e nelle linee di sviluppo del contesto storico complessivo.

Nel §5 si tenta appunto un allargamento dell'analisi con questo taglio complessivo, cercando di cogliere, anche attraverso un tentativo di recupero e di superamento del lavoro di storiografia e metodologia scientifica di alcuni autori che si sono mossi nella direzione ora indicata, le radici della visione tradizionale della scienza nei condizionamenti materiali e ideologici che le originano.

1. c. -

Ci pare doveroso concludere questa premessa con una ulteriore precisazione di cosa questo lavoro vuole essere (e di cosa non vuole essere).

In primo luogo, esso non può e non vuole essere una critica al modo di operare di particolari ricercatori o gruppi di ricercatori; noi ci riteniamo in pieno nella stessa barca e non c'è nessun tipo di pulpito dal quale ci sentiremmo di fare delle prediche.

Deve essere ben chiaro quindi che noi intendiamo semplicemente portare un contributo all'analisi di una situazione che riguarda da vicino anche noi.

A questo scopo, saremo spesso, anzi quasi sempre, costretti ad uscire dal terreno di nostra stretta competenza, ammesso che ce ne sia uno, per dissertare di questioni epistemologiche o storiografiche.

Ci auguriamo che questo non ci porti le reazioni indignate di addetti ai lavori che vedono la loro disciplina maltrattata o fraintesa. Se ci avventuriamo su questo terreno è perché pensiamo che il primo contributo alla critica di una disciplina debba venire da chi a questa disciplina è abbastanza vicino. Speriamo quindi che un eventuale lettore esperto di questioni che abbiamo affrontato con non sufficiente rigore non voglia scoraggiarci in modo definitivo e ci dia una mano a diventare meno superficiali.

Per quanto detto dovrebbe esser chiaro che la scelta di incentrare la nostra critica sulla ricerca nel campo delle alte energie è dovuta soltanto al fatto che, bene o male, ci occupiamo di tale campo; non ci interessa l'eventuale convergenza con i detrattori, sovente interessati, come dice Fabri⁽²⁾, di questo settore della ricerca.

E' in questo ordine di idee che abbiamo fatto la scelta della nota interna INFN come canale di comunicazione.

Ci interessa, caso mai, ottenere che un riesame critico su questa (o altre) linee venga intrapreso anche dai ricercatori attivi in altri campi.

In ogni caso, comunque, il nostro non è un attacco alla scienza ed alla ricerca, ma vuole essere un contributo ad un riesame critico di questa ricerca.

E tuttavia va affermato a chiare lettere che il senso della nostra proposta non è quello di invitare ad una ricerca "più seria". Questo innanzitutto perché, come dovrebbe già risultare chiaro da alcune considerazioni adombrate, noi rifiutiamo un criterio di "serietà" come pura efficienza interna della ricerca e vogliamo piuttosto rapportarlo all'uso dei risultati della scienza. Se non si fa chiarezza su questo punto, da un lato il richiamarsi alla "serietà" si ridurrebbe ad un moralistico appellarsi alle virtù del buon tempo antico, laddove il problema è quello di individuare le cause reali; d'altro lato, poi, non crediamo, in generale, alla possibilità di risolvere problemi che sono di natura politica con generici appelli alla buona volontà.

Il nostro vuol essere un invito alla discussione; speriamo che in questo senso venga accolto.

2. - METODI DI ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI. -

2. a. - Errori e cifre significative. -

Vorremmo fare una prima osservazione di carattere generale, che rispecchia bene, a nostro avviso, il modo di procedere, lo spirito, dell'odierna ricerca. E' significativa la noncuranza dei fisici nei confronti del significato degli errori. Si può dire che ricordiamo o usiamo correttamente il significato della "standard deviation" ($1\sigma \rightarrow 68\%$, $2\sigma \rightarrow 96\%$) fin tanto che si serve a non essere bocciati negli esami del corso di laurea. Fermi, ci è stato detto, soleva dire che la fisica comincia a tre standard deviations. Oggi spessissimo si vogliono discriminare curve diverse su un insieme di dati con errori fino al 20-30% quando una linea retta sarebbe non di rado l'interpolazione migliore; oppure da tali dati si ricavano rapporti di decadimento con vari zeri dopo la virgola e due o tre "cifre significative", usando assunzioni o metodi che comportano di per sé gradi di incertezza ancora maggiori di quelli insiti nei dati iniziali!

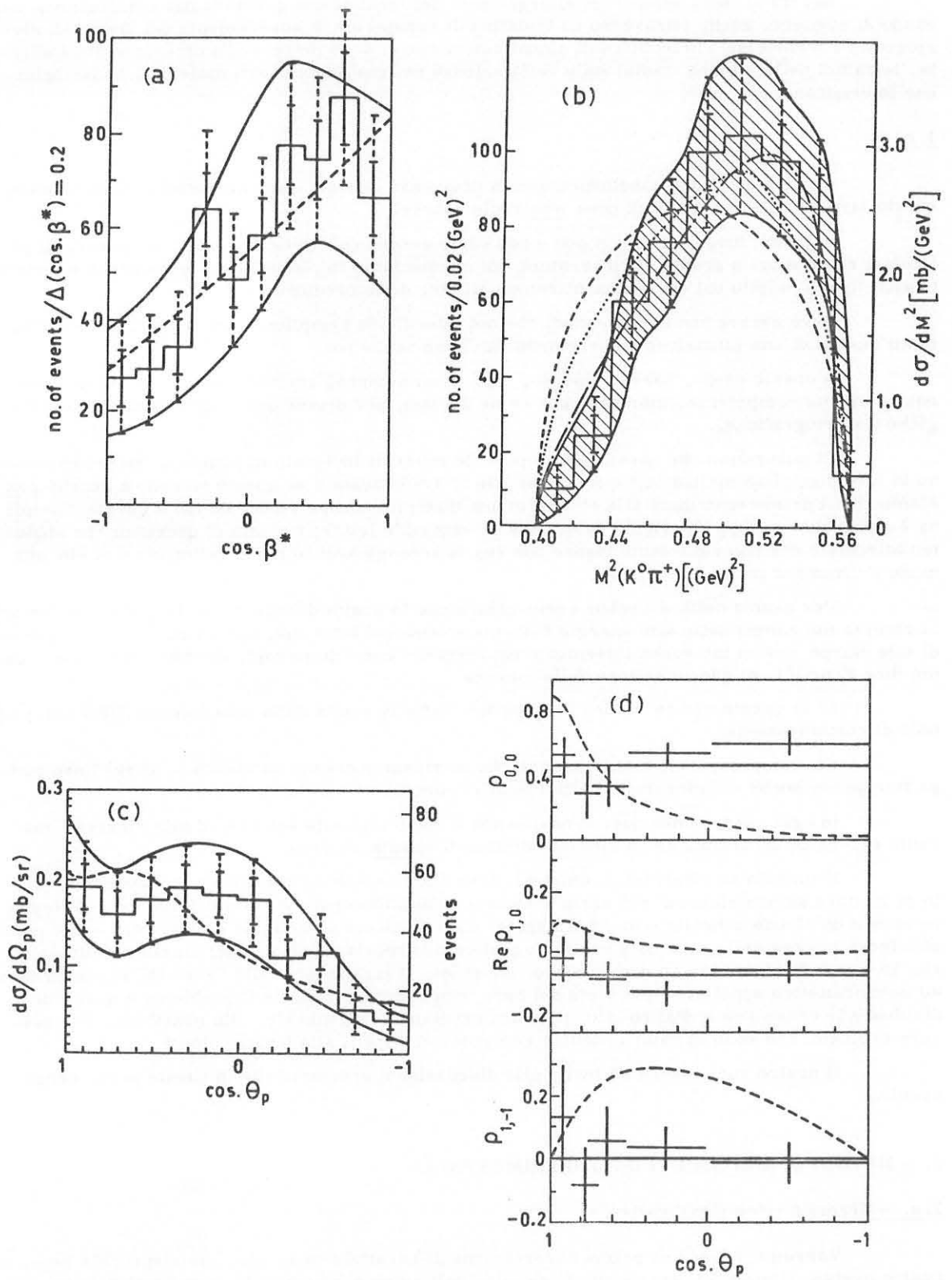


FIG. 4 - Risultati sperimentali e fits teorici riportando due deviazioni standard.

(a), (b) da: A. Baracca, S. Bergia, Nuovo Cimento 64A, 305 (1969);
 (c), (d) da: A. Baracca, Nuovo Cimento 60A, 633 (1969).

Anche se questo punto non necessita di chiarimenti, diamo qualche esempio autocritico in Fig. 4 (vi sarebbero certo esempi più clamorosi di questi; ciò per puro caso, e non perché noi fossimo più attenti e vigili!).

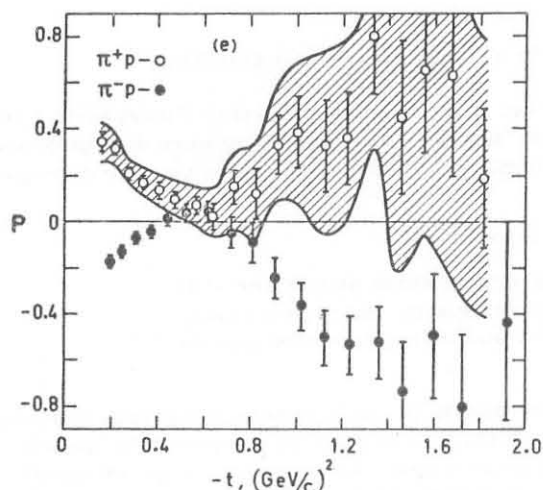


FIG. 4(e) - La polarizzazione nell'urto elastico π^+p a 5.15 GeV/c entro due deviazioni (modificato, da Esterling et al., Phys. Rev. Letters 21, 1410 (1968)).

I non sensi nel numero di cifre significative e nella valutazione degli errori trovano esemplificazione esemplare nelle tabelle di Rosenfeld: la Fig. 5 mostra eloquentemente che ha del miracoloso dedurre dai dati esistenti una larghezza per la ω di (11.9 ± 1.3) MeV.

A commento complessivo di questa situazione si potrebbe riportare la frase di quel collega che ci diceva che oggi con un solo evento si ha una sezione d'urto, con due un rapporto di decadimento e con tre una distribuzione angolare.

Lascia per lo meno perplessi l'uso delle cifre significative, quando si vedono dei risultati come 0.0067 ± 0.0012 oppure 0.0066 ± 0.0017 (Rosenfeld, tabelle dei mesoni), anche in vista del fatto che nelle stesse tavole di Rosenfeld⁽⁸⁾ si parla di:

"impossibly small errors reported by some experiments".

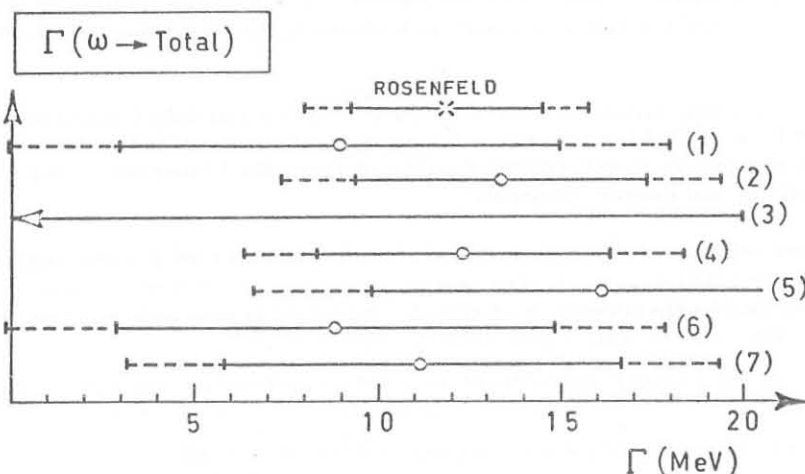


FIG. 5 - La situazione sperimentale per la larghezza della ω , fino all'agosto 1970 da cui è tratto il "valor medio" delle tabelle "Review of Particle Properties", riportato in figura come Rosenfeld (Phys. Letters 33B, 1970):

- 1) - $\Gamma = (9.0 \pm 3.0)$ MeV; R. Armenteros et al., Siena International Conference on Elementary Particles 1, 296 (1963);
- 2) - $\Gamma = (13.4 \pm 2.0)$ MeV; D. C. Miller, Tesi, Columbia University (1965);
- 3) - 20 MeV; F. E. James et al., Phys. Rev. 142, 896 (1966);
- 4) - $\Gamma = (12.3 \pm 2.0)$ MeV; N. Barash et al., Phys. Rev. 156, 1399 (1967);
- 5) - $\Gamma = (8.8 \pm 3.0)$ MeV; J. E. Augustin et al., Phys. Letters 28B, 513 (1969);
- 6) - $\Gamma = (8.8 \pm 3.0)$ MeV; M. Abramovich et al., Nuclear Phys. B20, 209 (1970);
- 7) - $\Gamma = (11.2 \pm 2.7)$ MeV; H. W. Atherton et al., Nuclear Phys. B18, 221 (1970).

Le sbarrette a tratto continuo indicano le due deviazioni standard, il tratteggiato la terza deviazione standard. Il tratto continuo con una freccia verso sinistra indica un semplice limite superiore.

Ferro-Luzzi è ancora più esplicito⁽⁹⁾:

"even when the errors are explicitly indicated, these should be taken with caution, because they are almost invariably obtained or defined differently from analysis to analysis. In particular it is worth stressing that the specific parametrizations employed in the various analyses affect the value of the parameters much more than the errors

on the data used; in most cases the error declared does not (or cannot) take into account the effect of the parametrization".

(Ritorniamo nel seguito su questo punto).

2. b. - Considerazioni generali sulla sperimentazione e sui criteri che la guidano. -

Se poi si riesce ad ottenere misure precise, allora subentra sovente l'incapacità a tener conto teoricamente di tutti gli effetti; è il caso di πN dove si eseguono misure di grande precisione, mentre non si è in grado di calcolare esattamente le correzioni radiative, che divengono dello stesso ordine di grandezza degli errori.

Su questo stato di cose commentava Van Hove⁽¹⁰⁾:

"Speaking generally, one can only regret that some people are still content to analyze data at a level of superficiality which practically guarantees in advance that no really new and instructive conclusions will emerge".

Tutto ciò non può apparire casuale in un contensto in cui in genere più gruppi sono impegnati su di un esperimento; ne segue una diffusa tendenza ad entrare in competizione quando non ci si sia preventivamente consociati. Da ciò derivano strettezza dei tempi, e quindi insufficienti statistiche e quindi tendenza a sopravvalutare la significatività dei propri risultati. I tempi sono poi artificiosamente costretti da molte altre scadenze: contratti di ricerca che scadono, opportunità di giungere con qualche cosa in mano al prossimo congresso, ecc.

Il tutto in un clima di rovente concorrenza, dove la sola cosa che importa è arrivare primi, avere il risultato per il Congresso; anche se la normalizzazione dei dati non è corretta o il risultato è in disaccordo con altri, la cosa diviene assolutamente irrilevante dopo la comunicazione e passa così com'è nelle riviste (vedi, per esempio, la situazione per il $\bar{K}N$ su cui torneremo).

Altre volte poi, come osservava Guidoni⁽³⁾, l'esperimento è già svuotato di senso in partenza. Viene fatto al CERN solo perchè un esperimento analogo si fa a Brookhaven, o viceversa. Nessuno si lagna se l'esperimento fallisce in entrambi i laboratori, poichè la sola preoccupazione è quella di non essere "superati".

Vi sono infine gli "esperimenti sicuri", esperimenti cioè a volte raffinatissimi e che perciò garantiscono pubblicazioni di prestigio su situazioni sperimentali talmente confuse da assicurare che qualunque esperimento tradizionale, anche se si presenta per ragioni politiche come "decisivo", non farà che aggiungere caos al caos.

Non solo poi i singoli esperimenti non sono significativi, ma oltre tutto un complesso di circostanze rende difficile anche la loro correlazione e la loro "somma".

Un esempio che ci sembra significativo⁽¹¹⁾: nell'urto $\bar{K}N$

"there are too many small experiments";

negli esperimenti con camere a bolle le statistiche sono di solito troppo piccole, mentre per gli esperimenti con contatori:

"It is surprising that there have been so many different experiments measuring the k^+p elastic scattering with so much contradiction between their normalization. . ."

In questa situazione non sorprende che sia necessario un gruppo, quale il Particle Data Group, col compito, non solo di tenere delle tabelle aggiornate e di facile lettura, ma anche di estrarre dalla marea di esperimenti più o meno contraddittori qualcosa che faccia senso e che si possa usare per andare avanti. Ma non sorprende poi neppure il fatto che questo gruppo trovi estremamente arduo il suo compito se si considera quanto oggi sia praticamente impossibile estrarre dati senza delle ipotesi.

2. c. - Reazioni elastiche. -

Si converrà che uno dei problemi fondamentali, forse il problema fondamentale, della ricerca in fisica delle particelle oggi sia quello della determinazione dei parametri delle risonanze. Ebbene, siamo rimasti colpiti dalle ambiguità che sussistono in questo campo. In particolare la connessione tra cerchi antiorari nel piano di Argand e risonanze non sembra così univoca come viene ordinariamente presentata: nel senso che un tale cerchio non dà necessariamente un picco nelle sezioni d'urto, cioè un polo complesso⁽¹²⁾. Osserva a questo proposito il Particle Data Group⁽⁸⁾:

"Of course, even if Argand plots are available, it may be still a matter of opinion as to what behaviour constitutes a resonance. Such an example is the k^+p peak (near $k\Delta$ threshold) called Z_1 (1900)...there is disagreement between various analyses as to the speed of the amplitude, i.e., as to whether it has a Breit-Wigner type of behaviour".

E aggiunge:

"We are aware that this approximate Breit-Wigner behaviour could be accidental, but can only hope that such an accident is improbable".

Queste tabelle sono una vera miniera; invitiamo il lettore a leggere attentamente le lunghe considerazioni sulle "Data cards" all'inizio della sezione "Baryons" e poi sulla $\Delta(1236)$ ⁽⁸⁾ in cui si ripetono, con esempi sorprendenti, le considerazioni sulla forte dipendenza dei parametri dal modello. Dobbiamo limitarci alle frasi più significative:

"... different authors using the same phase shifts often estimate different values of M , Γ , and x ".

"The resonant parameters, of course, depend on the validity of the partial wave analyses".

"We are quite far from having reliable masses and widths...".

Particolarmente significativi, sotto questo punto di vista della dipendenza del dato sperimentale dal modello usato per estrarlo, sono due ordini di problemi. Il primo riguarda i fondi:

"It is not very clear what is meant by background. After it has been parametrized as an expansion in the incident momentum (or other similar parametrizations...) it may turn out to move fast enough across the Argand plot to represent a resonance. In this case the parameters obtained for the T_R part of the amplitude are very much dependent on the parametrization of T_B , and one might have to reparametrize the amplitude with an additional resonance. This is an extreme situation, but in general any nonconstant background is very critical to the determination of resonance parameters".

Vengono poi discussi i vari modelli. E' sorprendente riscontrare che esistono grossi problemi e discrepanze anche a proposito della "senior citizen of resonance", la $\Delta(1236)$, a proposito della quale ricompare il secondo problema che dicevamo, quello della dipendenza di Γ dalla massa (cfr. la discussione nella precedente nota⁽⁶⁾: § 7 e Appendice), che si intreccia inoltre con quello dei fondi. Rimandando alla ref. (8) per i dettagli, riportiamo le conclusioni:

"It is not clear to us at the moment if such a background is needed or if simply the Breit-Wigner form used is not adequate to fit the data, now that very precise experiments are available... The central problem we have raised is how seriously we should take the usual energy dependence of the width (other than $q^2 l+1$). In the fits that combine background and resonance, it should be noted that $q^3 \cot(\delta_B + \delta_R)$ passes through zero at precisely the same mass as the four parameter "polynomial" fit. Thus the inclusion of background assumes, in the context of these simple fits, that the parametrization of the widths in either the Layson or standard forms (cfr. ref. (6)) is correct... We conclude that the mass and width of $\Delta(1236)$ are in a state of flux".

Si può aggiungere un'altra osservazione. E' noto che in corrispondenza di molte delle risonanze che vengono ordinariamente riportate non si trovano picchi (v. Fig. 6). Tipico è il caso della $N^*(1470)$; si osservi anche che, benché questa risonanza sia fortemente inelastica e decada per il 40% $N\pi\pi$, l'analisi in fase delle reazioni di produzioni non dà picchi neppure nelle onde di produzione (cioè nelle sezioni d'urto di produzione in onde parziali), Fig. 7. Forse non è senza connessione l'osservazione contenuta nelle tabelle di Rosenfeld⁽⁸⁾:

"It is not clear that the bump seen in production experiments at low invariant mass corresponds to the P_{11} resonant state...".

Naturalmente siamo i primi a riconoscere che vi possono essere innumerevoli effetti o meccanismi che "eliminano" picchi, tuttavia la comprensione di questi fenomeni ci sembra questione tutt'altro che secondaria o priva di interesse!

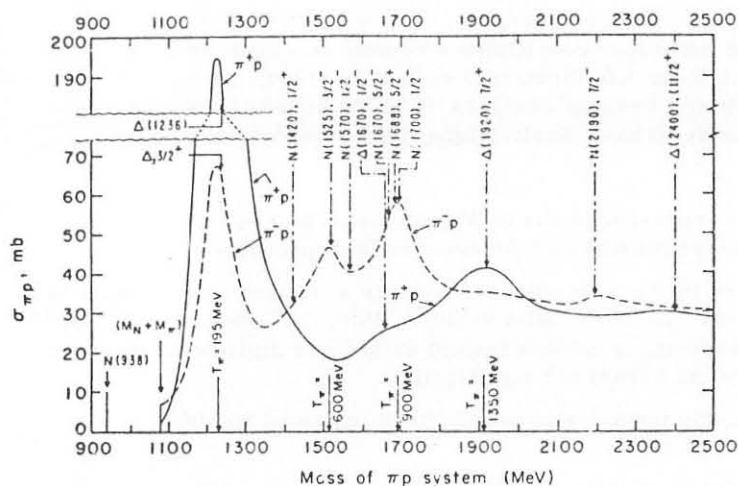


FIG. 6 - Sezioni d'urto totali $\pi^+ p$ e indicazione delle risonanze barioniche note (da A. Barbaro-Gal'tieri in "Advances in Particle Physics", Vol. 2, edited by R. L. Cool and R. E. Marshak, Wiley and Sons, 1968).

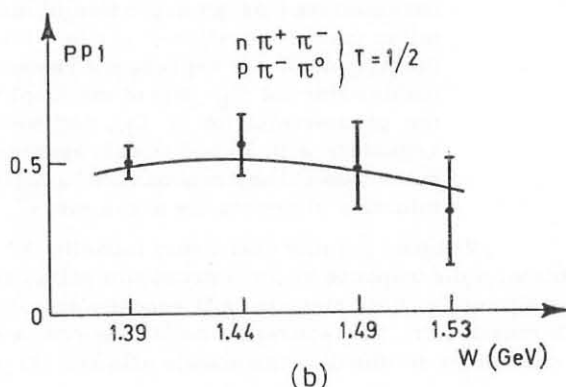
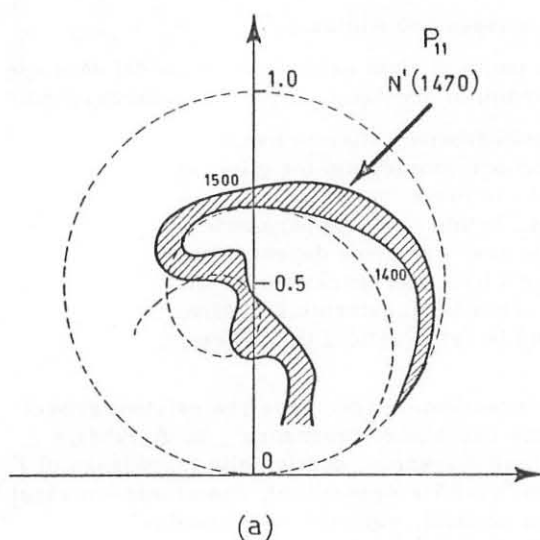


FIG. 7(a) - Indicazione complessiva per η e δ (zona ombreggiata) da Bareyre, Leclay, Tesi, 1968, che tiene conto opportunamente dei risultati delle analisi di:
 1) - C. Lovelace, Proc. Heidelberg Int. Conf. on Elementary Particles (1967);
 2) - P. Bareyre, C. Bricman, A. V. Stirling, G. Villet, Phys. Letters 18, 342 (1965);
 3) - C. H. Johnson, Tesi, UCRL 17683 (1967).

L'analisi del CERN (Lovelace) si scosta dall'andamento complessivo e mostra anzi un'altra risonanza a 1750 MeV.

FIG. 7(b) - Modulo dell'ampiezza d'onda parziale PP1 dal fit simultaneo delle due reazioni; la curva è tracciata a mano (da M. De Beer et al., Nuclear Phys. B12, 599 (1969)).

2. d. - Reazioni di produzione. -

Non tutte le risonanze, naturalmente, si possono studiare in formazione; diventa quindi di capitale importanza il problema di estrarre in modo non ambiguo i dati delle risonanze dalle reazioni di produzione.

Ma, per questi processi, la situazione si complica ulteriormente per aspetti peculiari della dipendenza dal modello: termini di interferenza, fondi, ecc. E' abituale l'analisi di spettri di massa con una somma incoerente di un fondo costante (puro spazio delle fasi) e del modulo al quadrato di una Breit-Wigner (Fig. 8). Se trascurare le interferenze può essere giustificato per risonanze strette, che senso ha quando la loro larghezza è una parte considerevole dello intervallo di massa invariante disponibile? E' ben vero che, una volta separati gli eventi del picco, almeno negli esperimenti più seri si verifica la distribuzione angolare di decadimento; ma da un lato le statistiche non sono di solito eccessivamente alte, sicché non è facile accorgersi se si sono presi eventi spuri o eliminati eventi buoni, e d'altro lato anche le distribuzioni angolari vengono drasticamente modificate dalle interferenze. A ciò si è accennato nella nota precedente.

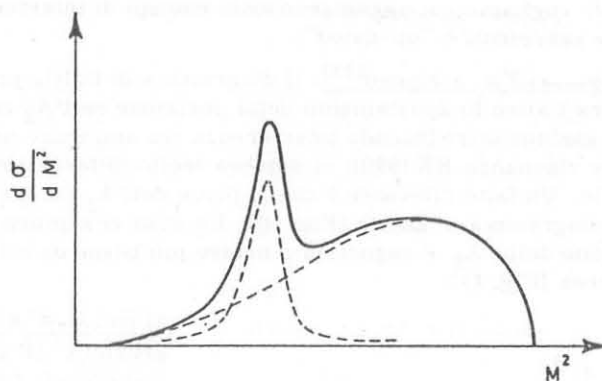


FIG. 8 - Somma ricorrente di un Breit-Wigner e di un fondo.

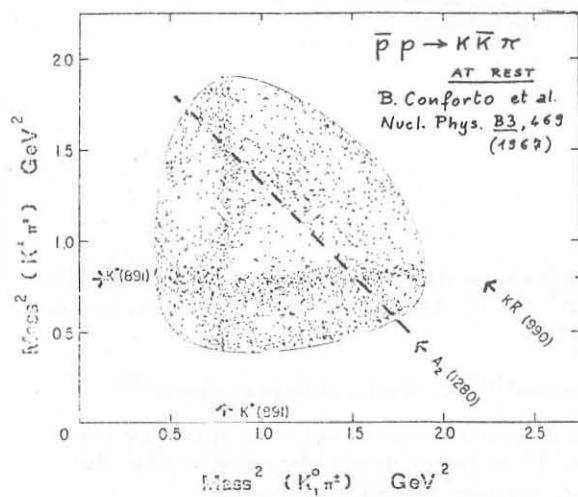


FIG. 9 - Diagramma di Dalitz per $\bar{p}p \rightarrow K_1^0 K^\pm \pi^\mp$ a riposo (da B. Conforto et al., Nuclear Phys. B3, 469 (1967)).

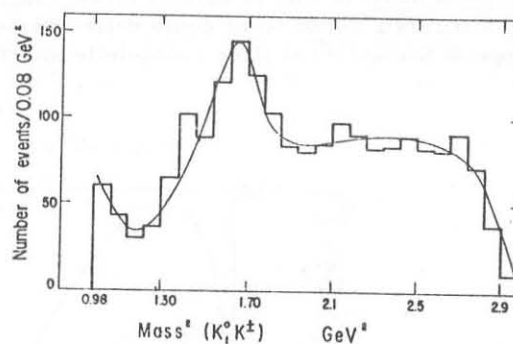


FIG. 10 - Spettro di massa $(K_1^0 K^\pm)$ per $\bar{p}p \rightarrow K_1^0 K^\pm \pi^\mp$. Sono chiaramente visibili gli accumuli di eventi a 990 MeV e a 1280 MeV (masse al quadrato di 0.98 e 1.64 GeV^2). (Da B. Conforto et al., Nuclear Phys. B3, 469 (1967)).

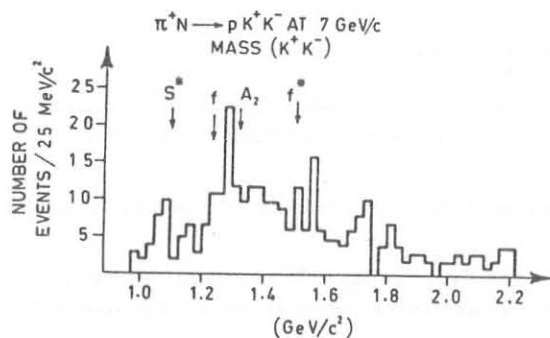
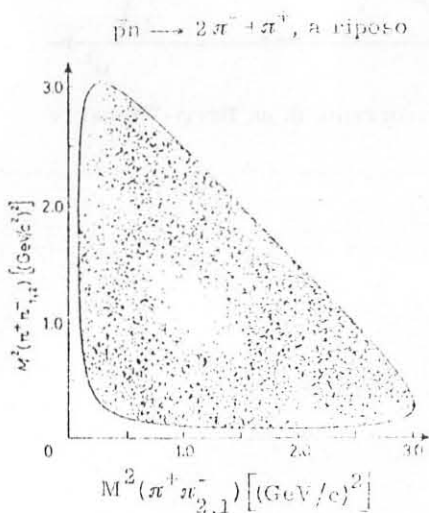


FIG. 11 - Posizione dell' A_2 secondo gli autori di ref. (14).

te⁽⁶⁾; vogliamo qui aggiungere altri esempi di interferenze, che non hanno nessuna pretesa di essere esaurienti o "up-dated":

1) $\bar{p}p \rightarrow K\bar{K}\pi$ a riposo⁽¹³⁾: il diagramma di Dalitz presenta una complessa struttura in cui spicca tra l'altro lo spostamento della posizione dell' A_2 (Fig. 9). Gli autori forniscono una possibile spiegazione introducendo interferenza tra ampiezze di spin isotopico $K\pi$, lunghezza di diffusione $K\pi$ e risonanza $K\bar{K}$ (990); ci sembra lecito tuttavia dubitare che questa sia la sola spiegazione possibile. Un fatto rilevante è che il picco dell' A_2 compare nella posizione "giusta" nelle proiezioni del diagramma di Dalitz (Fig. 10). La cosa ci sembra piuttosto sorprendente. Tanto più che la posizione della A_2 è segnalata a masse più basse da altri autori⁽¹⁴⁾ in una reazione assolutamente diversa (Fig. 11).



2) $\bar{p}n \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+$ a riposo⁽¹⁵⁾: il diagramma di Dalitz "a gruviera" (Fig. 12) non è spiegato pur tenendo conto di innumerevoli contributi: ρ , f^0 , σ , g , fondo coerente, interazione $\pi-\pi$ in onde S, P, D. Sappiamo che questa situazione è il cavallo di battaglia del modello di Veneziano: ma ci occupiamo per ora solo delle possibilità di spiegazione "model independent".

FIG. 12 - Diagramma di Dalitz simmetrizzato dello stato finale $\pi^- \pi^- \pi^+$ (da P. Anninos et al., Phys. Rev. Letters 20, 402 (1968)).

3) $K^+p \rightarrow KN\pi$: si ha evidenza di effetti di interferenza⁽¹⁶⁾ (v. anche nota precedente⁽⁶⁾).

4) $\pi^-p \rightarrow \pi\pi N$: la Fig. 13 mostra alcuni diagrammi di Dalitz⁽¹⁷⁾ che, nel caso specifico sono stati analizzati senza tener conto delle interferenze. E' un fatto, però, che nelle analisi del gruppo di Saclay⁽¹⁸⁾ si tiene conto delle interferenze, ed esse non sono mai nulle!

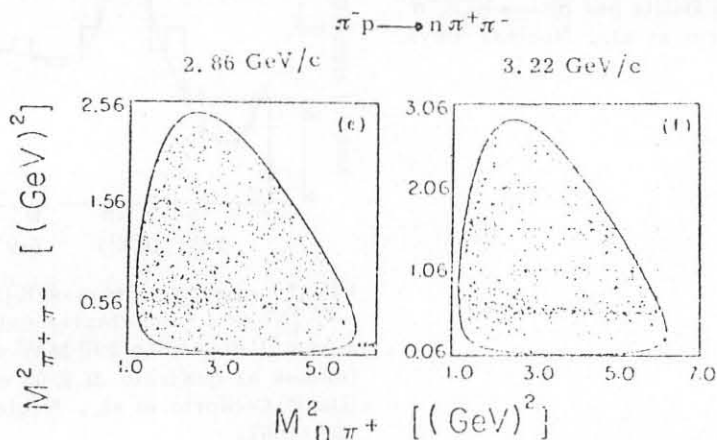


FIG. 13 - da L. D. Jacobs, Thesis, Berkeley (1966).

Sembra un fatto generale che, quando si introduce una interferenza fra una risonanza ed un altro contributo, questa non viene nulla (mentre il risultato che si ottiene può mutare in modo rilevante).

D'altra parte la trattazione delle interferenze, e quindi i risultati complessivi, sono sempre model-dependent (v. per esempio, ref. (6)).

A complicare ulteriormente il quadro, vi sono i già discussi⁽⁶⁾ problemi dell'effetto di risonanze lontane e dei fondi: quest'ultimo ci sembra particolarmente grave e lungi dall'averne una soluzione univoca.

L'esperienza di Maglic⁽¹⁹⁾, per esempio, presenta, dopo la sottrazione dei fondi, sezioni d'urto negative (Fig. 14). Secondo noi, ciò mette seriamente in dubbio la validità dei metodi che procedono alla separazione dei diversi contributi a quasi due corpi. Tuttavia rimangono sem

vi è in genere compatibilità tra i risultati dell'analisi in fasi e quelli dell'analisi dei dati di produzione; dato il numero e il tipo dei problemi concernenti l'estrazione di tali risultati dall'esperimento pensiamo allora che sarebbe il caso di capire come mai ciò possa accadere.

2. f. - Conclusioni. -

L'indicazione complessiva che intendiamo trarre da questo rapido, e certo inadeguato, excursus sulla situazione della ricerca sperimentale nel campo delle alte energie è la seguente: diversi esperimenti su di un certo aspetto vengono condotti in modo non coordinato; i singoli esperimenti sono in genere insufficienti a chiarire il problema affrontato; comunque la valutazione della significatività del singolo risultato è spesso ottimistica; questi aspetti sono grosso modo connessi con la concorrenza tra i diversi laboratori; i diversi esperimenti su di un certo soggetto sono spesso non correlabili per diverse cause; tra queste è determinante la dipendenza del "risultato" da assunzioni specifiche.

3. - LA COMPRESIONE TEORICA: "TEORIE" E "MODELLI"⁽⁵⁾. -

3. a. - Stato della teoria. -

Dopo trent'anni di ricerca nel campo delle particelle elementari, crediamo si possa concordare sul fatto che manchi una teoria che abbia una certa generalità e possa servire di base o di guida nella ricerca e nella comprensione dei fenomeni.

Lo stato dell'elettrodinamica quantistica, che pure ha fornito e fornisce dei numeri corretti, non è dei più soddisfacenti dal punto di vista formale, se G. Källén⁽²³⁾ poteva dare, quattro anni fa, sulle ricerche di Schwinger e Feynman questo giudizio:

"I must confess, my personal feeling is that the two techniques are not very different and also, I am afraid, not very different from what these two gentlemen were doing - in opposite ways - twenty years ago".

D'altra parte, per quanto riguarda le interazioni forti, è sufficiente sfogliare un qualunque trattato per convincersi che la teoria dei campi non è in grado a tutt'ora di predire un solo numero in modo autoconsistente. E questo a dispetto di quella "incredible proliferation of papers" che Roman⁽²⁴⁾ rileva nel suo recente trattato, a causa della quale affermava:

"My attempts to provide a "meaningful" and "useful" list of references to original papers failed miserably".

Quale sia la situazione attuale per quanto riguarda la fisica teorica delle interazioni forti è quindi efficacemente riassunto da Van Hove⁽²⁵⁾ nei termini seguenti:

"Non esiste per le interazioni forti una teoria nel vero senso della parola, cioè un formalismo matematico che porti a predizioni numeriche delle quantità sperimentali utilizzando procedimenti definiti e consistenti".

I tentativi, a dire la verità, non sono mancati e basterà ricordare la teoria di Chew e Low, le relazioni di dispersione, la rappresentazione di Mandelstam, i poli di Regge; tutte costruzioni, va subito detto a scanso di equivoci, che hanno richiesto, da parte dei loro autori, grande senso fisico e doti matematiche non comuni. Pure si converrà che la teoria non ne è scaturita; la sensazione complessiva che ne deriva invece è quella di piani successivi di una costruzione che vengono sovrapposti l'uno all'altro senza preoccuparsi delle fondamenta dello stabile e affermando ogni volta che ormai siamo vicini al tetto.

Pur tuttavia la situazione generale viene spesso dipinta a tinte piuttosto rosee. E' frequente il richiamo alla situazione della fisica atomica ai tempi di Bohr; noi cioè ora conosceremo l'equivalente della serie principale dell'atomo d'idrogeno e mancherebbe solo la conoscenza delle altre serie e magari della struttura fine. E tuttavia si sapeva molto meglio allora che cosa fosse una riga spettrale di quanto non si sappia ora che cosa sia una risonanza, anche se formalmente i due concetti tendono a coincidere, posto che allora si conoscevano le forze capaci di produrre quegli stati anche se non si conoscevano le leggi del moto, mentre ora sono sconosciute le une e le altre.

Osserva poi Fabri⁽²⁾ a questo proposito:

"Se agli inizi del secolo si fosse dovuto spendere l'equivalente di 100 milioni attuali per ogni spettro atomico da rilevare, si sarebbe posto

un problema di scelta: in tal caso, avrebbe avuto senso sostenere la validità oggettiva di ogni proposta di esperimento? Sono convinto che l'utilità scientifica di spettri come quello del Fe sia stata ben scarsa rispetto a quelli dell'H, He, alcalini e pochi altri. Di più: non mi stupirei se ancor oggi lo schema dei livelli del Fe fosse noto solo in completamente: del resto a che servirebbe? Certo non al confronto con la teoria, che esiste solo in linea di principio, ma non come possibilità di calcolo".

Ci sembra che l'approccio "random", di cui si parlava a proposito di come viene condotta la sperimentazione, potrebbe risultare da un lato, per il tipo di considerazioni che precedono, un pò troppo dispendioso, dall'altro, per il forte rumore di fondo, imedire di cogliere le linee essenziali della nuova "spettroscopia". L'argomento che viene di solito contrapposto a questi è che in generale la comprensione scientifica di fenomeni nuovi e sempre un processo faticoso e non immediato. In fin dei conti la comprensione dei fenomeni elettromagnetici richiese un tempo dell'ordine del secolo; quella dei processi atomici ha richiesto una trentina d'anni. La comprensione, ad un livello soddisfacente, dei fenomeni riguardanti le particelle elementari, nonostante un impiego di uomini e di mezzi che non conosce precedenti, potrebbe richiedere, data la difficoltà dei problemi, tempi dell'ordine del mezzo secolo e più.

E tuttavia è difficile a questo punto scacciare dalla mente la sensazione che qualche cosa di qualitativamente diverso rispetto al passato sta accadendo, la sensazione cioè che non si tratti più del problema tradizionale di superare un livello di comprensione arretrato, continuando ad accumulare nozioni sulla fenomenologia, ma che possa invece trattarsi del fatto che la ricerca ha acquistato caratteristiche nuove per quanto riguarda il processo stesso di acquisizione della conoscenza e che, insomma, non siamo destinati, come ci pare sia sempre avvenuto nel passato, a vedere emergere una teoria definitiva, ma piuttosto a continuare ad approfondire il nostro livello di comprensione secondo le linee attuali senza però mai fare un salto di qualità.

Questo tipo di preoccupazione emerge a volte nelle relazioni dei rapporteurs⁽²⁶⁾:

"... one hopes in this way to select from the swamp of all high energy collisions pure physical processes which can be interpreted more or less correctly by a simple theory. The hunt for resonances represents in fact the same sort of attitude. And so, step by step, like an onion is peeled, a clearer total picture of high energy collisions will appear... If we are studying peripheral processes, it is not only because of their intrinsic interest, it is also because we want to isolate them, eliminate them, to be left with something that I will call catastrophic events. We hope that such events will bring information on the inside, the core of elementary particles. Of course two dangers are waiting for us on this path. It is possible that we will go on peeling the onion indefinitely, going from peripheral events to others a little less so, but without encountering any drastic change and at the end there will be no core. It can also be that the core collisions will always manifest themselves as obeying the statistical theory. But we should hope for the best".

3. b. - Uso dei modelli. -

Comunque stiano le cose da questo punto di vista, è un fatto che oggi, in mancanza di una teoria, la fisica delle particelle procede per modelli. Questi vengono solitamente presentati o come tecniche di approssimazione "tratte dalla teoria" o come tentativi di estensione relativa di tecniche sviluppate in teoria di potenziale. I presupposti del modello cadono ben presto tuttavia nel limbo dei problemi poco eccitanti; si rinuncia quindi quasi subito nella pratica a dimostrare qualsiasi cosa. Il modello si traduce allora nell'assunzione pura e semplice di una determinata espressione analitica nella quale sono contenuti dei parametri. La "spiegazione scientifica" si riduce alla tecnica di "best-fit" con la quale quell'espressione analitica viene co stretta a riprodurre i dati sperimentali e ciò "determina" i parametri. Non ci sembra fuori luogo il paragone con un sarto che faccia vestiti di taglia qualunque ma di tessuto elastico e li adatti a qualsiasi persona. Ma anche una forma analitica con molti parametri non è onnipotente! Vengono gli esperimenti che il modello non "spiega". Ci si affretta allora a cercare ricette, modifi che, rovistando tra i mille effetti o contributi che il modello ha trascurato; ma poiché tali contri buti erano stati trascurati proprio perché non li si sapeva trattare, le "modifiche" si traducono quasi sempre nell'aggiunta di nuovi parametri e in un nuovo "fit".

Il paradigma delle situazioni di questo tipo ci è offerto dalla cosiddetta teoria di Regge, della quale, ben inteso, non deve ritenersi responsabile l'autore.

Vorremmo ricostruirne brevemente la storia, richiamando le motivazioni che l'hanno determinata e ricostruendone la logica interna.

Il punto di partenza è da ricercarsi con ogni probabilità nel teorema di Pomeranchuk⁽²⁷⁾, quello che afferma che le sezioni d'urto diventano costanti ad energie molto elevate (il fatto che le cose, poi, non siano così semplici è storia recente, che non tocca la ricostruzione del clima delle "origini"). A parte il fatto che già questa di per sé era una congettura e non un fatto sperimentale, non si esitò comunque a farne la giustificazione della dominanza del "pomerone" (che a quei tempi era ancora un essere rispettabile, non era schizofrenico e non cospirava!) supponendo di essere già in "flatlandia". Comunque diamo atto del fatto che si trattava di una congettura globale, da provare poi nelle sue conseguenze. La prima fu la predizione dello "shrinkage" del picco diffrattivo⁽²⁷⁾. Alla verifica sostanzialmente negativa seguì la constatazione che effettivamente "flatlandia" era ancora lontana e che quindi altre traiettorie dovevano contribuire; così, nella medesima "Formula-Ansatz" di Regge si aggiunsero altri parametri. Questo annacquava notevolmente la possibilità di fare altre previsioni precise. Osservava a questo proposito Ne'eman⁽²⁸⁾:

"The elastic scattering data - in fact total cross sections σ_T for $\bar{N}N$, NN , πp , kp - has been fitted with such a set of $1+9+9$ trajectories... altogether 21 parameters for 10 curves. Similar attempts to fit baryon-baryon charge exchange results ($np \leftrightarrow pn$, $\bar{p}p \leftrightarrow \bar{n}n$) have been unsatisfactory... The above fits have also been attempted to predict X [$X(s, 0) = \text{Re } A(s, 0)/\text{Im } A(s, 0)$, N. d. R.] ... , with rather unsatisfactory results for pp , π^+p ".

Questo tipo di procedura, tra l'altro, invita a considerazioni del tipo di quella che segue, dovuta a Lindenbaum⁽²⁹⁾:

"Since most experimental results can generally be parametrized with a few obvious parameters, it is not very comforting or too useful when later, after one knows the facts, one arbitrarily introduces an equivalent number of arbitrary parameters into a model and claims to explain the results".

Restava tuttavia, a quello stadio, l'esperimento decisivo, la "verifica indipendente", la reazione di scambio di carica, come esempio di "one pole test case". In seguito l'esistenza di una polarizzazione non nulla contraddisse la predizione della "teoria". Molte erano, a questo punto, le risposte possibili. Ci sembra non casuale che la strada scelta sia stata, ancora una volta, l'aggiunta di altri parametri per "spiegare" a posteriori questo risultato (tagli o, peggio, la traiettoria corrispondente ad una particella, la ϱ' , sconosciuta e forse inesistente!).

Successivamente il quadro si incrinava sempre di più, con i risultati di Serpukhov, più recentemente con la larga polarizzazione positiva trovata⁽³⁰⁾ nel $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$ a momenti trasferiti tra -0.3 e -0.5 (GeV/c)² a impulsi incidenti di 5 e 8 GeV/c (ci permettiamo peraltro di richiamare l'attenzione sull'aspetto di questi risultati qualora si riportino due deviazioni standard, Fig. 15), infine con i primi dati per l'urto p - p agli ISR⁽³¹⁾ che:

"suggest that the diffraction peak shrinking in s is reduced as s increases"

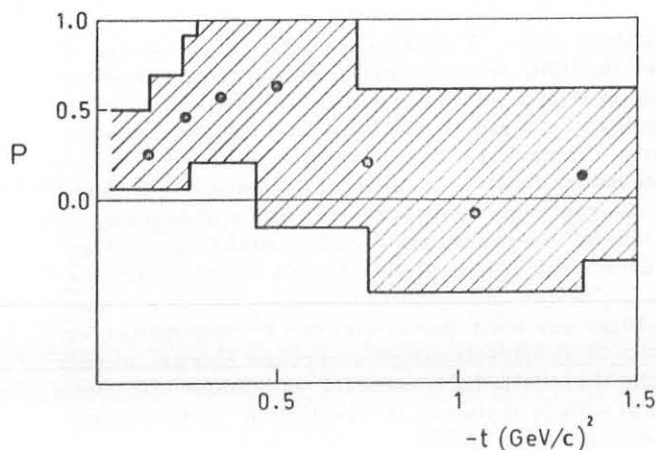


FIG. 15 - I dati sulla polarizzazione in $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$ a $5 \text{ GeV}/c$ riportati approssimativamente con due deviazioni standard (modificato dalla ref. (30)).

ad energie nel centro di massa di 30 e 45 GeV. E questo per limitarsi ai fatti più clamorosi nel quadro di una situazione generale che "scricchiola" paurosamente.

La presente situazione concernente la "teoria" è riassunta da Zachariasen⁽³²⁾ nel modo seguente:

"The general validity of Regge theory as a description of processes with quantum number exchange is now widely accepted";

ma aggiunge poi subito, in nota:

"Perhaps it should not be. Regge phenomenology is, of course, notoriously vague in its predictions, and is slippery enough so that it is difficult, by any experiment, to prove it wrong. Nevertheless, aside from πN charge-exchange scattering, its ability to fit data is not all that impressive. In spite of this, the Regge idea does seem to have achieved wide acceptance".

In questa situazione generale si oscura sempre più fino quasi a scomparire l'idea che una teoria fisica dovrebbe avere valore predittivo.

Osservava alcuni anni fa Feynman⁽³³⁾ a questo proposito:

"It is clear to everyone today that physics is almost entirely in the hands of the experimenters. I think, nevertheless, that we should appreciate that theory is supposed to have a predictive value. What do we mean by prediction? One wonders for example, how Herodotus could believe in the oracle of Delphi, in his time, as he was an intelligent man. What really happens is that each of the predictions of the oracle are in vague language and they become particularly clear when the events occur afterwards, so you can see how it works. The high priests of Babylon used to predict things by looking at the liver of a sheep. And why? Because in the complexity of the arrangement of the veins, interpreted correctly, they could tell what the future would be. It is that complexity, and the possibility of reinterpreting later the arrangement of the veins, that permits the power of the priests to be maintained. The diagrams which go with my name appear to me like the veins of a liver of a sheep. It is always possible to follow the right lines after the events. If you try to test modern theory on its predictive value, you find that it is very weak".

Più recentemente Bjorkén⁽³⁴⁾ faceva lapidariamente il punto alla situazione nei termini seguenti:

"These days the word "prediction" is often meant to be the explanation of last year's experiments. We should strive for more, lest it be said that the science of high energy physics is more backward than meteorology".

Questa fisica delle "previsioni a posteriori" finisce per essere retta, come è stato detto, da un "Principle of Multiduality"⁽³⁵⁾:

"all results are explained by all theories".

Feynman arriva, scherzosamente ma non troppo, a farci riflettere sul rischio che corriamo di spiegare anche cose che non esistono⁽³³⁾:

"I am familiar with a number of experimental physicists and they are sort of men of the earth. Therefore, I have always suspected that, one day, working far away from theorists, close to their big machines, they will get the idea of a new experiment; an experiment which will test the oracle. They would like to see what would happen, just for the fun of it, if they falsely report that there exists a certain bump, or an oscillation in a certain curve, and see how the theorists predict it. I know these men so well that the moment I thought of that possibility I have honestly always been concerned that some day they will do just that. Then you can image how absurd the theoretical physicists would sound, making all these complicated calculations to demonstrate the existence of such a bump, while these fellows are laughing up their sleeves. For this reason, I have found myself almost incapable of making calculations of the type that most other people make. I am afraid they will catch me out!".

3. c. - Caratteristiche metodologiche e linee di sviluppo della ricerca in fisica delle particelle. -

Ci pare che non sia priva di interesse qualche riflessione sulla situazione delineata concernente i modelli ed i criteri della ricerca attuale in base ai canoni del neopositivismo. Ciò beninteso non comporta affatto una nostra adesione a questo indirizzo filosofico; crediamo invece si possa asserire che, almeno limitatamente al momento della riflessione metodologica sulla natura della loro propria ricerca, buona parte dei fisici si riconosca in questo indirizzo. Il nostro richiamo vuole quindi essere un invito alla riflessione per questi colleghi, che è tanto più giustificato in quanto tende a porre in luce contraddizioni o "tensioni" fra la pratica della ricerca ed i presupposti metodologici sui quali si afferma che tale ricerca dovrebbe essere basata.

Ad esempio il Popper si chiede⁽³⁶⁾ quali caratteristiche debba avere una vera "spiegazione scientifica" per poter essere considerata tale e conclude che essa deve basarsi su "leggi universali controllabili e falsificabili", ed avere perciò conseguenze controllabili indipendenti dal fenomeno che si deve spiegare; di modo che si può "migliorare il grado dell'essere soddisfacente delle spiegazioni migliorando il grado della loro controllabilità". (Il criterio metodologico di Popper non è probabilmente scevro da critiche; per quanto riguarda però l'ambito neopositivistico, a cui noi facciamo imparzialmente riferimento, possiamo osservare che tale punto di vista non è isolato: per esempio Carnap, pur con tutte le differenze che caratterizzano il suo atteggiamento, privilegia la capacità di fare previsioni come requisito essenziale delle spiegazioni scientifiche⁽³⁷⁾).

Forse il lettore avrà capito dove vogliamo andare a parare. Ma per essere il più possibile chiari, riferiamoci all'esempio emblematico che Popper riporta di Pseudo-spiegazione⁽³⁸⁾:

"Consideriamo il dialogo che segue: "Perché oggi il mare è agitato?"
 "Perché Nettuno è molto arrabbiato". "Ma quale prova puoi portare a sostegno della tua asserzione, che Nettuno è molto arrabbiato?"
 "Oh, ma non vedi come è agitato il mare? E il mare non è sempre agitato quando Nettuno è arrabbiato?"

C'è da chiedersi ora, vista la situazione per quanto concerne i modelli esemplificati in precedenza nel caso dei poli di Regge, se si possa ancora parlare di "spiegazione scientifica" nel senso tradizionalmente accettato.

D'altro canto, si tocca qui con mano il fatto che le caratteristiche della scienza vengano mutando (ciò che, già a prima vista, non rientra nella visione neopositivistica e costituisce uno almeno dei motivi della nostra perplessità nei suoi confronti). Ne sono un segno, a nostro avviso, l'allentamento del rigore dei criteri e dei procedimenti di verifica, che si riflette pure nel restringimento oltre ogni misura del campo di indagine e nella limitazione, senza ragioni sufficienti, delle osservabili che devono essere rilevanti per questa comprensione; limitazione su cui, ovviamente, tosto l'insieme dei fisici tacitamente concorda.

Da un lato, come abbiamo detto, gli esperimenti non danno risposte univoche su cui la teoria possa crescere in modo non ambiguo, dall'altro la "teoria" non chiede più all'esperimento soltanto la conferma di certe ipotesi di lavoro, ma predetermina in larga misura l'esito dello esperimento quando, basandosi su un qualche modello, chiede di analizzare dati già selezionati ed elaborati, arrivando al punto di indicare come rilevanti soltanto le osservazioni riguardanti un numero limitato di variabili, anziché esaminare "neutralmente" il complesso dei risultati.

Non è difficile cogliere queste caratteristiche.

Già la fase di sistematizzazione fenomenologica avviene sulla base di una sperimentazione condotta secondo le caratteristiche che abbiamo cercato di delineare prima; da un lato, nell'analisi dei dati, si trascurano effetti o contributi (essenzialmente "perché non si sa come trattare questi effetti"), che potrebbero modificare profondamente l'interpretazione; d'altro canto l'elaborazione delle ipotesi "teoriche" si basa su dati ricavati con statistiche scarse, con un uso per lo meno elastico della "standard deviation", si usano distribuzioni in cui la separazione dei contributi a quasi-due-corpi è già stata eseguita, e che contengono quindi già drastiche assunzioni o ipotesi modellistiche (ci riferiamo qui solo al momento della verifica e non alle caratteristiche interne dei modelli), come abbiamo discusso nel paragrafo precedente riportando le considerazioni di Ferro-Luzzi⁽⁹⁾ e di Rosenfeld⁽⁸⁾.

Questo stato di cose è particolarmente pericoloso in una situazione in cui una risonanza in più (o in meno) in una certa posizione può significare parecchio dal punto di vista delle "teorie" che si costituiscono per spiegare la spettroscopia delle particelle.

Un esempio tipico di assunzione limitativa è quella che viene fatta ad energie intermedie, dove si privilegia l'importanza della dipendenza da certe variabili e si vorrebbe che la comprensione delle reazioni a due corpi e a quasi-due-corpi fosse il cardine per la comprensione di

tutta la fisica delle particelle elementari, dimenticando che l'unitarietà (questa Cenerentola della ricerca attuale) stabilisce l'assoluta necessità di comprendere simultaneamente tutti i processi di produzione.

Le osservazioni che seguono, dovute a Van Hove⁽³⁸⁾, invitano alla cautela nei confronti di un tale atteggiamento:

"The flow of new data will grow rapidly, and the question of how to use it efficiently for achieving real progress in understanding the underlying "hadrodynamics" will become a crucial one. Unfortunately, no good answer to this question is yet available, and data taking threatens to remain wasteful unless great efforts are made to go beyond present practices. These tend to concentrate the attention on limited aspects of the available information and to compare them with uncertain and flexible theoretical models. All too often, rough agreement is easily achieved at this rather superficial level, leaving the suspicion that nothing fundamental is learnt".

Ultimamente, con la moda delle "reazioni inclusive", si è arrivati poi ad affermazioni di questo tenore⁽³⁹⁾:

"when a 200 GeV/c proton strikes a target proton, on the average six charged hadrons come out. We cannot hope to study in detail the energy and direction of all the six particles. Inevitably one either relies on thermodynamical considerations à la Hagedorn, or concentrates on what Feynman calls "inclusive experiments" in which only one of the hadrons is studied in detail".

In cui non si capisce neppure bene (o forse si capisce fin troppo bene) se si pensi che un tale esperimento sia completo o se proprio non siamo in grado di far meglio, nel qual caso si potrebbe obiettare a buon diritto che non vi è nessuna esigenza interna alla fisica che imponga di farlo e che possiamo invece limitarci a quello che siamo in grado di fare!

D'altro lato, sulla base di schematizzazioni teoriche o modellistiche si pretende sovente di influenzare o modificare questa analisi.

Senza dilungarci, possiamo dare al proposito l'esempio della dualità, che pretende di inferire che l'analisi usuale delle reazioni tra particelle elementari, per quanto riguarda la separazione dei vari contributi, è errata. Harrari afferma⁽⁴⁰⁾:

"Duality tells us, among other things, that we should never add the contribution of the two Δ 's in the two bands. We should perhaps multiply them (particularly if we believe in the Veneziano formula) or do various other things, but we should certainly not add them because that would commit double counting. Duality therefore prevents the experimentalist, even if he has fantastic statistics, from isolating the Δ in a proper way in his sample of events. This difficulty prevents us from reaching any definite strong conclusions concerning the question of $\pi N \rightarrow \pi \Delta$ ".

A queste considerazioni sul piano metodologico se ne collegano altre concernenti le linee di sviluppo della fisica delle alte energie. E' abbastanza ovvio infatti che la disponibilità di una macchina nuova, che sposti il limite superiore dell'energia disponibile nel centro di massa in un definito canale definisce immediatamente una serie di esperimenti di routine (misure di sezioni d'urto totali, distribuzioni angolari, ecc.); ed è chiaro altresì che l'emergere di questi dati configura la necessità di una fase di puntualizzazione fenomenologica.

Questa fase, comunque necessaria in ogni stadio di sviluppo della scienza fisica, rischia oggi di assorbire il grosso dello sforzo della ricerca teorica, costituendo una sorta di rumore di fondo con cui il teorico, fosse pure un Einstein redivivo, deve necessariamente confrontarsi, col rischio di perdere di vista i problemi fondamentali non risolti.

Cogliamo anzi qui un ulteriore aspetto che riteniamo fondamentale, e che comunque lo sarà nel resto della nostra analisi. Se infatti guardiamo all'evoluzione che ha avuto la fisica teorica delle interazioni forti in questi anni, non può non colpire il fatto che siamo passati dal modello statico ai poli di Regge (attraverso le relazioni di dispersione e la rappresentazione di Mandelstam); siamo cioè passati da una "teoria" essenzialmente non relativistica ad una teoria essenzialmente asintotica.

L'aumento dell'energia disponibile nel centro di massa appare elemento cardine per afferrare la stessa linea di evoluzione della fisica teorica. Appare quindi esistere una sorta di "bootstrap" tra teoria ed esperimento che si determina sulla base di una comune tendenza verso le regioni asintotiche.

4. - RAPPORTI FRA ESPERIMENTO E "TEORIA". -

Nei paragrafi precedenti, per pure ragioni di comodità, abbiamo separato artificialmente aspetti della ricerca sperimentale e di quella teorica. E' ovvio, tuttavia, che per il fatto stesso che si tratta di ricerca scientifica in qualche senso, esse devono essere connesse in qualche modo.

Il problema che ci poniamo ora è appunto quello di studiare, alla luce delle considerazioni che precedono, quali siano oggi concretamente le caratteristiche essenziali di questo rapporto fra "teoria" ed "esperimento" nella fisica delle particelle elementari. La tesi che sosteneremo in questo paragrafo è che questo rapporto si articola su due piani diversi, anche se poi, a ben vedere, necessariamente collegati.

Prima di discuterli, cerchiamo di vedere qual'è il salto di qualità che essi comportano rispetto all'analisi precedente e come essi sono a quella collegati. Avevamo sottolineato l'esistenza di una sorta di "bootstrap" fra teoria ed esperimento, ed il fatto che esso risulta fortemente condizionato da fattori "esterni" rispetto alla scienza; se così è, questo tipo di ricerca non può, in qualche forma, mancare di rispondere ad esigenze di cui quei fattori condizionanti sono espressione. E' proprio qui che il rapporto si articola sui due piani che dicevamo. Vi è un primo piano di contenuto scientifico e di impostazione metodologica. Avevamo rilevato che la teoria si sviluppa in sostanza sulla base della dinamica di sviluppo della fisica sperimentale, vale a dire inseguendo anche essa le energie asintotiche. In questo tendiamo ad individuare un legame non formale, di fondo, tra esperimento e teoria, nel senso che va dall'esperimento alla teoria. Ma per la costruzione del discorso scientifico questo fattore resta effettivamente "esterno" nella misura in cui l'esperimento non aiuta a costruire una "vera teoria"; cioè è in grado di fornire sul piano scientifico solo una teoria svuotata e impotente in partenza, senza neppure un linguaggio univoco e quindi di fatto slegata dall'esperimento su questo piano: per questo parleremo effettivamente di profonda frattura fra le attività del "teorizzare" e dello "sperimentare" su un piano strettamente metodologico-scientifico. La teoria diviene invece funzionale ed omogenea alle esigenze "esterne", alle scelte di sviluppo dei grandi programmi di ricerca, che comunque vengono portati avanti, su un piano diverso, più esteriore rispetto al discorso scientifico, ma non per questo meno sostanziale. La teoria vorrebbe dare ad intendere di fornire vere giustificazioni scientifiche a quella dinamica di sviluppo; ma si tratta di pseudo-giustificazioni, di argomentazioni puramente ideologiche e non scientifiche, sostanziali. Su questo secondo piano avviene cioè una ricomposizione; sulla base della propria impotenza la teoria fornisce una legittimazione a posteriori alle scelte di fondo.

Cercheremo, nel seguito, di riprendere in maggior dettaglio questo tipo di considerazioni sviluppando anche punti già toccati nei paragrafi precedenti, di inquadrare le modalità del rapporto teoria-esperimento, che andiamo studiando, nell'ambito di una breve analisi della loro evoluzione storica recente, di analizzare in che rapporto esse si pongano con indirizzi epistemologici moderni, ed infine di documentare la natura sostanzialmente ideologica delle indicazioni sperimentali fornite dalla teoria.

4. a. - La frattura fra l'attività teorica e quella sperimentale sul piano del metodo; critica dello operazionismo. -

Richiamiamo alcune delle caratteristiche che abbiamo colto nei paragrafi precedenti. Da un lato gli esperimenti forniscono un quadro frammentario ed incompleto dei fenomeni; inoltre, a causa soprattutto dell'assenza di una "teoria" generale che avrebbe fra l'altro anche la funzione di fornire un linguaggio univoco, forniscono risultati ambigui, "model dependent" (potremmo dire, in linguaggio figurato, che gli esperimenti non parlano senza basarsi su un "modello"). Corrispondentemente, il lavoro teorico procede mediante "modelli". Questi si basano su un insieme di assunzioni. Ma da un lato la scelta di queste assunzioni può essere fatta in modo assolutamente libero, senza restrizioni di sorta; basta pensare allo spettro disparato delle assunzioni scelte di fatto nello sviluppo della fisica delle particelle elementari: teoria dei campi, modello statico, analiticità in s , t , o J , singolarità vicine, periferalismo, multiperiferalismo, algebra di un gruppo, corrispondenza tra singolarità in J e particelle, traiettorie rettilinee, $\alpha(0) \leq 1$, dominanza dei mesoni vettoriali, commutatori a tempi uguali, ipotesi sui termini di Schwinger, regole di somma di qualche tipo, criteri di saturazione, dualità, singolarità sul cono luce, partoni, ecc., ecc., ecc. Sulla proliferazione dei modelli riportiamo in nota una felice considerazione di Lipkin⁽⁴¹⁾. La libertà nella scelta delle assunzioni si spinge al punto che non è mai richiesto strettamente di provare qualche tipo di relazione tra le ipotesi di un modello e quelle usate in modelli sviluppati in precedenza. L'unica cosa che si richiede dalle ipotesi è di fornire una espressione analitica contenente parametri (la cui interpretazione fisica è puramente formale e assolutamente marginale e irrilevante!) e utilizzabile quindi per la tecnica del best-fit.

Dicevamo che queste sono le caratteristiche che si riscontrano di fatto nella fisica delle particelle elementari. Sorge però il problema di capire se esse sono caratteristiche universali e necessarie della scienza fisica e in ogni caso qual'è il loro significato sul piano metodologico. Non siamo sicuramente i primi a constatare come nello sviluppo della fisica, e soprattutto in tempi recenti, sia venuta a stabilirsi e ad approfondirsi gradualmente una divisione tra la attività teorica e quella sperimentale; esse possono anche essere condotte da un medesimo scienziato (si pensi a Fermi), ma sono di fatto guidate da criteri ed ubbidiscono a dinamiche che divengono sempre più indipendenti. Crediamo non sia fuor di luogo rivedere qui rapidamente e senza ambizioni di completezza, questo sviluppo⁽⁴²⁾, nella misura in cui ci permetterà di individuare più chiaramente delle caratteristiche tipiche della fisica odierna.

Un periodo opportuno a cui rifarsi per iniziare questo tipo di analisi è la prima metà dell'Ottocento. La ricerca fisica, in quest'epoca, si basa su di un'ipotesi di lavoro globale, quella meccanicistica, secondo la quale esistono solo forze agenti fra punti materiali lungo la loro congiungente e con intensità inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Tale assunto diviene un principio metodologico a priori di impronta kantiana, che guida tanto l'attività teorica che quella sperimentale (si pensi alle ricerche di Ampère sulle forze agenti fra correnti) legandole strettamente fra loro.

Nel frattempo Faraday sviluppa in Inghilterra un punto di vista diverso, e con Maxwell la ricerca fisica diviene la ricerca di analogie meccaniche tra fenomeni fisici che, mutando radicalmente il significato del meccanismo, si basa sull'uso di fluidi meccanici come sedi dei fenomeni. Su tali "modelli" si ragiona ormai indipendentemente dalle operazioni sperimentali. In tal modo il rapporto fra teoria ed esperimento viene spostato, allontanato; diviene un momento finale, esterno tanto all'una quanto all'altra attività, nel quale si confrontano le conseguenze tratte matematicamente dal "modello" con le relazioni che stabiliscono sperimentalmente tra determinate grandezze fisiche.

Con la formalizzazione della fisica, la "teoria" viene poi spogliata da qualunque sostrato o riferimento materiale anche ipotetico; essa si riduce ad un set di equazioni che sono giustificate solo dal confronto finale tra le predizioni che con l'elaborazione matematica si traggono da esse e le relazioni che si stabiliscono sperimentalmente.

Anche se le posizioni di Mach, Ostwald e altri si oppongono oggettivamente per molti aspetti a queste nuove tendenze, queste ultime risultano di fatto storicamente vincenti, anche se i criteri che guidano l'attività teorica sono soggetti ad ulteriore evoluzione. La scelta delle equazioni di partenza, cioè l'elaborazione della "teoria", è dapprima vincolata dalla necessità di tradurre i principi universalmente stabiliti della fisica (principi di conservazione, di relatività, ecc.), i quali cioè si presentano come il "distillato", la sintesi concettuale di tutto il quadro sperimentale.

Ma con la "crisi dei fondamenti" che ha inizio alla fine del XIX secolo, questi principi vacillano e sono messi in crisi uno ad uno dai nuovi fenomeni che si vanno scoprendo.

Occorre un principio metodologico nuovo che guidi l'elaborazione della teoria, limitandone i margini di arbitrarietà e ristabilendo qualche tipo di connessione, più o meno fittizia, con l'attività sperimentale. Tale principio è l'operazionismo. Esso fornisce per un lungo periodo una base sulla quale si crede di basare in modo univoco l'elaborazione teorica, fornendo per esempio un linguaggio univoco, costituito appunto da concetti definibili su base operativa. E' nostra convinzione che tale base sia in realtà più fittizia che reale e che l'operazionismo, come esigenza di rigore e di oggettività, non sia mai stato rispettato, o meglio, che una formulazione puramente operativa non sia realizzabile. E' questo un problema alquanto complesso che non speriamo certo di riuscire a mettere a fuoco in questa nota, anche se alcune considerazioni ci sembrano pertinenti. In primo luogo si constata che non sempre i concetti della fisica sono nati rispettando l'esigenza operativa (ricordiamo, per esempio, che lo spin fu introdotto fenomenologicamente come numero quantico per interpretare gli spettri atomici, molto prima dell'esperimento di Stern e Gerlach⁽⁴³⁾; una cosa non molto diversa è avvenuta più recentemente per la stranezza). In secondo luogo la relazione tra lo sviluppo dei concetti e la definizione dei processi di misurazione appare più complessa di quanto non voglia l'operazionismo stesso. Perfino un neopositivista come Carnap afferma⁽⁴⁴⁾ che lo sviluppo dei concetti precede la definizione dei processi di misura e (di fronte alle molteplici definizioni operative dei concetti che conducono Bridgman ad affermare che si tratta di concetti diversi: per esempio, molti concetti di lunghezza a seconda del metodo di misura a cui si rifanno) che i concetti della fisica non sono completamente definiti operativamente, ma sono concetti teorici di cui le tecniche di misura forniscono via via interpretazioni parziali e sempre più larghe.

Comunque sia, ci sembra di poter affermare che, se fino a qualche decennio fa si poteva almeno sostenere che l'operazionismo fornisse una base metodologica coerente per la ricerca fisica, un tale punto di vista non sia oggi neppure sostenibile, essendosi definitivamente spez-

zato qualunque rapporto di univocità tra il teorizzare e lo sperimentare. Per esempio, se la critica di Einstein al concetto di simultaneità o la base concettuale della meccanica quantistica sono almeno rapportabili ad uno schema operazionistico, non vediamo come lo sia la ricerca dei parametri delle risonanze⁽⁴⁵⁾. L'esperimento, dicevamo, non parla da solo e richiede l'uso di un modello. Se, in linea di principio, la cosa non era molto diversa nei primi tempi in cui si usava una formula di Breit-Wigner, in pratica però i margini di arbitrarietà si sono allargati notevolmente. Se l'esperimento non parla da solo, la "teoria" d'altra parte, non fornisce un quadro interpretativo univoco: così da un lato l'esperimento è ambiguo, dall'altro la teoria sceglie le proprie assunzioni (cioè i parametri da usare!) in modo assolutamente autonomo. In questo senso l'operazionismo appare una base metodologica assolutamente inadeguata e la frattura fra il teorizzare e lo sperimentare si acuisce ulteriormente.

4. b. - L'attività teorica come copertura e legittimazione della dinamica di sviluppo della fisica sperimentale. -

Veniamo ora al secondo piano, sul quale noi cogliamo un tentativo di ricomposizione formale, di giustificazione ideologica reciproca dell'attività teorica e sperimentale. Una chiave fondamentale per chiarire uno degli aspetti è, a nostro avviso, una valutazione della rilevanza che viene attribuita al parametro energia. L'energia è considerata in effetti il parametro più significativo per la comprensione dei fenomeni. Ora il punto fondamentale a nostro avviso è che tale scelta non è dettata da criteri scientifici, proprio per il fatto che il livello di comprensione attuale è così arretrato da non essere in grado di fornire tali criteri; ma che, anzi, è proprio su tale arretratezza che può avvenire il tentativo di far passare in modo fittizio questa scelta come una scelta scientifica. Infatti la teoria, nella sua fondamentale incapacità di comprendere i dati sperimentali e di render conto dell'attività scientifica, ha buon gioco nell'attribuire i molti punti oscuri al fatto che non si è ancora ad energie abbastanza alte, nel sostenere che i problemi si possono risolvere solo nella "regione asintotica". Poiché, come vedremo meglio, questa fantomatica regione si sposta inesorabilmente ad energie sempre più alte, questo argomento si traduce in una giustificazione dei grandi progetti di ricerca e della politica delle grandi macchine. Tale giustificazione è fittizia e ideologica nel senso che, se invece la "teoria" fosse riuscita a inquadrare univocamente almeno una parte dei fenomeni a medie energie, essa saprebbe indicare esperimenti cruciali e programmi di ricerca coerenti alle energie disponibili con le macchine esistenti. La scelta attuale, che viene spacciata come scientifica, è invece basata sull'ignoranza, ha giustificazioni soltanto ideologiche che si configurano di fatto come legittimazione dogmatica di tale scelta, che appare invece, a ben vedere, dovuta a cause esterne rispetto all'operare scientifico. A ciò sono funzionali anche le nuove caratteristiche metodologiche e l'allenamento dei criteri di rigore che abbiamo discusso al § 3.

Ma cerchiamo ora di fornire un'effettiva documentazione per quanto siamo venuti affermando.

Solo nove anni or sono Chew si esprimeva a questo proposito nel modo seguente⁽⁴⁶⁾:

"... the question has been raised as to what is "asymptotic". I want to make a most optimistic conjecture: I believe that there is only one characteristic energy in the whole strong interaction picture which is of the order of one billion volts, that all resonances will occur in the range of 1 to 2 GeV, that after this you rapidly slide into what I would call the asymptotic region".

Questa dichiarazione ottimistica dovrebbe far riflettere sul senso in cui ci stiamo muovendo, alla luce, tanto per non cercare tanto lontano, degli ultimi risultati di Serpukhov⁽⁴⁷⁾ (70 GeV, non ancora asintotici):

"The results from one of the first experiments at the Serpukhov accelerator, on total cross sections, suggest that many surprises may await us at the new frontier of ultra-high energies".

L'importante tuttavia è di non scoraggiarsi, si può sempre andare un pò più in là. Ammesso poi che ci sia chiarezza assoluta su quali dovrebbero essere i sintomi della asintoticità. E la situazione, per quanto riguarda questo punto, non sta migliorando. Fino a qualche tempo fa si poteva dire⁽⁴⁷⁾:

"At this point we are still wondering what and where the truly asymptotic region is. Fortunately a few experiments at Serpukhov and the NAL accelerator could clarify these questions".

Oggi come oggi quali caratteristiche permetteranno di riconoscere la regione asintotica risulta sempre meno chiaro⁽⁴⁷⁾.

Ecco una delle ragioni per cui ci pare di poter dire che le motivazioni che la "teoria" dà per salire con l'energia hanno carattere ben poco scientifico. La carenza di una vera giustificazione scientifica traspare comunque da un esame delle varie motivazioni che vengono avanzate, in campo teorico, per giustificare le scelte fatte in materia di macchine acceleratrici. Una notevole risorsa pare essere quella di rifarsi all'autorità di maestri riconosciuti del passato, riprendendone considerazioni che brillano, più che altro, per la loro vaghezza⁽²⁶⁾:

"... as pointed out long ago by Heisenberg, strong interactions will manifest themselves in phenomena of multiple production if enough energy is available".

Un argomento chiave, a cui ci si richiama sempre come ad uno dei cardini fondamentali per lo sviluppo della conoscenza del mondo fisico, è quello del legame tra le energie disponibili e le dimensioni esplorabili⁽⁴⁸⁾:

"It still remains a task for the future in strong interaction theory to grab this problem by the horns. Cocconi has already emphasized at the CERN conference in June that with energies in the laboratory of >10 GeV one can experimentally probe with very large momentum transfers of >5 GeV/c, corresponding to lengths smaller than several hundredths of a fermi. This is an attractive possibility".

Questo argomento è, ovviamente, corretto, ma pecca anche esso di genericità; il fare esperimenti a quei momenti trasferiti non è a questo livello che "un'attraente possibilità" tra tante altre.

La mancanza di una domanda scientifica precisa emerge in genere in modo piuttosto netto quando si tratta di giustificare la costruzione di una macchina definita. Non vogliamo arrivare a dire che gli argomenti vengono individuati e definiti a posteriori, essendo cioè già deciso che la macchina si farà, per giustificare la scelta (e pure anche questo aspetto è, a nostro avviso, presente). E tuttavia assai spesso, come argomenti a favore avanzati a priori, essi appaiono alquanto deboli e di per sé insufficienti a motivare scelte così impegnative⁽⁴⁹⁾:

"This would enable us to measure how the elastic cross-section varies when the centre of mass energy changes by a factor of 3, and would also make possible high energy experiments on inelastic processes and heavy particle production (even if the cross-sections are small). Even if new, very heavy particles, are found in cosmic radiation, a 300 GeV accelerator would be needed for systematic investigation of their properties".

Ciò appare tanto più vero quando la motivazione viene desunta dall'esigenza di verificare predizioni chen più che a visioni teoriche generali, si appoggiano a modelli⁽¹⁰⁾:

"There must therefore be a mechanism for intermediate particle production. Several candidates exist... With the new accelerators now being commissioned (ISR at CERN, 200-500 GeV machine at NAL) experiment will perhaps soon be able to distinguish between them".

Questa complessiva mancanza di motivazione specifica fa sì che sovente il discorso diventi puramente apodittico, come quando si afferma⁽⁴⁹⁾:

"Turning from particles and forces to more general topics such as symmetry, parity, time reversal and charge conjugation, work with the new machine would certainly extend or more exactly define the limits of validity of our current ideas. There is also the attraction of some degree of reconciliation between macrocosmic phenomena in the universe at large and sub-nuclear physics. An understanding of why there are so many different particles and forces in the Universe is the ambition of all fundamental physicists and the proposed 300 GeV accelerator would undoubtedly be of invaluable assistance in this quest".

(Dove l'aggettivo "invaluable" appare forse (anche se inconsciamente) azzeccato nell'estensione più generale del suo significato, al di là delle intenzioni dell'autore del brano citato).

Recentemente le motivazioni generali hanno ricevuto nuova linfa dai quarks⁽⁵⁰⁾:

"If quarks or other constituents are discovered at NAL, the character of high energy physics research could change overnight, with quark production and scattering experiments taking precedence. Orear cata

logged some of the marvelous reactions that could be studied if beams of quarks might be produced. The sanctity of the nucleon could indeed be violated in these hypothetical reactions".

Questo discorso, sia detto incidentalmente, ci ricorda qualcosa di molto simile che a suo tempo si disse a proposito dei pioni.

Come quanto di campo delle forze nucleari, il pione doveva spiegare la natura di tali forze e quindi illuminarci su tutto il complesso della fisica nucleare.

Questi aspetti, conveniamone, sono caduti un pò nel dimenticatoio; e abbiamo avuto modo di studiare, invece, molte "meravigliose reazioni" prodotte da fasci di pioni.

In conclusione, quindi, lo sviluppo delle grandi macchine suggerisce i lineamenti generali dell'approccio teorico, che, a sua volta, diviene sostegno di quello sviluppo. Così, per esempio, è un certo modo di teorizzare che si fa sostenitore dell'esperimento che abbiamo chiamato di routine:

"The first thing which can be measured at high energy is the total cross section. There exist the predictions of Pomeranchuk to which experimental results can be compared⁽²⁶⁾".

"The total elastic p-p cross-section is ≈ 9 mb at 24 GeV though its trend with energy above 10 GeV is not well known⁽⁴⁸⁾".

"Measurements of the pp slope parameter b at NAL and ISR energies will be of great theoretical interest⁽⁵⁰⁾".

In tal modo, frequentemente, anziché risolvere dei problemi reali, ne vengono invece posti dei nuovi, che richiedono così, da un lato, altri esperimenti, dall'altro, estensioni dei modelli, e così via. Tutto questo mentre rischiamo di rimanere aperti problemi rilevanti; per esempio:

"It is intriguing to notice in this connection, that very increase in accelerator energy has been usually accompanied by a corresponding decrease of the lower energy limit reached by $\bar{K}N$ counter experiments: one wonders if we have to wait for the 300 GeV machine before completing the study of the region near $\bar{K}N$ threshold...⁽¹¹⁾".

5. - APPUNTI CRITICI SULL'IMMAGINE TRADIZIONALE DELLA SCIENZA E PER UNA DIVERSA VALUTAZIONE DELLA SUA DINAMICA DI SVILUPPO E DEI SUOI CONTENUTI. -

5. a. - Necessità di generalizzare l'analisi. -

Abbiamo finora rilevato delle caratteristiche della ricerca sperimentale e teorica, e dei loro rapporti, in fisica delle particelle elementari sul piano dei contenuti e su quello del metodo.

Anche un primo tentativo di ricerca e di individuazione delle cause reali della situazione che abbiamo discusso ci porta necessariamente ad allargare il discorso. Potremmo schematizzare il piano di questo paragrafo come segue. Comprendere a fondo se le caratteristiche della fisica delle alte energie sono proprie della "Scienza" in quanto tale, e quindi dovute a ragioni interne all'operare scientifico; o se invece esse sono piuttosto connesse a cause esterne. Nel secondo caso, individuare queste cause e capire come si deve impostare una analisi della scienza capace di rivelarci la sua vera natura e di guidarci alla ricerca di criteri pratici validi che superino qualunque impressione residua di critica moralistica che la nostra analisi possa avere fin qui lasciato.

Data la vastità della tematica coinvolta, è chiaro che le nostre considerazioni, da un lato, non potranno essere molto di più che spunti per una riflessione o, nel migliore dei casi, individuazione di ipotesi di lavoro e di indicazioni per ulteriori approfondimenti; dall'altro testimoneranno del fatto che su molti terreni la nostra impreparazione non ci permette di superare un livello ancora piuttosto superficiale.

Se tuttavia ci impegniamo su questo terreno, pur essendo ben consci del fatto che sarebbe necessario un discorso di ben altra serietà e dimensioni, è perché siamo convinti che un primo passo su questa strada spetti comunque a chi in qualche misura questa problematica la vive dall'interno e che già a questo livello sia possibile fare chiarezza su certi punti.

Cominciamo dunque col primo problema che ci siamo posti.

5. b. - Critica della concezione più diffusa della scienza e della sua dinamica di sviluppo. -

Il paragrafo 4 ha già chiarito, a nostro avviso, l'esistenza di fattori e criteri non strettamente scientifici nella dinamica di sviluppo della ricerca di cui ci occupiamo, e il fatto che i criteri metodologici della Scienza vengono via via mutando storicamente. Prima di ricercare le cause reali che guidano lo sviluppo della scienza, ci sembra necessario far piena luce sul punto ora enunciato. Riteniamo infatti impossibile procedere oltre senza aver fatto chiarezza su come deve essere interpretata la dinamica di sviluppo della Scienza tramite un confronto tra le caratteristiche della ricerca attuale, quali abbiamo cercato di delineare nei paragrafi precedenti, e l'immagine della scienza che appare la più diffusa fra i ricercatori; più in particolare con le convinzioni diffuse sulle modalità secondo le quali evolve la scienza.

Ci pare che queste convinzioni si possano riassumere nel modo seguente. In primo luogo la scienza evolverebbe affrontando via via le domande che il livello delle conoscenze raggiunte lascia aperte. E' implicito in questo che la motivazione della ricerca sarebbe tutta interna e andrebbe ricercata nella naturale curiosità del ricercatore e dell'uomo in generale.

E' questa la visione che aveva, per esempio, Poincaré quando diceva:

"La ricerca della verità deve essere il fine della nostra attività: è il solo fine che sia degno di essa"⁽⁵¹⁾.

Della necessità di soddisfare questo tipo di curiosità, come una delle esigenze cruciali dell'umanità, si diceva convinto G. Salvini alle "Giornate" promosse dalla SIF sul ruolo della scienza nella società contemporanea⁽⁵²⁾, sia pure parlando, a questo stadio di sviluppo dell'organizzazione della ricerca, di industria della cultura.

In secondo luogo esisterebbe uno ed un solo metodo scientifico, supposto non modificato da che la scienza esiste. Esso sarebbe uscito ben formato dalla mente di Galileo, come Minerva dalla testa di Giove, e il punto di vista operazionistico, che è alla base della relatività ristretta e della meccanica quantistica, non ne rappresenterebbe che una puntualizzazione.

E' un corollario di questo assioma generale che non si è data scienza fisica nell'antichità e fino a Galileo.

I due punti, che sono stati separati per comodità, in effetti costituiscono un'unica affermazione generale: che esiste una ed una sola scienza fisica, nata con Galileo, e che da allora si è sviluppata rispondendo a quesiti che essa stessa ha posto al proprio interno.

Ci sembra che questa concezione esca malconcia dalle considerazioni che facevamo ai paragrafi precedenti. La scienza muta, come pure mutano le sue caratteristiche di contenuto e di metodo, e questa evoluzione non è retta da sole ragioni interne alla scienza stessa. Allora la concezione più diffusa della scienza non corrisponde alle sue reali caratteristiche: è perciò una concezione ideologica, che attribuisce alla scienza uno sviluppo tutto ideale e copre così altri tipi di compromissioni e di condizionamenti più materiali della scienza.

Lasciando per il momento l'analisi di questi ultimi aspetti ad un punto successivo di questo paragrafo, anche la concezione corrente delle caratteristiche interne della scienza è artefatta ed ideologica. Essa infatti si basa su una visione che si potrebbe chiamare cumulativa dello sviluppo della scienza, dalla sua nascita fino ai nostri giorni: la scienza cioè, verrebbe costruita in un processo continuo e senza salti, per cui ogni stadio appare finalizzato all'assetto attuale e ogni (corretta nel suo ambito) teoria precedente deve risultare un caso limite dell'attuale. L'esistenza di limiti classici della relatività ristretta e della meccanica quantistica appa-
rirebbe conferma di questo punto di vista.

Quest'ultima concezione è già stata contestata dal noto storico della fisica Kuhn in un suo saggio recente⁽⁵³⁾. Secondo Kuhn ogni scienza si basa su ciò che egli chiama un "paradigma", vale a dire il complesso dei principi riguardanti la concezione generale della realtà propria di una comunità di scienziati; esso si costituisce quando, dopo un periodo "pre-paradigmatico", nel quale si confrontano più concezioni diverse o addirittura contrastanti, viene compiuta una scelta fra di esse. Scelta che, come Kuhn mette acutamente in rilievo, non sempre viene operata sulla base di ragioni che siamo soliti chiamare "scientifiche", nel senso che i paradigmi storicamente "perdenti" vengono spesso semplicemente abbandonati e non dimostrati sicuramente falsi (il sistema tolemaico non era più falso di quello copernicano al tempo in cui cominciò a cadere in disuso, così come avvenne per le teorie ondulatorie e corpuscolare della luce, etc.).

Ricordiamo l'espressione eccessiva e paradossale, ma certo significativa, di Planck⁽⁵⁴⁾ il quale afferma nella sua autobiografia scientifica:

"... una nuova verità scientifica non trionfa perché i suoi oppositori si convincono e vedono la luce, quanto piuttosto perché alla fine muoiono, e nasce una nuova generazione a cui i nuovi concetti diventano familiari".

Successivamente allo stabilirsi del paradigma la ricerca non sarebbe più che soluzione di particolari problemi nello ambito definito da questo. In questa fase, che Kuhn chiama della "scienza normale", non avverrebbe un vero progresso scientifico, ciascun problema potendosi riguardare come un rompicapo di cui si sa, a priori, che deve esistere una soluzione.

Avendo Kuhn collaborato alla ricerca storiografica sulle fonti per una storia della meccanica quantistica⁽⁵⁵⁾, si ha la sensazione che proprio l'evoluzione storica della teoria quantica lo abbia indotto a questa concezione. E in generale ci pare di poter dire che il suo schema ci appare attagliarsi abbastanza bene alla storia della meccanica quantistica, e quindi al nucleo della fisica teorica attuale, a proposito della quale diversi autori hanno messo in luce l'esistenza di visioni profondamente diverse nella fase pre-paradigmatica⁽⁵⁶⁾, mentre Von Neumann e la scuola di Copenhagen hanno introdotto un paradigma, stabilito il quale il dibattito sui problemi interpretativi si è ridotto ad una questione per specialisti (più difficile da considerare come soluzione di rompicapo l'interpretazione della superconduttività e superfluidità e simili).

5. c. - Ruolo dei condizionamenti esterni nello sviluppo della scienza. -

Se l'analisi di Kuhn ci appare incidere abbastanza profondamente su quella che abbiamo chiamato una visione "cumulativa" del progresso scientifico, essa ci sembra comunque, ancora una volta, come un tentativo di spiegare l'evoluzione scientifica in termini di meccanismi interni alla ricerca stessa. Che tale riduzione sia insoddisfacente è provato da molti esempi: non vi era, per esempio, nessun requisito interno alla scienza che esigesse, al tempo di Copernico, una revisione del sistema astronomico, dato che per lungo tempo mancarono dati capaci di distinguere tra i vari sistemi, i quali erano perfettamente equivalente rispetto ai dati esistenti⁽⁵⁷⁾.

Ma inoltre noi crediamo che già al livello approssimativo e nell'ambito circoscritto in cui siamo venuti svolgendo le nostre considerazioni emergano forti punti di discordanza rispetto ad una visione di tal fatta.

Crediamo di aver mostrato come l'atteggiamento metodologico proprio della Scienza abbia subito profonde trasformazioni nel corso della sua evoluzione storica, e come queste trasformazioni non siano riconducibili ad una dinamica puramente interna alla scienza. Nel caso della fisica delle alte energie, le considerazioni che abbiamo svolto sulla ricerca sperimentale ci hanno portato ad individuare una serie di caratteristiche della metodologia di questa ricerca che, tra l'altro, sono legate alla competizione tra i diversi laboratori; per quanto riguarda la fisica teorica abbiamo creduto di poter rilevare, tra gli altri elementi, una forte dipendenza delle sue linee di sviluppo dalla stessa disponibilità di macchine di energia sempre più elevata (per la cui introduzione la fisica teorica stessa si fa poi ottima propagandista).

Una conclusione, che è possibile raggiungere a questo livello, è che, come minimo, il dato oggettivo dell'esistenza di un certo tipo di laboratori, tra loro in competizione, la cui linea di sviluppo avviene sulla base della valutazione della assoluta priorità del parametro energia, ha una pesante influenza, esercita un pesante condizionamento, sulle linee e sugli sviluppi della ricerca.

Questo condizionamento appare "esterno" alla domanda scientifica specifica, nella misura in cui determina i presupposti perché non sia data risposta a domande di fondo mentre si passa il tempo a porre domande che hanno un senso limitato o che traducono addirittura dei problemi fittizi. Si ha anzi la sensazione che il rumore di fondo creato dall'inflazione della carta stampata non lasci più la possibilità di riflettere sulle questioni di principio.

A chi, magari consentendo col nostro tipo di analisi, ci rispondesse che queste considerazioni non hanno sbocco, in quanto non individuano un'alternativa, potremmo rispondere sottolineando che la domanda interna della fisica potrebbe in astratto prefigurare un altro tipo di sviluppo (che ne è stato, poniamo, del tentativo di costruire una meccanica quanto-relativistica, nel senso della relatività generale?).

Ma non è tanto questo il punto che ci interessa; questa "prefigurazione" ci appare vuota ed infeconda proprio in quanto è astratta, non parte dalla realtà dello sviluppo attuale, dalla quale non si può uscire con un atto di buona volontà da parte di singoli. Il richiamarsi ad alternative astratte rischia poi sempre di diventare un appello moralistico alle virtù del buon tempo antico.

Ci interessa invece sostenere il punto di vista che il modo con cui oggi (nonostante tutto, potremmo dire) si produce scienza è diverso rispetto ad altre epoche storiche, è caratteristico di questa epoca e correlato a condizioni esterne che sono a loro volta tipiche di questa epoca, come la capacità della comunità dei fisici di persuadere i governi ad utilizzare denaro dei contribuenti per costruire costosissimi acceleratori. Che è una visione diametralmente opposta rispetto a quella tradizionale che tentavamo di riassumere sopra. Ne segue che se si vuole sostanziare l'analisi delle caratteristiche reali della stessa fisica delle particelle elementari, è necessario distaccarsi dai criteri tradizionali e battere nuove strade che permettano il recupero delle caratteristiche complessive e reali della scienza.

Si presentano come naturali due strade da battere: da un lato approfondire lo studio già accennato delle connessioni che, in un dato momento storico, esistono tra la scienza che viene prodotta e l'ambiente esterno (culturale, tecnologico, economico, ecc.); dall'altro il recupero di una più articolata e, al tempo stesso, completa visione storica dell'evolversi della scienza, quale aspetto del tipo di rapporti complessivi che l'uomo stabilisce con la natura.

Ed è chiaro altresì che le due cose sono inestricabilmente legate, non appena si riflette che i rapporti validi in un dato momento sono un prodotto della storia e che, d'altra parte, una storia che non fosse basata sullo studio di tali rapporti rischierebbe di ridiventare una storia "provvidenziale", la cui razionalità rimane (o ritorna ad essere) un fatto metafisico.

L'indurre a questo tipo di riflessioni sulla "storicità" della fisica è uno degli scopi principali che ci proponiamo di raggiungere in questo paragrafo.

Siamo consci del fatto che non sono sufficienti, per questo scopo, le considerazioni che siamo andati svolgendo sulla ricerca attuale in fisica delle alte energie.

D'altra parte non è questo il luogo per affrontare questo problema nella sua generalità, e per ragioni di spazio e per la consapevolezza dei nostri limiti.

5. d. - Brevi considerazioni sullo sviluppo storico della scienza. -

Riteniamo tuttavia utile affrontare alcuni punti che ci paiono di particolare rilevanza, riportando al proposito, se pure in modo inadeguato, considerazioni di autori che si sono occupati di questi argomenti, allo scopo di fornire almeno una guida a riflessioni più approfondite; ciò ci permetterà di trarre alcune indicazioni di carattere generale che ci saranno di grande utilità nel resto della nostra analisi.

Una delle questioni che il nostro tipo di indagini doveva necessariamente lasciare da parte riguarda la scienza nell'antichità e il punto di vista diffuso tra i fisici, cui abbiamo accennato, che non esisterebbe vera scienza fisica prima di Galileo.

Vari autori hanno vigorosamente combattuto questo punto di vista. Citeremo tra questi B. Farrington⁽⁵⁸⁾, il quale ha mostrato quanto di scientifico, nel senso di comprensione della natura attraverso il dominio che l'uomo stabilisce su di essa, vi fosse nella tradizione del pensiero greco. Farrington sottolinea che questo recupero è possibile se ci si mette dal punto di vista secondo il quale in ogni epoca storica l'uomo instaura con la natura un rapporto complessivo che dipende dal tipo di problemi (materiali e concettuali) da cui è pressato e dalla cui soluzione dipende, nel senso più ampio della parola, la sua esistenza; tale rapporto si esplica mediante strumenti (sempre materiali e concettuali) strettamente legati a quelle necessità e a quella base materiale di vita e storicamente determinati e determinabili. Una volta che ci si ponga su questo piano diviene possibile cogliere la scientificità, ad esempio, del linguaggio di Lucrezio o il legame tra le visioni cosmologiche della scuola di Mileto e, addirittura, il livello tecnologico at tinto nelle città joniche dell'Asia Minore.

Se questo è il tipo di legame che dobbiamo cercare tra la scienza che si produce in una certa epoca storica e il contesto storico stesso, è in esso che dobbiamo ricercare anche la ragione, il movente, dell'evoluzione storica della scienza.

E' già stato messo in rilievo⁽⁵⁸⁾ come il disprezzo per il lavoro manuale e le caratteristiche della produzione intellettuale dell'antichità fossero connesse con l'esistenza della schiavitù, l'assenza di pressanti problemi produttivi per la sussistenza materiale della collettività ed una certa concezione della struttura, della dinamica e della funzione della società.

Il mutato rapporto uomo-natura che si stabilisce col Rinascimento e il salto di qualità che indubbiamente la scienza fisica ha compiuto in quell'epoca dovranno, in questa logica, venire ricollegati a fatti economici, sociali e culturali caratteristici di quel periodo storico, contrassegnato dalla spinta emancipatrice della borghesia.

Il problema è ovviamente troppo vasto perché in questa sede si faccia di più che accennarvi di sfuggita.

Un aspetto di questa questione, che ha ricevuto attenzione recentemente e che viene a riprova di quanto detto, concerne il fatto che modalità diverse che contraddistinguono il rapporto complessivo che l'uomo instaura con la natura, in paesi distinti, anche se nel medesimo periodo storico, comportano atteggiamenti metodologici generali degli scienziati totalmente distinti. Ci riferiamo per esempio all'atteggiamento speculativo di Galileo, non direttamente rapportabile al metodo induttivo che la concezione ufficiale tende ad attribuirgli, contrapposto all'interesse pratico per le applicazioni tecnologiche che nell'Inghilterra alle soglie della prima rivoluzione industriale, mostra Bacone⁽⁵⁹⁾ (rimossi i luoghi comuni che hanno accreditato l'immagine ufficiale di un filosofo arretrato e imbevuto, lui stesso, di "idoli").

Il punto di vista complessivo che emerge dalle considerazioni di questo ed altri autori è dunque diametralmente opposto a quello che possiamo chiamare il punto di vista tradizionale degli scienziati: non una scienza che evolve sulla base di una domanda interna, ma una scienza che evolve secondo condizionamenti da parte del complesso e della totalità delle condizioni storiche.

5. e. - Aspetti ideologici e oggettivi nella scienza; la divisione natura-storia. -

E' però necessario ora fare un passo ulteriore. Abbiamo portato una serie di argomentazioni a favore della tesi che la scienza non si sviluppa in base a sole esigenze interne, ma anche in connessione con le condizioni storiche e quindi con le strutture economiche, i rapporti sociali ed il clima culturale. E ciò sia per quanto riguarda scelte di indirizzi che per quanto si riferisce alle caratteristiche metodologiche, agli strumenti materiali, concettuali e alle stesse categorie interpretative. A questo livello potrebbe apparire posta in gioco la stessa oggettività della scienza. Per far chiarezza su questo punto è quindi necessario andare più a fondo sulla natura dei rapporti tra la scienza e le condizioni esterne in cui essa nasce e si sviluppa.

Dobbiamo allora distinguere, almeno schematicamente, due piani: quello che riguarda essenzialmente la scelta degli indirizzi scientifici, delle linee di sviluppo della ricerca, e quindi i suoi contenuti, e quello che riguarda invece il momento della riflessione metodologica, della razionalizzazione degli indirizzi e delle finalità della scienza e della sua stessa metodologia.

Per quanto riguarda il primo aspetto, non crediamo di essere troppo azzardati nel sottolineare i legami, di varia natura del resto, della ricerca attuale col contesto economico e produttivo, anche se un'analisi di questi legami ci trova largamente impreparati e travalica comunque i limiti di questa nota.

Per quanto riguarda il secondo aspetto, noi siamo profondamente convinti del fatto che l'attività intellettuale che si esplica in un contesto storico determinato produce delle forme di coscienza (religione, filosofia, opinione pubblica) che riflettono in realtà i lineamenti tipici di quel contesto. In quanto però tendono a presentarsi come quadri interpretativi complessivi del reale (naturale e sociale) e nella misura in cui un modo storicamente determinato di pensare e di strutturare l'universo del sapere viene presentato come legge oggettiva, esse finiscono per diventare sostegno ideologico, legittimazione della realtà storica in cui si sono sviluppate. In ogni campo o aspetto dell'attività dell'uomo le strutture esistenti finiscono così per venire presentate come leggi naturali necessarie, quindi da accettarsi come tali. Per quanto riguarda le scienze sociali, ciò può comportare la legittimizzazione delle strutture economiche e dei rapporti sociali esistenti. Tipico esempio è quello dell'economia politica classica che finiva, nel "fotografare oggettivamente" la situazione, per considerarla legge immutabile di natura farsi così apologetica dei rapporti di produzione esistenti.

Non diversamente, a nostro avviso, si pone il problema per quanto riguarda quella particolare attività intellettuale che è la riflessione epistemologica, la discussione sugli indirizzi e le finalità della ricerca scientifica.

Abbiamo già colto al § 4 alcuni aspetti relativi a questa problematica, proprio nel campo della fisica moderna. Abbiamo teso ad individuare nell'operazionismo una dottrina che instaura, almeno limitatamente alla fase più recente di evoluzione del metodo della ricerca nel nostro campo, una immagine contraffatta, e quindi ideologica, del tipo di rapporti che nella realtà esistono tra i concetti e le tecniche di misura. Abbiamo sottolineato come l'attività teorica finisca per fornire delle giustificazioni fittizie, e quindi una legittimazione ideologica, alle scelte di fondo operate nell'ambito della fisica sperimentale.

In generale, ci pare si possa dire che la scienza stessa finisca per istituire una immagine ideologica del "mondo della natura", ideologica proprio perché non rispecchia i termini reali che contrassegnano il rapporto complessivo dell'uomo con la natura. Non li rispecchia quando, come negli esempi che abbiamo considerato, diffonde la convinzione che questa scienza sia l'unica possibile e segua il suo cammino indipendentemente dal contesto economico e sociale unicamente per soddisfare la curiosità intellettuale di pochi; non li rispecchia quando, per esempio,

afferma come un dato inoppugnabile che l'unica scienza medica è quella che prescrive i farmaci spaccafegato (a cui accompagnare, ovviamente, una buona cura per il fegato stesso), senza indagare se, per caso, molte malattie non potrebbero essere prevenute con una diversa igiene sociale complessiva, e così via.

In luogo di una visione complessiva del rapporto uomo-natura si ha, in questo modo, una serie di punti di vista parziali, che danno di questo rapporto una visione deformata. Non potendosi allora cogliere questo nesso complessivo, si finisce per legittimare ogni aspetto proprio in quanto, mancando una visione globale alternativa, ogni aspetto ci appare come completamente necessario.

E' questo meccanismo che sta alla base della visione "scientista" della neutralità della scienza: la scienza è in grado di risolvere qualunque problema, è di per sé progressiva ed è neutrale per quanto riguarda qualsiasi implicazione filosofica, religiosa o politica, proprio perché essa ci appare, nelle sue attuali connotazioni storiche, come l'unica possibile.

A questo punto riteniamo necessario, a costo di spezzare il discorso, spendere qualche parola per eliminare un possibile equivoco e per precisare un punto importantissimo. Le considerazioni precedenti, come dicevamo, potrebbero far pensare che noi contestiamo l'oggettività della scienza. In realtà noi non stiamo affatto negando il suo contenuto oggettivo. Piuttosto contestiamo la concezione di una oggettività intesa come rispecchiamento di una realtà immutabile da ogni condizionamento. Il contenuto di oggettività, che è innegabile, dato per esempio il potere pratico che corrisponde alle concezioni scientifiche, è inscindibile dagli atteggiamenti pratici propri dell'uomo e del rapporto complessivo che egli stabilisce con la natura in una data epoca storica, dalle necessità pratiche e dal condizionamento da parte della base materiale di esistenza. Senza addentrarci in questa sede in questa problematica, che richiederebbe un'analisi di ben altre dimensioni, riteniamo opportuno riportare le seguenti considerazioni di Planck⁽⁶⁰⁾ sulla filosofia di Mach:

"Così, proprio all'inizio della discussione della mia esposizione termodinamica, Mach afferma che "l'economia di pensiero non è per questo limitata e legata nei suoi fini alla ricerca di bisogni economici pratici umani". Ora questo è qualcosa di completamente diverso da quello che era stato detto prima. L'economia di pensiero nei suoi fini non è legata ai bisogni pratici umani! Già, a quali altri bisogni allora? I fini dell'economia di pensiero sono dedotti, o sono da dedurre proprio dalla prassi della vita ...

In breve, la cosa è questa: la scienza fisica, come ognuno riconosce, è nata dai bisogni pratici umani; dunque, conclude Mach, la conoscenza fisica è in fondo di natura economica ...

Ora non si può impedire a nessuno di definire un concetto, come egli preferisce. Ma non è possibile, prima rappresentare il principio dell'economia come un trionfo contro la metafisica con l'appello esplicito al suo significato pratico umano, e poi in seguito, quando la cosa così non va più, negare di nuovo esplicitamente l'aspetto pratico umano dell'economia. Con questo concetto malleabile dell'economia naturalmente si può far tutto, o piuttosto, non si può affatto far nulla di determinato. Ma in ogni caso, Mach, usando ormai la definizione ampliata di economia, non può più sostenere, che con l'introduzione di questa idea ha liberato la conoscenza fisica da ogni elemento metafisico, almeno finché egli fa uso della sua propria definizione, in cui sono tali idee metafisiche, delle quali si è dimenticato, come ci si è giunti".

Come si vede, Planck trova Mach in contraddizione con sé stesso quando stacca l'economia di pensiero dai bisogni economici pratici, avendo lo stesso Mach precedentemente affermato che la scienza fisica è nata dai bisogni pratici umani (e, fra l'altro, "rappresentando il principio dell'economia come un trionfo contro la metafisica").

L'affermazione che la scienza fisica è in fondo di natura economica presenta qualche assonanza con la concezione idealistica crociana delle scienze della natura, come ispirate all'utile e quindi prive di valore conoscitivo; ma proprio qui sta la differenza di fondo col punto di vista nostro e anche degli autori che abbiamo testé citato: che noi non riteniamo affatto che l'economico e l'utile siano disdicevoli al vero conoscere, ma caso mai esattamente il contrario.

E' da questo punto di vista, che riduce tutta la scienza a pseudo-concetti estranei al campo del vero conoscere, che si è operato, nel campo "umanistico", nel senso di approfondire la frattura tra quelle che sono state chiamate le due culture.

Ed è ancora da punto di vista di chi rifiuta di cogliere il profondo legame tra il momento economico e quello culturale nella storia dell'uomo che si approda alla più completa giustificazione ideologica del presente, in quanto esso appare come risultato di un lungo processo puramente "ideale" e come tale necessario. La storia passata si presenta cioè come semplice anticipazione del presente (ed abbiamo già notato come ciò avvenga anche nell'ordinaria concezione dello sviluppo scientifico) e il sistema attuale è occultato nel suo reale movimento, nella sua base concreta, e sostanzialmente confermato nella sua apparente razionalità.

Paradossalmente, ma non troppo, hanno finito per operare nello stesso senso, sia nel senso di produrre il divorzio tra le due culture, sia nel senso di impedire di cogliere la "storicità" delle realizzazioni scientifiche, quegli indirizzi di pensiero "scientisti", legati al neopositivismo, che rifiutano di confrontarsi con la storia come oggetto di conoscenza. Si attua così una artificiosa ma netta separazione tra "mondo della natura", sede di fenomeni esterni ed immutabili, retti da rapporti causali e quindi conoscibili, e "mondo della storia". Il secondo viene poi svuotato della sua base reale, delle regioni profonde e materiali della sua dinamica, venendo tutto ciò ricondotto al mondo della natura; esso diventa quindi un mondo caratterizzato da fluttuazioni incontrollabili che sfugge quasi totalmente alla possibilità di una interpretazione razionale. Esiste quindi una sola vera conoscenza, quella che è propria delle scienze della natura, conseguibile attraverso il metodo galileiano, e al di fuori di questa non c'è che un mare di opinioni, col quale non val la pena di contaminarsi. Ne rimane quindi una storia ridotta a storia di volontà individuali (di guerre, diplomazie, stati, ecc.) e di forme culturali, che paiono nascere da e sul nulla e fallire sempre il bersaglio di risolvere i grandi problemi filosofici.

Non è un caso che questa scissione, il divorzio fra le "due culture"⁽⁶¹⁾, sia nata con il sorgere e lo svilupparsi delle scienze naturali moderne, strettamente intrecciati, a partire dal Rinascimento, con la crescita dell'industria. Tanto è vero che l'organizzazione scientifica continua a riflettere quella del mondo della produzione. E' stato osservato^(42, 62) come la divisione tra attività scientifica sperimentale e teorica e la nascita della fisica teorica, processi cui accennavamo nel § 4, si istituzionalizzino in un periodo storico in cui le strutture produttive passano dall'industria manifatturiera alla grande industria moderna caratterizzata dal progresso tecnologico e dall'automazione.

5.f. - Come si stabilisce un controllo esterno sulla scienza e sulla sua organizzazione. -

Ma, a questo proposito, va ripresa anche la nostra osservazione, fatta più volte in precedenza, che il modo stesso di produrre scienza viene mutando parallelamente e radicalmente. La ricerca cessa di essere condotta da individui isolati (che nei primi tempi addirittura si autofinanziano), ma viene coordinata e autorizzata su scala più vasta; corrispondentemente gli scienziati tendono a divenire sempre più dei super-specialisti (che, al limite, verrebbero a saper "tutto" su un campo così ristretto da ridursi a "niente"); la produzione cartacea aumenta esponenzialmente; partono le grandi imprese nelle quali la ricerca usa per la prima volta ingenti capitali.

In una parola, la scienza e la ricerca ubbidiscono sempre di più ad una dinamica esterna che sfugge al loro controllo. E sfugge al loro controllo in primo luogo perché non fa parte delle competenze degli addetti ai lavori anche esercitare un controllo sulle funzioni e sulle finalità della loro ricerca; e, in sostanza, perché, spogliata di quelle parvenze di autonomia e inventiva, di libera espressione della volontà individuale che restano, più come illusione che come realtà, nel lavoro di ricerca, col medesimo meccanismo che già ha sanzionato la separazione tra "natura" e "storia", questa dinamica si configura come necessaria e oggettiva.

Le competenze e la cultura tecnica e scientifica portano così il marchio di una divisione sociale del lavoro che nega a tutti i lavoratori, compresi gli intellettuali, una reale comprensione della funzione e, soprattutto dei fini, della loro opera.

La corporazione dei fisici, chiusa in sé stessa, ha l'illusione di poter auto-giudicare della validità del proprio lavoro; e l'ulteriore illusione che i finanziamenti che riceve dai governi provengano dalla stima in cui questi tengono quell'autogiudizio.

Non a caso questa società ha relegato artificialmente i ricercatori ad occuparsi del "mondo della natura" privandoli delle competenze necessarie a comprendere l'altra enorme fetta della realtà nella quale, malgrado tutto, essi sono immersi e che rimane una componente essenziale, anche se, appunto, occulta, del tipo di rapporto che il ricercatore come uomo di un determinato periodo storico ha con la realtà nel suo complesso. In questo modo l'operatore scientifico, ancora convinto della piena validità e della neutralità della propria produzione, non riesce a prendere coscienza del fatto che essa è, o direttamente per il suo uso, o indirettamente per il complesso di fattori che mette in moto, funzionale a determinati interessi e strutture.

Né è in grado di "pensare" una scienza volta a diversi fini culturali e sociali; e ciò non solo e non tanto per insensibilità o disinteresse, ma perché si è già compiuta su di lui una espropriazione delle competenze necessarie. D'altra parte la prospettiva di una diversa finalizzazione della propria attività gli è preclusa anche da una barriera linguistica: il linguaggio chiuso delle specializzazioni scientifiche non ha quasi più legami con la cultura della generalità degli uomini.

Possiamo chiudere qui il nostro discorso, dato l'ambito in cui, per una scelta iniziale, abbiamo voluto contenerlo.

E già ci pare che, sulla base di queste considerazioni finali, si possa pervenire a guardare alla problematica che abbiamo affrontato sotto un angolo visuale più ampio, ponendosi cioè il problema del rapporto complessivo tra scienza e società umana.

Certo un ben altro discorso sarebbe necessario su questo tema: non è esagerato dire che sull'alternativa tra una scienza che miri all'emancipazione dell'uomo dal bisogno, dalla fatica, dalla malattia e una scienza tutta volta a fini di profitto o di spreco si giocano oggi i destini dell'umanità.

Rimandiamo alla relazione di Cini al citato convegno di Firenze⁽⁵²⁾ per una lucida analisi di "quanto sia artificioso isolare il rapporto uomo-natura dai rapporti sociali fra gli uomini", e di come "siano strettamente connessi il processo di appropriazione e di utilizzazione della natura da parte dell'uomo, e il modo in cui gli uomini entrano in rapporto fra loro per produrre tutto ciò che è necessario alla vita sociale".

Per parte nostra riterremmo di avere in larga misura raggiunto il fine che ci eravamo proposti se fossimo riusciti a portare un contributo all'avvio di un processo di riflessione in colleghi non così aperti a questa tematica come quelli che parteciparono a quel convegno, anche e soprattutto sull'ultimo punto toccato, vale a dire quello della necessità di riportare alla domanda sociale lo sviluppo della ricerca e della scienza.

RINGRAZIAMENTI. -

Ringraziamo S. Bragaglia e O. Baglioni per la collaborazione dataci nella battitura del manoscritto e nella realizzazione dei lucidi delle figure.

BIBLIOGRAFIA E NOTE. -

- (1) - F. Selleri, Bollettino SIF, 75, 13 (1970).
- (2) - E. Fabri, Bollettino SIF 77, 8 (1971).
- (3) - P. Guidoni, Relazione generale al LVI Congresso della SIF, Venezia (1970); Abbiamo avuto in seguito ampie discussioni con l'autore.
- (4) - J. D. Jackson, Proc. Intern. Conf. on Elementary Particles, Lund (1969), p. 105.
- (5) - Qui e nel seguito faremo un uso poco rigoroso di termini come "modello", "teoria", ecc. Siamo consci, anche se non competenti, delle profonde trasformazioni che si sono storicamente verificate circa il significato e lo stesso uso metodologico dei "modelli" nella fisica. Pensiamo tuttavia che, appellandoci al buon senso del lettore, l'uso anche approssimativo dei termini, come pure la non rigorosa distinzione tra "teorie" e "modelli", non nuocciano nel presente contesto alla comprensione della sostanza delle nostre considerazioni.
- (6) - A. Baracca e S. Bergia, Difficoltà nell'analisi dei processi di produzione a bassa energia e nella trattazione "model-independent" delle ampiezze a quasi-due-corpi, Rapporto INFN/AE-72/1 (1972).
- (7) - A. Baracca and S. Bergia, Bollettino SIF 82, 19 (1971).
- (8) - Particle Data Group, Rev. Mod. Phys. 43, (1971).
- (9) - M. Ferro-Luzzi, Survey of Y^* parameters below 2.2 GeV, CERN/D. Ph. II-K⁻ Group, Int. 71-1 (1971).
- (10) - L. Van Hove, Physics Reports 1C, 347 (1971).
- (11) - M. Ferro-Luzzi, Strong Interactions at Low Energy. CERN/D. Ph. II/Phys. 71-9 (1971).
- (12) - N. Masuda, Phys. Rev. 1D, 2565 (1970); cf. anche Ref. (4).
- (13) - B. Conforto et al., Nuclear Phys. B3, 469 (1967).
- (14) - R. N. Diamond et al., Proc. Boulder Conference, (1969).
- (15) - P. Anninos et al., Phys. Rev. Letters 20, 402 (1968).
- (16) - R. W. Bland et al., Phys. Rev. Letters 17, 939 (1966); R. W. Bland et al., Nuclear Phys. B13, 595 (1969) e B18, 537 (1970).
- (17) - L. D. Jacobs, Tesi, Berkeley, UCRL-16877 (1966).
- (18) - M. De Beer, Nuclear Phys. B12, 599 (1969).
- (19) - Baud et al., Proc. 1970 Philadelphia Conference (1970).
- (20) - G. P. Yost et al., Observation of a 7π enhancement at 3.01 GeV, Florida State University preprint FSU, HEP, 70-12-14 (1970).
- (21) - R. Gatto, Theoretical aspects of colliding beams experiments, Springer Tracts in Modern Physics 39, 106 (1965).
- (22) - S. Bergia, J. A. Mignaco and J. Oberholzer, Lett. Nuovo Cimento 1, 279 (1969).
- (23) - G. Källén, Proc. Intern. Conf. on Particles and Fields, Rochester (1967), p. 179.
- (24) - P. Roman, Introduction to Quantum Field Theory (Wiley and Sons, Inc., 1969).
- (25) - L. Van Hove, citato da G. Giacomelli in, "Fisica delle Interazioni Forti. Situazione attuale e prospettive per il futuro", Rapporto INFN/AE-71/1 (1971).
- (26) - C. H. Peyrou, Proc. Aix-en-Provence Intern. Conf. on Elementary Particles, (1961), p. 103.
- (27) - Per uno scrupolo di precisione, riportiamo tuttavia le motivazioni che Drell vedeva nel 1962:

"In the classical diffraction treatment of scattering from an absorbing disk of fixed radius R , the total cross section $\sigma_t(s)$ is a constant independent of energy s so that the diffraction pattern has a constant width.... Gribov in 1960 first pointed out that such a form was inconsistent with the analyticity requirements of the Mandelstam representation and with unitarity. More compellingly the very beautiful p-p scattering experiments at CERN during this past year have definitely established a contradiction with this behaviour. The total cross section is measured to be constant $\sigma_t \simeq 40$ mb from 10-28 GeV, but the diffraction peak narrows logarithmically with increasing s".

(S. D. Drell, Proc. Intern. Conf. on High Energy Physics, CERN, 1962, p. 898).
- (28) - Y. Ne'eman, in "Spectroscopic and Group Theoretical Methods in Physics" (North Holland, 1968), p. 346.
- (29) - S. J. Lindenbaum, Proc. Oxford Intern. Conf. on Elementary Particles (1965), p. 122.
- (30) - O. Guisan, Proc. of Rencontre de Moriond sur les Interactions Electromagnétiques, (1971).
- (31) - M. Holder et al., Phys. Letters 35B, 355 (1971).
- (32) - F. Zachariasen, Physics Reports 2C, 1 (1971).
- (33) - R. P. Feynman, Proc. Aix-en-Provence Intern. Conf. on Elementary Particles (1961), p. 205.
- (34) - J. D. Bjorkén, Proc. Conf. on Expectations for Particles Reactions at the New Accelerators, Wisconsin (1970).
- (35) - D. R. O. Morrison, Proc. Int. Conf. on Elementary Particles, Lund (1969), p. 25.
- (36) - K. R. Popper, Lo scopo della scienza, in Scienza e Filosofia, Milano (1969), pp. 52 e segg.
- (37) - R. Carnap, I fondamenti filosofici della fisica (trad. it. Milano, 1971), pp. 24-29.

- (38) - L. Van Hove, *Physics Reports* 1C, 347 (1971).
- (39) - J. J. Sakurai, *High Energy Physics in the Seventies*, Stanford preprint, (1971).
- (40) - H. Harari, *Duality and Hadron Dynamics*, lezioni alla Brookhaven Summer School, (1969).
- (41) - Dopo aver enumerato 17 problemi di natura fondamentale riguardanti i quarks (massa, spin, carica, ampiezza di scattering quark-quark, ...), Lipkin afferma:

"Any detailed dynamical quark model for hadrons must choose answers to any of these questions and probably to many more. There is no a priori correct answer to any of these questions. Each has at least two possible answers and usually many more. But even with 15 questions, each of which has only two possible answers, taking all possible answers to these questions gives $2^{15} = 32,768$ models. Any of these models has an equal a priori probability of being right. Thus a specific model which chooses one definite answer to each question has an a priori probability of less than 2^{-15} of being correct. A year spent in working on such a model is not a profitable way to do physics".

("Quarks for pedestrians", Weizmann Institute, preprint, 1971).

- (42) - Molte delle considerazioni che seguono sono tratte dalle Tesi di Laurea di C. Tarsitani e S. Petruccioli (Roma, 1970 e 1971). Vedi pure di C. Tarsitani un lavoro su Hertz in corso di pubblicazione).
- (43) - Vedi, per esempio, J. C. Slater, "Quantum Theory of Atomic Structure", (McGraw-Hill), Vol. I, pp. 234 e segg.
- (44) - R. Carnap, loc. cit., pp. 92, 133.
- (45) - Ringraziamo P. Butera per una breve discussione su questo punto. Egli ci ha obiettato che questa situazione è comune a tutti i tipi di misure, non esclusi i più semplici. Ci sembra opportuno comunque precisare che sussiste, a nostro parere, una differenza. Rifacendoci, per pura esigenza di concisione, all'esposizione di un neopositivista⁽⁴⁴⁾, osserviamo che in effetti per la misura, poniamo, del tempo si pone il problema di scegliere un fenomeno periodico, mentre d'altra parte non si può dire se un fenomeno è regolare o irregolare se non si possiede già un metodo per determinare l'uguaglianza degli intervalli di tempo. Per uscire da questa situazione contraddittoria, sempre secondo Carnap, si sceglie allora un fenomeno periodico "qualsiasi" che serve comunque come base per una "misura", cioè per determinare se un fenomeno periodico è equivalente ad un altro; e si constata a posteriori che in natura vi è una classe molto ampia di fenomeni periodici che sono tra loro equivalenti.

Ebbene ci sembra che questa schematizzazione sia troppo semplicistica per inquadrare le caratteristiche contraddittorie, tautologiche o ambigue dell'analisi di un diagramma di Dalitz, come discussa nel lavoro precedente⁽⁶⁾.

- (46) - G. Chew, Proc. Intern. Conf. on High Energy Physics, CERN (1962), p. 912.
- (47) - Vedi, per esempio: S. D. Drell, Important problems and questions for the new accelerators, Proc. Conf. on Expectations for Particle Reactions at the New Accelerators, Wisconsin, (1970); vedi anche: J. V. Allaby, Serpukov-CERN experiments, *ivi*; V. Barger and R. J. N. Phillips, Phys. Rev. Letters 24, 291 (1970).
- (48) - S. D. Drell, Proc. Aix-en-Provence Intern. Conf. on Elementary Particles (1961), p. 125.
- (49) - V. F. Weisskopf, (reported by A. P. Banford), Proc. Oxford Intern. Conf. on High Energy Physics (1966), p. 14.
- (50) - V. Barger and W. D. Walker, Comments in Nucl. and Part. Phys. 4, 127 (1970).
- (51) - H. Poincaré, Il valore della scienza, (La Nuova Italia, Firenze, 1947), p. 23.
- (52) - In: La Scienza nella Società Capitalistica, (De Donato, Bari, 1971).
- (53) - T. S. Kuhn, La Struttura delle Rivoluzioni Scientifiche, (Einaudi, 1969).
- (54) - M. Planck, Autobiografia Scientifica, (Einaudi, 1956), p. 22.
- (55) - T. S. Kuhn et al., Sources for History of Quantum Physics, and inventory and report, (The American Philosophical Society, Philadelphia, 1967).
- (56) - B. D'Espagnat, Conceptions de la Physique Contemporaine, (Hermann, 1965).
- (57) - P. Rossi, Aspetti della Rivoluzione Scientifica (Morano, 1971).
- (58) - B. Farrington, Lavoro Intellettuale e Lavoro Manuale nella Antica Grecia, (Feltrinelli, 1970).
- (59) - P. Rossi, Francesco Bacone, dalla Magia alla Scienza, (Laterza, 1959); B. Farrington, Francesco Bacone Filosofo dell'Età Industriale, (Einaudi, 1962).
- (60) - M. Planck, Phys. Zeits. 10, 62 (1909); trad. it. in: Planck, Scienza, Filosofia e Religione, (Fratelli Fabbri Editori), pp. 168-69.

- (61) - Nell'invitare i fisici a compiere un tentativo di colmare questo abisso tra le due culture, non a caso Geymonat (L. Geymonat in: Conferenze di fisica, dai corsi di aggiornamento per gli insegnanti delle scuole secondarie, a cura del M. P. I. e del Museo della Scienza e della Tecnica di Milano, Feltrinelli) alcuni anni fa indicava come strada giusta quella che mira a recuperare una più articolata visione storica dell'evolversi della scienza fisica ed enucleava, fra gli elementi da considerare a questo fine, "il rapporto reciproco tra scienza e filosofia e tra scienza e tecnologia", mentre sottolineava "l'ampliamento introdotto nell'esperienza dall'uso di nuovi strumenti d'osservazione", che "... pone in luce il carattere relativo del concetto di "dato fisico" (in senso lato), che risulta dipendere in modo essenziale dalle tecniche usate per osservare la natura".
- (62) - A. Baracca e C. De Marzo, *Giornale di Fisica*, in corso di pubblicazione.