

CBPF-CS-009/88

RICORDO DI ETTORE MAJORANA A CINQUANT'ANNI DALLA SUA
SCOMPARSA (L'OPERA SCIENTIFICA EDITA E INEDITA)*

di

Erasmus RECAMI¹

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF/CNPq
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

¹ Departamento de Matemática Aplicada, Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP, Brasil; e Gruppo Nazionale di Storia della Fisica, Unità di Catania, Catania, Italia.

*Work partially supported by FAP-UNICAMP, by IBM-do-Brasil, by FAPESP, and by INFN-Sez. di Catania, MPI and CNR. In questa commemorazione di Ettore Majorana, scienziato e uomo, ricorreremo a parte del materiale da noi preparato per opere più vaste, apparse nel 1987 in Italia. Si ringrazia in particolare la casa editrice "Bibliopolis" (Napoli) per avere acconsentito a tale ricorso (cfr: "Ettore Majorana - Lezioni all'Università di Napoli"; Bibliopolis; Napoli, ottobre 1987).

Riassunto - Ettore Majorana, il piú brillante fisico teorico italiano di questo secolo (fu paragonato, da Enrico Fermi, a Galileo e Newton), scomparve misteriosamente da Napoli cinquant'anni or sono, nel 1938, all'età di trentun anni. Nella prima parte di questo lavoro se ne tratteggia la personalità scientifica (sulla base di lettere, documenti, testimonianze da noi raccolti in vent'anni) e il significato delle sue pubblicazioni. Nella seconda parte di quest'opera si presenta il Catalogo dei manoscritti scientifici inediti lasciati da E.Majorana (catalogo redatto da M.Baldo, R.Mignani e E.Recami).

CAPITOLO I9:

=====

ETTORE MAJORANA: LO SCIENZIATO E L'UOMO.

=====

Chissà quanti sono come me, nelle mie stesse condizioni, fratelli miei. Si lascia il cappello e la giacca, con una lettera in tasca, sul parapetto d'un ponte, su un fiume; e poi, invece di buttarsi giù, si va via tranquillamente in America o altrove.

L. Pirandello ("Il fu Mattia Pascal", 1904)

I - LA FAMA

=====

1.1. Genialità

La fama di Ettore Majorana, ovvia per gli specialisti, può solidamente appoggiarsi anche a testimonianze come la seguente, dovuta alla memore penna di Giuseppe Cocconi. Invitato da Edoardo Amaldi⁽¹⁾, dal CERN gli scrive:

<<Ginevra, 1965 Luglio 18 - Caro Amaldi, In una discussione che si ebbe tempo fa sul libro: [poi edito dall'Accademia dei Lincei] che stai scrivendo su Ettore Majorana, ti dissi come io pure ebbi un tenue contatto con Majorana poco prima della sua fine. Tu esprimesti allora il desiderio che ti descrivessi con maggiore dettaglio il mio ricordo, e qui cerco di accontentarti.

Nel gennaio 1938, appena laureato, mi fu offerto, essenzialmente da te, di venire a Roma per sei mesi nell'Istituto di Fisica dell'Università come assistente incaricato, ed una volta lì ebbi la fortuna di unirmi a Fermi, Bernardini (che aveva avuto una Cattedra a Camerino pochi mesi prima) ed Ageno (lui pure giovane laureato), nella ricerca dei prodotti di disintegrazione dei "me

soni" mu (allora chiamati mesotroni ed anche yukoni) prodotti dai raggi cosmici. L'esistenza dei "mesoni" mu era stata proposta circa un anno prima, ed il problema del loro decadimento era già molto attuale.

Fu proprio mentre mi trovavo con Fermi nella piccola officina del secondo piano, intenti lui a lavorare al tornio un pezzo della camera di Wilson che doveva servire a rivelare i mesoni in fine range, io a costruire un trabiccolo per l'illuminazione della camera, utilizzando il flash prodotto dall'esplosione di una fettuccia di alluminio cortocircuitata su una batteria, che Ettore Majorana venne in cerca di Fermi. Gli fui presentato e scambiammo poche parole. Una faccia scura. E fu tutto lì. Un episodio dimenticabile se dopo poche settimane, mentre ero ancora con Fermi nella medesima officinetta, non fosse arrivata la notizia della scomparsa da Napoli del Majorana. Mi ricordo che Fermi si dette da fare telefonando da varie parti sinché, dopo alcuni giorni, si ebbe l'impressione che non lo si sarebbe ritrovato più.

Fu allora che Fermi, cercando di farmi capire che cosa significasse tale perdita, si esprime in modo alquanto insolito, lui che era così serenamente severo quando si trattava di giudicare il prossimo. Ed a questo punto vorrei ripetere le sue parole, così come da allora me le sento risuonare nella memoria: "Perché, vede, al mondo ci sono varie categorie di scienziati; gente di secondo e terzo rango, che fan del loro meglio ma non vanno molto lontano. C'è anche gente di primo rango, che arriva a scoperte di grande importanza, fondamentali per lo sviluppo della scienza (e qui ho netta l'impressione che in quella categoria volesse mettere se stesso). Ma poi ci sono i geni, come Galileo e Newton. Ebbene, Ettore era uno di quelli. Majorana aveva quel che nessun altro al mondo ha; sfortunatamente gli mancava quel che invece è comune trovare negli altri uomini, il semplice buon senso".

Spero che queste mie righe ti dicano quanto desideravi. Cordiali saluti,
Giuseppe Cocconi>>.

"Il semplice buon senso"; noi preferiremmo dire il senso comune; il quale non è detto sia sempre buono, o il migliore.

Enrico Fermi⁽²⁾ si esprime in maniera insolita anche in un'altra occasione, il 27 luglio 1938 (dopo la scomparsa di Majorana, avvenuta il sabato 26 marzo 1938), scrivendo da Roma al primo ministro

(1) Il primo storico di Ettore Majorana. Si vedano di E. Amaldi: La vita e l'opera di E. Majorana (Accad. Naz. dei Lincei; Roma, 1966); "Ricordo di Ettore Majorana", Giornale di Fisica 9(1968)300; "Ettore Majorana: Man and Scientist", in Strong and Weak Interactions, a cura di A. Zichichi (New York, 1966); "From the discovery of the neutron to the discovery of nuclear fission", Phys. Reports 111(1984)1-322; "I miei giorni con Fermi", in La Repubblica, Supplemento al n. 285 del 31.12.86 (Roma).

(2) Uno dei maggiori fisici della nostra epoca. Per quello che ha fatto nel 1942 a Chicago (con la costruzione della prima "pila atomica") il suo nome diverrà forse leggendario come quello di Prometeo.

Mussolini onde chiedere una intensificazione delle ricerche di Ettore: «Io non esito a dichiararVi, e non lo dico quale espressione iperbolica, che fra tutti gli studiosi italiani e stranieri che ho avuto occasione di avvicinare il Majorana è fra tutti quello che per profondità di ingegno mi ha maggiormente colpito».

Il mito della "scomparsa" ha contribuito a dare a Majorana, quindi, null'altro che la notorietà che gli spettava, per essere egli davvero un genio: e di una genialità precorritrice dei tempi. Anzi, così come avviene quando è vera, la sua fama è cresciuta e cresce col tempo, anche tra i colleghi. Da una decina d'anni è esplosa: e una elevata percentuale di pubblicazioni scientifiche nel mondo (in alcuni settori della fisica delle particelle elementari) contiene ora il suo nome nel titolo.

Enrico Fermi è stato forse uno degli ultimi —e straordinari— esempi di grande teorico e contemporaneamente di grande sperimentale. Majorana era invece un teorico puro, anzi (per dirla con le stesse parole di Fermi, nel prosieguo del suo scritto a Mussolini) Ettore aveva al massimo grado quel raro complesso di attitudini che formano il fisico teorico di gran classe. Ettore "portava" la scienza, come ha detto Leonardo Sciascia: portava, anzi, la fisica teorica. Non era inferiore a un Wigner [premio Nobel 1963] o a un Weyl: i quali, per il loro rigore fisico-matematico, erano forse gli unici per i quali Ettore nutrì ammirazione senza riserve.

Da un lato, quindi, non aveva alcuna propensione per le attività sperimentali (neanche costretto, per intenderci, avrebbe mai potuto recare contributi concreti a progetti come quello della costruzione tecnologica della bomba atomica). Dall'altro lato, però, sapeva calarsi a profondità insuperate nella sostanza dei fenomeni fisici, leggendovi eleganti simmetrie e nuove potenti strutture matematiche, o scoprendovi raffinate leggi. La sua acutezza lo portava a vedere al di là dei colleghi: ad essere cioè un pioniere. Perfino i suoi appunti di studio —redatti in circa un anno a partire dagli inizi del 1928, quando egli passò dagli studi di ingegneria a quelli di fisica— sono un modello non solo di ordine, divisi come sono in argomenti e persino muniti di indici, ma anche di originalità, scelta dell'essenziale, e sinteticità. Tanto che questi quaderni, noti come i volumetti, potrebbero essere riprodotti fotogra-

ficamente e pubblicati così come si trovano, in modo analogo a quanto qui si sta facendo per i suoi appunti di lezione e a quanto fece la Chicago University Press per gli appunti di meccanica quantistica di Enrico Fermi; e costituirebbero un ottimo testo moderno (dopo oltre cinquant'anni!) di Istituzioni di fisica teorica.

Ricordiamo che Majorana, passato a fisica agli inizi del '28, si laureò⁽³⁾ con Fermi il 6 luglio 1929; e conseguì la libera docenza in fisica teorica il 12 novembre 1932.

1.2. Da Galileo a Fermi

Per dare un'idea di cosa abbia significato per la cultura e la scienza italiane l'attività romana di Fermi e del suo gruppo (con questo senza dimenticare la contemporanea attività di altri gruppi, in primis quello di Firenze), ricordiamo che la fisica italiana già una volta aveva conquistato una posizione di eccellenza a livello internazionale: con Galileo. Ma la condanna da parte della Chiesa (22 luglio 1633) — che, considerati i tempi, non ebbe in fondo conseguenze molto gravi per Galileo — risultò disastrosa per la "scuola" galileiana, la quale avrebbe potuto continuare ad essere la prima del mondo. Il vasto e promettente movimento scientifico creato dal Galilei venne colpito alla radice dalla condanna del maestro; così che la scienza si trasferì al di là delle Alpi. John Milton, ricordando una visita fatta, a suo dire, al "celebre Galileo, oramai vegliardo e prigioniero dell'Inquisizione" (Galileo morì nel 1642), riassunse magistralmente la situazione, annotando nel 1644 che <lo stato di servitù, in cui la scienza era stata ridotta nella loro patria, era la cagione per cui lo spirito italiano, così vivo un giorno, si era ormai spento; e da molti anni tutto ciò che si scriveva non era che adulazione e banalità>.

Devono poi passare quasi due secoli prima che si riveli un altro grande fisico, Volta. Alessandro Volta genera un filone di ricerche le quali portano alle applicazioni prevalentemente tecnolo-

⁽³⁾ Tra i membri della commissione di laurea ricordiamo Corbino, Fermi, Volterra, Levi-Civita, Lo Surdo, Armellini e Trabacchi. Le votazioni riportate da Ettore durante gli studi erano state: Geometria analitica e proiettiva, Meccanica razionale, Fisica superiore, Fisica matematica, Fisica terrestre: trenta su trenta e lode; Analisi algebrica, Geometria descrittiva, Fisica sperimentale, Esercizi di fisica: trenta; Chimica applicata: ventotto e mezzo; Chimica generale, Analisi infinitesimale: ventisette.

giche di Antonio Pacinotti, Galileo Ferraris e Augusto Righi e, più tardi, a quelle di Guglielmo Marconi. Ma non ne deriva una vera "scuola", tanto che alla fine del 1926, quando Fermi ottiene la cattedra di fisica teorica a Roma, l'Italia certo non emerge nel mondo per la fisica.

E' solo Fermi che, ben tre secoli dopo Galileo, riesce a generare di nuovo un esteso e moderno movimento in seno alle scienze fisiche italiane. Ad esempio l'articolo di Fermi che dà avvio alla teoria delle interazioni deboli (coronata dopo cinquant'anni, nel 1983, dalle scoperte di Carlo Rubbia [premio Nobel 1984] e collaboratori) esce nel 1933: esattamente trecento anni dopo la condanna definitiva della teoria galileiana.

1.3. Il gruppo di Roma

La rinascita della fisica italiana non avrebbe avuto luogo, forse, senza l'intervento di Orso Mario Corbino, siciliano, laureato in fisica a Palermo, professore prima a Messina e poi a Roma, dal 1918 direttore dell'Istituto di fisica di via Panisperna. Nel 1920 era stato nominato senatore e l'anno seguente Ministro della pubblica istruzione. Ricorda Amaldi:

<<Quando Fermi, nell'autunno 1926, iniziava a 25 anni la sua attività di professore di Fisica Teorica a Roma, aveva già un nome internazionale anche se non mancavano nelle diverse università italiane alcuni professori di vecchio stile, che stentavano o addirittura non volevano riconoscere il suo valore.

L'intesa con O.M. Corbino era invece perfetta. Bisognava approfittare della situazione e far nascere una scuola di fisica moderna. Come prima cosa Franco Rasetti fu chiamato da Firenze a Roma, dove prese il posto di aiuto di Corbino, lasciato libero da Persico che si era trasferito a Firenze.

L'abilità sperimentale di Rasetti completava notevolmente quella di Fermi, che a quell'epoca rivolgeva quasi tutte le sue energie alla fisica teorica. Circa due anni dopo Corbino, coadiuvato da Fermi e da vari illustri e lungimiranti matematici [G. Castelnuovo, F. Enriques, T. Levi-Civita, ...], riuscì a creare presso la Facoltà di Scienze di Roma una cattedra di spettroscopia a cui fu chiamato Rasetti.

Creato così un gruppo veramente notevole di docenti giovani, attivi in fisica moderna e di grande valore, Corbino, Fermi e Rasetti si adoperarono per raccogliere alcuni allievi. Corbino, per esempio, rivolse un appello agli studenti durante una lezione dicendo che con la chiamata di Fermi a Roma e nella situazione di fermento di idee, che esisteva ormai in tutta Europa nel campo della Fisica, si apriva, a suo giudizio, un periodo del tutto eccezionale per i giovani che avevano già cominciato a dare prova di essere sufficientemente dotati e che si sentivano disposti ad intraprendere uno sforzo non comune di studio e di lavoro teorico e sperimentale. Fu co-

si che negli anni successivi all'Istituto di Fisica, a via Panis-
sperna 89A, si formò una vera e propria scuola di fisica moderna.

Fra gli allievi teorici qui ricorderò, in ordine di ingresso in
Istituto: Ettore Majorana, Gian Carlo Wick, Giulio Racah, Giovan-
ni Gentile jr., Ugo Fano, Bruno Ferretti e Piero Caldirola, l'ul-
timo dei quali giunse a Roma da Pavia poco prima che Fermi lasciasse
l'Italia nel dicembre del 1938.

Gli allievi nel campo sperimentale furono: Emilio Segrè, Edo-
ardo Amaldi, Bruno Pontecorvo, Eugenio Fubini, Mario Ageno e Giu-
seppe Cocconi, il quale giunse a Roma da Milano circa un anno pri-
ma della partenza di Fermi>>.

Nel 1923 il diciassettenne Majorana (che viveva a Roma dall'età
di otto o nove anni in collegio, insieme con fratelli e cugini, al
"Convitto Massimo alle Terme" dei padri gesuiti: finché nel 1921
l'intera famiglia non si trasferì a Roma ed Ettore passò da "inter-
no" ad "esterno") si era iscritto al corso di laurea in Ingegneria
dell'università di Roma. Aveva come compagni il fratello Luciano,
Emilio Segrè, Gastone Piquè, Enrico Volterra, Giovannino Gentile
e Giovanni Enriques. Gli ultimi tre erano figli, rispettivamente,
del matematico Vito Volterra (uno dei pochi professori universita-
ri —tra l'altro— a rifiutare il giuramento al regime fascista),
del filosofo Giovanni Gentile, e di Federigo Enriques, matematico
ed epistemologo. Nel giugno del 1927 Corbino rivolge il suo ap-
pello agli studenti; ed Amaldi, allora al termine del secondo an-
no, ne raccoglie l'invito. Quasi simultaneamente Segrè conosce
Rasetti, e quindi Fermi: e lui pure decide di passare a Fisica. Qui
egli inizia a parlare delle doti straordinarie di Ettore; ed un
giorno convince Majorana ad incontrare Fermi. Il passaggio di Et-
tore a Fisica ha luogo all'inizio del suo quinto anno di studi uni-
versitari dopo un colloquio con Fermi narrato nei particolari da
Segrè, e di cui diremo.

Amaldi racconta: <<Fu in quell'occasione che vidi Majorana per
la prima volta. Di lontano appariva smilzo, con un'andatura ti-
mida e quasi incerta; da vicino si notavano i capelli nerissimi,
la carnagione scura, le gote lievemente scavate, gli occhi vivacissi-
mi e scintillanti: nell'insieme l'aspetto di un saraceno>>.

Più tardi si unì al gruppo Bruno Pontecorvo; così che questo
risultò formato essenzialmente da Fermi, Rasetti, Majorana, Amaldi,
Segrè e Pontecorvo, oltre al chimico Oscar D'Agostino.

Fermi riceverà il premio Nobel nel 1938. Del gruppo romano, solo
Amaldi resterà in patria, sobbarcandosi al peso maggiore per mante-
nere viva in Italia la scuola creata da Fermi; e sarà uno dei

padri dei laboratori europei di Ginevra. Gli altri emigreranno: Fermi e Segré negli Stati Uniti (ove Segré riceverà il premio Nobel nel 1959 per la scoperta dell'antiprotone); Pontecorvo —nel settembre 1950, dopo un lungo periodo in USA, Canada, Inghilterra— in Unione Sovietica (ove, noto universalmente come Bruno Maksimovich, diverrà presto Accademico delle Scienze dell'URSS, nonché uno dei direttori dei grandi laboratori di Dubna). Rasetti, invece, dopo avere svolto con tanto successo il ruolo di principale fisico sperimentale del gruppo romano, abbandona in seguito la fisica, divenendo un paleontologo di fama, e più tardi un botanico di gran valore: la sua personalità è così straordinaria, che vogliamo riportare qui la lettera scrittaci da Wareme (Belgio) il 22.6.1984, all'età di quasi ottantatré anni, in risposta alla nostra consueta richiesta di "testimonianza":

<<Caro Professore, - La prego di scusarmi se rispondo soltanto oggi alla Sua lettera del 30/4 scorso. Questa è arrivata durante la mia assenza per un viaggio a scopo botanico durata dal 6/5 al 17/6; quindi ne ho preso visione solo da qualche giorno. Per il momento non ho il tempo di fare tutti i commenti che merita, quindi Le comunico soltanto le prime impressioni, riservandomi di scriverLe più a lungo più tardi.

Non potei partecipare al convegno "fermiano"⁽⁴⁾ perché soffrii di un malessere per un mese e mezzo, ciò che mi fece rinunciare a un viaggio a Palermo, per il quale avevo già acquistato il biglietto dell'aereo, viaggio che aveva come scopo di fotografare le orchidacee caratteristiche della Provincia di Palermo. Ne ho fatto un altro, come ho detto sopra, nell'Italia centro-meridionale. Come Lei saprà, da molti anni ho perso ogni interesse per la fisica, dedicandomi con molta soddisfazione e successo prima alla paleontologia del Cambriano di Canada, Stati Uniti e Sardegna, poi alla botanica delle Alpi, e per ultimo alle Orchidacee italiane.

Anche da una prima e sommaria visione dei Suoi scritti, comprendo che Lei ha informazioni e conoscenze sulla vita di Ettore ben più complete e profonde di quanto sia stato scritto da altri con ben più immaginazione che serietà.

...Voglio segnalare anche un incredibile "granchio" preso dal Corriere della Sera [del 13/12/83, pag. 16] nella didascalia sotto alla figura che riproduce la famosa fotografia detta dei "tre preti" (perché una amica di Laura Fermi, vedendone una copia appesa alla parete del salotto di questa, esclamò "Chi

(4) Il convegno tenutosi il 26 aprile 1984 a Bologna in occasione del cinquantesimo anniversario della formulazione della teoria di Fermi sul decadimento beta ("Cinquant'anni di Fisica delle Interazioni Deboli").

sono quei tre preti?"). Dalla didascalia del Corriere sembrerebbe che la fotografia rappresentasse Fermi, Rasetti e Segré come laureandi! Invece Fermi ed io ci laureammo nel 1922, quando ancora non esisteva il regime fascista e i laureandi non portavano la camicia nera! Si tratta invece di una fotografia fatta verso la metà degli anni trenta, e tutti e tre eravamo membri di una commissione di laurea, non laureandi! Se simili mostruosità si trovano in un giornale che dovrebbe essere serio, che cosa dobbiamo credere di quanto scrivono giornali meno rispettabili?

Con questo chiudo le mie osservazioni per il momento, e La prego di gradire distinti e cordiali saluti.

Franco Rasetti

P.S.: Mi dimenticavo di dirLe che sarebbe vano aspettarsi da me informazioni su Majorana che non siano già ben note. Tra i fisici di Via Panisperna sono certamente la persona che lo ha meno conosciuto. Intanto io ero alquanto più anziano di lui, mentre Segré e Amaldi erano press'a poco coetanei. Inoltre con questi ero legato dalle attività sportive, mentre Majorana era del tutto estraneo a qualsiasi sport. Con Segré e Amaldi giocavamo a tennis, ma soprattutto eravamo compagni di alpinismo (per esempio, abbiamo fatto varie ascensioni difficili, sempre senza guida, tra cui la traversata del Cervino).>>

Il medesimo concorso che assegnò a Fermi la cattedra romana ne attribuì una anche a Enrico Persico (a Firenze) e ad Aldo Pontremoli (a Milano), quest'ultimo perito nella spedizione Nobile col dirigibile Italia al Polo Nord. Persico ebbe a Firenze una influenza forte e benefica. Lasciamo parlare Segré⁽⁵⁾: <<Persico a Firenze era l'unico professore di ruolo della nuova generazione e insegnava con grande successo. I giovani fisici che si trovavano a Firenze e affrontavano problemi moderni erano: Bruno Rossi, famoso per gli studi sui raggi cosmici; Giuseppe Occhialini, che collaborò in modo decisivo alla scoperta sia degli sciami⁽⁶⁾, sia del pione; Gilberto Bernardini, più tardi direttore scientifico del CERN di Ginevra e direttore della Scuola Normale Superiore di Pisa; e Giulio Racah, inventore dei coefficienti che da lui prendono il nome..., che divenne più tardi Rettore dell'Università di Gerusalemme. Anche questi fisici fiorentini, avevano da poco passati i vent'anni,...erano pieni di entusiasmo, energia e idee originali. I gruppi di Firenze e Roma erano legati da sincera amicizia e spesso si scambiavano visite o seminari>>.

⁽⁵⁾ E.Segré: Enrico Fermi, fisico (Zanichelli; Bologna, 1971).

⁽⁶⁾ Segré si riferisce al fatto che Occhialini collaborò attivamente (insieme con l'inglese P.Blackett) alla scoperta della prima antiparticella, il positone, e dei fenomeni di creazione e annichilazione di coppie elettrone-positone. Ma il premio Nobel fu attribuito (nel 1936) solo all'americano Anderson, che aveva ri-

2 - IL CONCORSO A CATTEDRE DEL 1937

.....

2.1. Dall'Archivio Centrale dello Stato

Dopo il concorso del 1926, in cui ottennero la cattedra Fermi, Persico e Pontremoli, passarono altri dieci anni prima che si aprisse, nel 1937, un nuovo concorso per la fisica teorica, richiesto dall'università di Palermo per opera di Emilio Segrè. Le vicende di questo Concorso, e specialmente i suoi antecedenti, hanno dato luogo nel 1975 ad una vivace polemica tra Leonardo Sciascia, Edoardo Amaldi, e altri (Segrè, Zichichi, e chi scrive).

Qui ci limiteremo, secondo la nostra propensione, a riprodurre i documenti certi, esistenti presso l'Archivio Centrale dello Stato (Serie Direz.Gen.Istruzione Superiore; Busta Personali - II^a serie; Fascicolo Ettore Majorana): in nostro possesso, questa volta, grazie ad una collaborazione coi ticinesi fratelli Dubini, residenti a Colonia. I concorrenti furono numerosi, e molti di essi di elevato valore; soprattutto quattro: Ettore Majorana, Giulio Racah (ebreo, che successivamente passerà da Firenze in Israele fondandovi la fisica teorica), GianCarlo Wick (di madre torinese e nota antifascista), e Giovanni Gentile jr. (come sappiamo figliolo dell'omonimo filosofo, già ministro — come si direbbe ora — della Pubblica Istruzione), ideatore delle "parastatistiche" in meccanica quantica. La commissione giudicatrice era costituita da: Enrico Fermi (presidente), Antonio Carrelli, Orazio Lazzarino, Enrico Persico e Giovanni Polvani.

Il verbale n.1 recita:

<<La Commissione nominata da S.E. il Ministro dell'Educazione Nazionale, e formata dai Professori Carrelli Antonio, Fermi S.E. Enrico, Lazzarino Orazio, Persico Enrico, Polvani Giovanni si è riunita alle ore 16 del giorno 25 ottobre 1937-XV in un'aula dell'Istituto Fisico della R.Università di Roma. La commissione si è costituita nominando come Presidente S.E. Fermi, e come Segretario Carrelli.

Dopo esauriente scambio di idee, la Commissione si trova unanime nel rico-

velato il positone con lieve anticipo. Con Blackett si rimediò assegnandogli il Nobel in un'altra occasione (nel 1948). In quanto alla scoperta del primo mesone, il pione (la particella prevista teoricamente nel 1934 da H.Yukawa), essa fu effettuata nel 1947 da C.Lattes, G.Occhialini e C.Powell: ma ancora una volta il premio Nobel fu dato solo all'inglese Powell (nel 1950).

noscere la posizione scientifica assolutamente eccezionale del Prof. Majorana Ettore che è uno dei concorrenti. E pertanto la Commissione decide di inviare una lettera e una relazione a S.E. il Ministro per prospettargli l'opportunità di nominare il Majorana professore di Fisica Teorica per alta e meritata fama in una Università del Regno, indipendentemente dal concorso chiesto dalla Università di Palermo. La Commissione, in attesa di ricevere istruzioni da S.E. il Ministro, si aggiorna fino a nuova convocazione.

La seduta è tolta alle ore 19. Letto approvato e sottoscritto seduta stante
E. Fermi, O. Lazzarino,
E. Persico, G. Polvani, A. Carrelli.>>

La lettera inviata lo stesso giorno a S.E. il Ministro, sulla quale il ministro Giuseppe Bottai vergò a mano la parola "Urgente", ripete il contenuto del verbale, dichiarando il Prof. Majorana Ettore avere tra i concorrenti una posizione scientifica nazionale e internazionale di tale risonanza che <<la Commissione esita ad applicare a lui la procedura normale dei concorsi universitari>>.

Tale lettera ha un allegato, Relazione sulla attività scientifica del Prof. Ettore Majorana; firmata, come sempre, nell'ordine: Fermi, Lazzarino, Persico, Polvani e Carrelli. Vediamola:

<<Il Prof. Majorana Ettore si è laureato in Fisica a Roma nel 1929. Fin dall'inizio della sua carriera scientifica ha dimostrato una profondità di pensiero ed una genialità di concezioni da attirare su di lui la attenzione degli studiosi di Fisica Teorica di tutto il mondo. Senza elencarne i lavori, tutti notevolissimi per l'originalità dei metodi impiegati e per l'importanza dei risultati raggiunti, ci si limita qui alle seguenti segnalazioni:

Nelle teorie nucleari moderne il contributo portato da questo ricercatore con la introduzione delle forze dette "Forze di Majorana" è universalmente riconosciuto tra i più fondamentali, come quello che permette di comprendere teoricamente le ragioni della stabilità dei nuclei. I lavori del Majorana servono oggi di base alle più importanti ricerche in questo campo.

Nell'atomistica spetta al Majorana il merito di aver risolto, con semplici ed eleganti considerazioni di simmetria, alcune tra le più intricate questioni sulla struttura degli spettri.

In un recente lavoro infine ha escogitato un brillante metodo che permette di trattare in modo simmetrico l'elettrone positivo e negativo, eliminando finalmente la necessità di ricorrere all'ipotesi estremamente artificiosa ed insoddisfacente di una carica elettrica infinitamente grande diffusa in tutto lo spazio, questione che era stata invano affrontata da molti altri studiosi.>>

Uno dei lavori più importanti di Ettore, quello in cui introduce la sua "equazione a infinite componenti" (di cui diciamo nel Par. 5.4), non è menzionato: ancora non era stato capito. E' interessante notare, però, che viene dato giusto rilievo alla sua teoria simmetrica per l'elettrone e l'anti-elettrone

(oggi in auge, per la sua applicazione a neutrini e anti-neutrini); e a causa della capacità di eliminare l'ipotesi cosiddetta "del mare di Dirac" [P.A.M.Dirac, premio Nobel 1933]: ipotesi che viene definita "estremamente artificiosa e insoddisfacente", nonostante che essa dai più sia sempre stata accettata in maniera acritica. E questo tocco di originalità in un documento burocratico è rallegrante; e l'argomento ci trova del tutto consenzienti.

Una volta attribuita la cattedra a Ettore "fuori concorso" —applicando la legge istituita per dare una cattedra universitaria, appunto fuori concorso, a Guglielmo Marconi [premio Nobel 1909]—, la commissione riprendeva i suoi lavori giungendo all'unanimità alla formazione della terna vincente: 1°) Gian Carlo Wick; 2°) Giulio Racah; 3°) Giovannino Gentile. Wick andò a Palermo, Racah a Pisa, e Gentile jr. a Milano. Giovannino Gentile, grande amico di Ettore⁽⁷⁾, scomparirà prematuramente nel 1942.

2.2. Gli atti ufficiali

Il 2 novembre 1937 il ministro Bottai emette il decreto di nomina a professore ordinario di Ettore Majorana; il 4 dicembre il decreto è già registrato alla Corte dei Conti; e quindi la nomina viene partecipata dal Ministero a Ettore, presso la sua abitazione di viale Regina Margherita 37, in Roma. Lo vedremo più avanti.

3 - LA FAMIGLIA

3.1. Il nonno, capostipite della famiglia

L'antenato della famiglia di Ettore è il nonno, Salvatore Majorana Calatabiano, nato a Militello Val di Catania la vigilia di Natale del 1825. Nato pressoché dal nulla, nel 1865 è professore ordinario all'università di Messina (e poco dopo a Catania), e l'anno successivo viene eletto deputato al parlamento. Nel primo ministero della Sinistra, Depretis gli affida il portafoglio di

⁽⁷⁾ Due belle e interessanti lettere di Ettore a Giovannino Gentile ci sono recentemente pervenute grazie al cortese interessamento di L.Sciascia, L.Canfora e F.Valentini.

Agricoltura, Industria e Commercio; e, dopo la crisi della fine del 1877, torna al suo posto di ministro nel terzo governo Depretis. Ci può interessare qui una citazione; convinto che le leggi economiche siano leggi naturali di indole matematica, scrive:

<<è lo sprezzo dei dettami scientifici — che in conclusione dovrebbero essere nel campo delle cose legislative quello che nelle applicazioni tecniche sono i teoremi della fisica e del calcolo, — codesto sprezzo, codesto divorzio tra il pensiero e la pratica, tra la scienza e l'arte sociale, la causa potente del disagio in cui la cosa pubblica si trova>>.

3.2. Deputati, rettori, scienziati: gli zii paterni

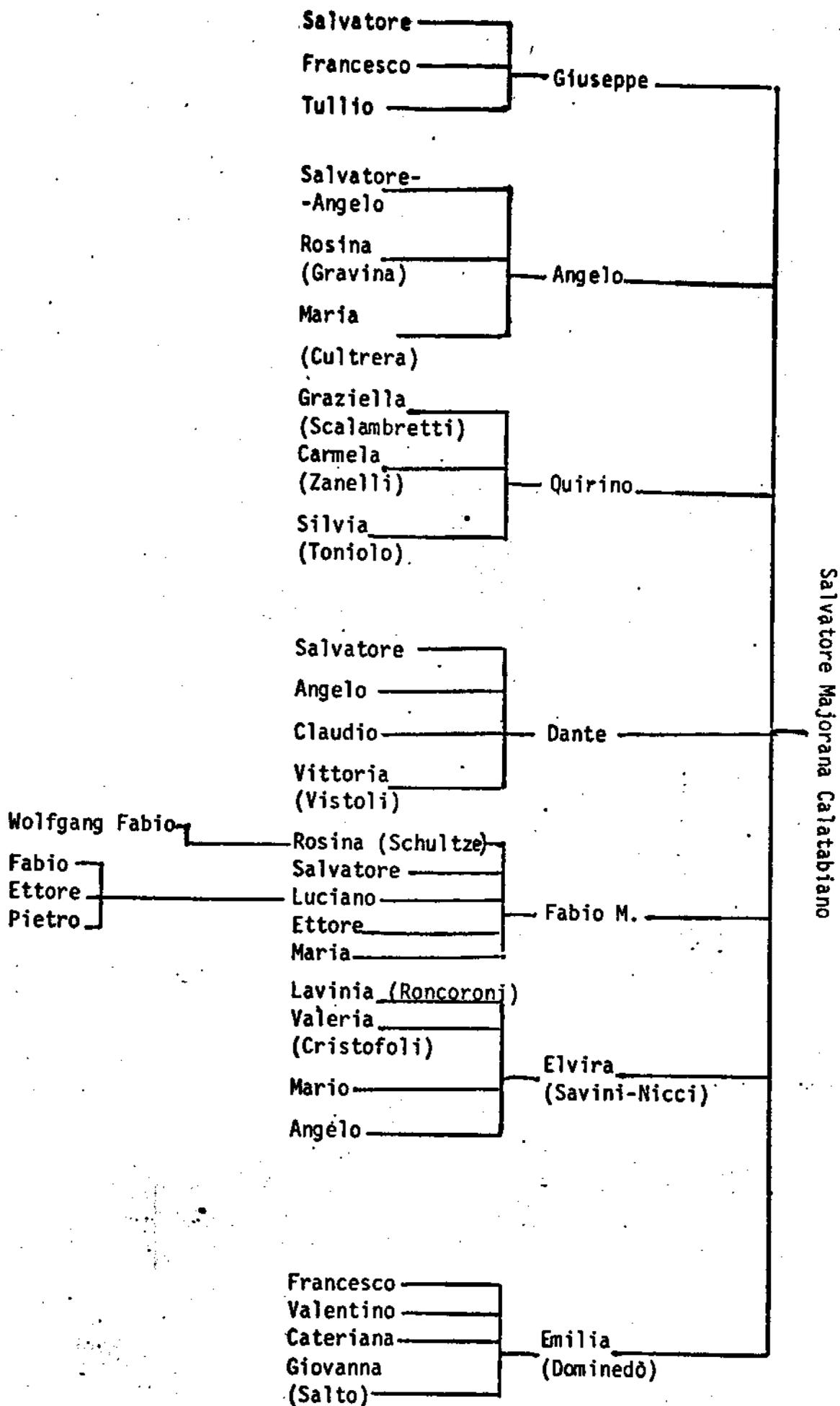
Sposatosi in seconde nozze con Rosa Campisi, Salvatore ne aveva avuto sette figli: Giuseppe, Angelo, Quirino, Dante, Fabio Massimo (il padre di Ettore), Elvira ed Emilia: si veda l'albero genealogico della famiglia (Tabella I). Tre dei figli arrivano ad essere deputati, nonché rettori dell'università di Catania (sì: tre fratelli rettori della stessa università; rispettivamente negli anni 1895-1898, 1911-1919 e 1944-1947). Dovendo scegliere, accenneremo più avanti soprattutto ad Angelo, il quale sarà ministro delle Finanze, poi del Tesoro.

Quirino si laurea a 19 anni in Ingegneria e a 21 in Scienze fisiche e matematiche, e diviene poi presidente della Società Italiana di Fisica. Lasciamo parlare il Dizionario enciclopedico

Treccani (che, tra parentesi, ricorda vari Majorana: tutti discendenti di Salvatore); di lui, ancora in vita, diceva: <<Fisico (n. Catania 1871), fratello di Angelo; direttore dell'Istituto superiore dei telefoni e telegrafi dello stato (1904-1914), poi professore di fisica sperimentale al Politecnico di Torino, e (dal 1921) a Bologna, dove succede ad A. Righi come direttore dell'istituto fisico. E' socio dell'Accademia dei Lincei... Ha compiuto importanti ricerche di fisica sperimentale (sui raggi catodici, sull'effetto Volta, sui fenomeni fotoelettrici, sulla costanza della velocità della luce emessa da una sorgente in moto, ecc.). Conseguì notevoli risultati nel campo delle telecomunicazioni, eseguendo numerose esperienze di radiotelegrafia a grande distanza... e di telefonia ottica con luce ordinaria, ultravioletta e infrarossa; ideò, nel corso di queste esperienze, un microfono... (microfono idraulico di M.). Si è altresì occupato atti-

TABELLA I^a

TABELLA I^a : L'ALBERO GENEALOGICO DELLA FAMIGLIA MAJORANA



vamente di varie questioni connesse con la teoria della Relatività, e in particolar modo dell'assorbimento della gravitazione nella materia>>. Aggiungiamo che fu membro della Commissione che diede la cattedra a Fermi; scoprì la birifrangenza magnetica; scrisse il suo primo libro, sui Raggi X, a 25 anni (Roma, 1897), e dedicò molte energie a mostrare falsa la teoria della Relatività Speciale: ma, essendo uno sperimentale provetto e rigoroso, non poté che confermare la teoria einsteiniana. Muore nel 1957. In conclusione un valido scienziato; ma ad Ettore non paragonabile.

Elvira ed Emilia compiono la loro educazione ed istruzione a Roma, e quivi si sposano (la prima col Consigliere di Stato Savini-Nicci, la seconda con l'Avv. Dominedò).

3.3. Il padre

Anche Fabio, il padre di Ettore (n. a Catania nel 1875, m. a Roma nel 1934), si laurea giovanissimo — a 19 anni — in Ingegneria, e poi in Scienze fisiche e matematiche. Sarà lui a educare culturalmente e scolasticamente il piccolo Ettore (che fece le prime classi elementari in casa), fino agli otto o nove anni, quando — come sappiamo — Ettore passa all'Istituto Parificato M. Massimo dei padri gesuiti in Roma, onde terminarvi le scuole elementari e frequentare poi le medie superiori. Ettore resterà sempre molto attaccato al padre; e senz'altro ne sentirà profondamente la dipartita, nel 1934.

L'ing. Fabio Majorana fonda a Catania la prima impresa telefonica, tanto che in città il suo nome diviene sinonimo di "società telefonica". Trasferitosi a Roma, nel 1928 è nominato Capo divisione e, qualche anno dopo, Ispettore generale del Ministero delle comunicazioni. Si dedica pure all'ingegneria edile: un recente testo sul Liberty a Catania riproduce la casa di famiglia da lui costruita in Via Sei Aprile.

Scrivono Edoardo Amaldi: <<Dal matrimonio dell'ing. Fabio con la Sig.ra Dorina Corso (n. a Catania nel 1876, m. a Roma nel 1966), anch'essa di famiglia catanese, nacquero cinque figli: Rosina, sposata più tardi con Werner Schultze;

Salvatore, dottore in legge e studioso di filosofia; Luciano, ingegnere civile, specializzato in costruzioni aeronautiche ma che poi si dedicò alla progettazione e costruzione di strumenti per l'astronomia ottica; Ettore (n. a Catania il 5 agosto 1906); e, quinta e ultima, Maria, musicista...».

Ma torniamo un momento agli zii Rettori e deputati di Ettore. Il più anziano, Giuseppe (n. a Catania nel 1863), di vasta cultura, dal punto di vista scientifico si occupa di economia statistica, pubblicando molti libri con la casa editrice Loescher di Roma, tra cui "Teoria del valore" (1887), "La Statistica e l'Economia di Stato", "La legge del grande numero e l'Assicurazione", "Teoria della Statistica" (tutti del 1889), "Le leggi naturali dell'economia politica" (1890), "Principio della popolazione" (1891) e "I dati statistici nella questione bancaria" (1894): gli ultimi due, in particolare, venendo lodati anche in Germania, Francia, Croazia, Spagna. Pure successo all'estero ottiene un volume pubblicato dapprima a Firenze (Barbèra Ed., 1889) e quindi, in forma più completa, a Catania col titolo "Programma di Statistica Teorica e Applicata" (1893). Autore pure di alcune opere letterarie, più tardi le ripudia, adoperandosi a distruggere tutte le copie che gli capitano per mano.

Il più giovane dei tre, Dante, avvocato, si dedica soprattutto al diritto. Ricordiamo per esempio i suoi volumi, pubblicati sempre per i tipi della E. Loescher & C. di Roma, "La caccia e la sua legislazione" (1898), "La frazione di Comune nel diritto amministrativo italiano" (1899), "La concezione giuridica delle scienze dello stato" (1899), ecc. Nel 1924 verrà eletto deputato.

Ma, di questi tre zii, quello che lascia più sconcertati è senza dubbio Angelo, giurista e sociologo. Egli brilla precocissimo, ma presto si spegne. E la parabola della sua vita lascia pensosi, quando la si paragoni — per quanto ne sappiamo — a quella di Ettore.

3.4. Lo zio Ministro

Angelo nasce a Catania, secondo dei sette figli di Salvatore, nel dicembre del 1865. Maturo a 12 anni, all'età di 16 è dottore in Legge a Roma. Tra i 18 e i 20 anni dà alle stampe le sue prime opere. Ma — conseguita la libera docenza a 17 anni — già è "professore pareggiato" all'università di Catania. Nel 1886 si presenta

a tre concorsi per le cattedre di Diritto costituzionale di Catania, Messina e Pavia: e, non ancora maggiorenne, li vince tutti e tre. Passa così titolare a Catania, ove diverrà, a 29 anni, magnifico rettore. A 28 anni si affaccia alla politica attiva. Di coloritura liberale, Giolitti gli affida nel 1904 il dicastero delle Finanze. Due anni dopo è di nuovo ministro con Giolitti: questa volta del Tesoro. Ma presto il suo organismo si consuma, esaurito per l'imponente attività sostenuta. Si spegne a Catania a soli 44 anni.

Abbiamo un poco indugiato sul precoce, geniale accendersi e sul rapido morire dell'attività dello "zio Angelo"; e ne avevamo motivo. Ma non resistiamo alla tentazione — questa volta senza più scuse (se non quelle che possono derivare dai nostri rapporti con l'università italiana) — di riportare un brano di uno dei tanti discorsi tenuti da Angelo Majorana alla Camera dei deputati: sui problemi, appunto, dell'Università. Il titolo è, senza mezzi termini, La questione degli "spostati", e la riforma dell'istruzione pubblica. La data la diciamo dopo.

<<Permetta la Camera che io riferisca alcune delle cifre calcolate dal collega Ferraris in un suo pregevole studio statistico; e che ciò faccia io, appartenente a quelle provincie del Mezzogiorno per le quali le cifre medesime danno argomento a men liete considerazioni... Abbiamo già visto che noi riversiamo dalle nostre Università, ogni anno, sul pubblico mercato della vita nazionale (mi si perdoni questa frase di stile economico) ben 1070 laureati in giurisprudenza: ossia, più del doppio del necessario! Parimenti, mentre il fabbisogno di medici e di chirurghi sarebbe appena di 500 all'anno, i laureati in medicina e chirurgia, secondo una media che d'altronde va sempre crescendo, sono 928 all'anno!...

Orbene: il numero degli iscritti nelle Università e Istituti superiori oscilla, fra le diverse regioni e le diverse Facoltà, nel seguente modo. Nell'Italia settentrionale abbiamo per la Facoltà di giurisprudenza una quota di iscritti che è valutata a 13,85 sopra 100'000 abitanti; nella meridionale continentale, una quota di 24,14; nella Sicilia di 22,82. Per la Facoltà di medicina, poi, abbiamo, sempre sopra 100'000 abitanti, una quota di 17,73 nell'Alta Italia, di fronte ad una di 19,06 in Sicilia e di ben 27,26 nel Mezzogiorno continentale. (Commenti)...

Aggiungo che, guardando agli iscritti nelle Facoltà di scienze, e quindi anche nelle Scuole di ingegneria, si manifesta un fenomeno formalmente inverso, ma identico nella sostanza. Nelle provincie settentrionali, per ogni centomila abitanti abbiamo una quota di 9,08, mentre in quelle meridionali la quota è

di 5,39, ed in Sicilia è di 7,72...

Noi ci chiediamo: ma tutti questi laureati al di là del bisogno, tutti questi avvocati che non trovano clienti, tutti questi medici che non trovano ammalati, tutti questi professori che non trovano scuole né salari, che cosa fanno in seno alla società che pur li contiene? E dovrò dirlo io? Ma chi di noi, interrogando se stesso, non potrà darvi una risposta? Né io vi dirò, onorevoli colleghi, che, se non vi sono medici i quali inventano le malattie per poterle curare, vi sono purtroppo avvocati, specie in materia civile, che inventano le cause per poterle difendere (*Ilarità*)... Né ripeterò come, per fatale conseguenza, sia moltiplicato il numero dei concorrenti ai pubblici impieghi; e come, precisamente per ciò, e lo Stato e i Comuni e le Provincie e tutte le pubbliche Amministrazioni sieno costrette ad accrescere le loro competenze ed uffici e mansioni, con relativi impiegati, enormemente aggravando i loro bilanci e quindi offendendo, di rimbalzo, il bilancio della nazione...

Questo male non è esclusivo all'Italia, ma si trova anche in altre regioni. In Germania son celebri il detto di Virchow, che definì le Università "semenzaio di spostati", e l'altro dell'imperatore Guglielmo, che definì i frequentatori delle scuole classiche "candidati alla fame".

E più avanti, parlando contro la burocratizzazione centralistica degli studi superiori, conclude: Trovo completamente sbagliato il sistema di sottoporre giovani che sono all'apogeo della loro forza, che ordinariamente hanno più di vent'anni di età, che sono cioè maggiorenni con pienezza di responsabilità e di capacità giuridica, così nei diritti civili come nei politici: trovo sbagliato, dico, il fatto di volerli ancora sottoporre ad un regime così vincolato di esami, che tende a sopprimere in essi il senso della iniziativa, senza eccitarli alle gare degli studi sani e fecondi... Dianzi vi ricordavo che gran parte della nostra popolazione universitaria ha un miraggio: l'ufficio pubblico; ha un ideale: il 27 del mese. Orbene, notate adesso quale singolare riscontro psicologico corra tra il 27 del mese, che è l'ideale futuro, e l'approvazione all'esame, che è l'ideale più prossimo! Dichiaro francamente che sono contrario agli esami annuali; mentre sono favorevole a un "esame di stato" finale... E' necessario togliere l'umiliante tutela, inutile al bene, efficace all'incoraggiamento dell'ignavia, che sui nostri giovani è stabilita dal presente regime di accentramento universitario...>>

Pur senza entrare nel merito delle idee espressevi, riesce difficile credere che questo discorso fu tenuto circa cento anni or sono, nella seduta dell'11 marzo 1899.

4 - L'UOMO: IL RICORDO DEI COLLEGHI

Dalla Scuola Normale di Pisa il 9.5.1984 Gilberto Bernardini scrive: <<Caro Recami: ...Ti sono grato di aver riesumato, con la copia della lettera⁽⁸⁾ di Etto-

(⁸) Lettera da Lipsia del 22.1.1933.

re alla mamma, un sepolto ricordo dei miei sporadici incontri con lui durante il periodo che trascorsi a Berlino con Lise Meitner... A Bologna⁽⁹⁾ ho parlato con Bruno Pontecorvo e penso che lui più e meglio di me potrebbe scrivere come mi hai amichevolmente chiesto "una lettera di testimonianze intorno a Ettore Majorana". Nel parlarne con Bruno si sono ravvivate alcune reminiscenze e, fra queste, che io con Ettore evitavo di parlare di fisica perché quello che avrei potuto dirgli sarebbe stato per lui insignificante. Come mi è poi successo con Pauli, credo che considerassi più agevole per me e meno banale per lui comunicare per esempio come fosse da rallegrarsi di essere nati dopo Michelangelo e Beethoven. - Non ho ancora ricevuto quanto hai pubblicato nel '75. Non so se con la sorella [di Ettore] Maria tu ne stia predisponendo una nuova e diversa pubblicazione. Se così fosse, mi permetterei il suggerimento di prescindere dall'eccezionale ingenio di Ettore come fisico per accentuare quanto di lui potesse rievocare la complessa spiritualità umana, tanto più estesa ed illuminata di quella sulla quale hanno fantasticato dei romanzieri. Questa, spiritualità anche emotivamente, è evidente quando si legga "La vita e l'opera di Ettore Majorana" scritta da Edoardo Amaldi e pubblicata dall'Accademia dei Lincei nel 1966... - Gilberto Bernardini>>.

Ettore era persona sensibilissima e introversa, ma profondamente buona. La sua ritrosia e timidezza⁽¹⁰⁾, e la sua difficoltà di contatto umano —reso ancor più difficile dalla sua stessa intelligenza—, non gli impedivano di essere sinceramente affettuoso. E la sua critica severa si addolciva quando il giudizio riguardava gli amici.

Nella prima lettera a Carrelli (qui riportata in nota ⁽¹¹⁾), il giorno prima della scomparsa, Ettore sente perfino il bisogno di ri-

⁽⁹⁾ Ved. nota ⁽⁴⁾.

⁽¹⁰⁾ Anche Hans Bethe [premio Nobel 1967]; a Erice, il 27.4.81 ci ha confermato di essere riuscito a scambiare qualche parola con Ettore (durante il proprio soggiorno a Roma) solo due o tre volte, data la sua grande timidezza. Bethe ricorda, inoltre, di avere sentito Segré parlare molto bene di Majorana.

⁽¹¹⁾ <<Napoli, 25 marzo 1938-XVI. - Caro Carrelli, Ho preso una decisione che era ormai inevitabile. Non vi è in essa un solo granello di egoismo, ma mi rendo conto delle noie che la mia improvvisa

cordare particolarmente Sciuti: Sciuti, ora professore alla Facoltà di ingegneria di Roma, era stato uno dei suoi pochi studenti a Napoli, l'unico che avesse preso timidi contatti con lui. Ettore, che si era molto dispiaciuto nell'accorgersi che quasi tutti gli studenti non riuscivano a seguire le sue parole, gli chiese: Davvero le interessano le mie lezioni?, e gli portò gli appunti autografi di una decina di lezioni. Tali appunti, passati nelle mani di Gilberto Bernardini e di Edoardo Amaldi, sono stati depositati alla "Domus Galilaeana" di Pisa, e finalmente appaiono qui pubblicati. Gli appunti per la prolusione al corso —la lezione inaugurale— sono stati invece rinvenuti da noi, e li trascriviamo più sotto.

Tutti sanno dell'eccezionale spirito critico, e autocritico, di Ettore. Ma pochi sanno che, almeno fino al 1933. (anno in cui Ettore trascorse vari mesi a Lipsia, presso Werner Heisenberg) Ettore era di carattere allegro. La sorella Maria ne ricorda soprattutto le barzellette, le risate, il gioco alla palla fatto nel corridoio di casa. Da ragazzo, con amici, si mise al volante della macchina di famiglia —una delle prime auto—, ovviamente senza saper guidare, e altrettanto ovviamente finì contro un muro, serbandone ricordo con una lunga cicatrice su una mano. Anche l'Ing. Enrico Volterra (già professore presso l'Università del Texas ad Austin; ora scomparso) ci ha ricordato il gran tempo trascorso con Ettore al bar "Il Faraglino" di Roma, o le chiacchierate e discussioni culturali alla "Casina delle Rose" di Villa Borghese.

Ettore era poi ricchissimo di humor, cosa abbondantemente confermata da tanti episodi aneddotici e dal suo epistolario, che abbiamo pubblicato altrove per i tipi della Mondadori (Milano, 1987). Leggiamo ad esempio un brano della sua lettera del 22.1.33 dall'Institut für theoretische physik di Lipsia:

scomparsa potrà procurare a te e agli studenti. Anche per questo ti prego di prego di perdonarmi, ma sopra tutto per avere deluso tutta la fiducia, la sincera amicizia e la simpatia che mi hai dimostrato in questi mesi. Ti prego anche di ricordarmi a coloro che ho imparato a conoscere e ad apprezzare nel tuo Istituto, particolarmente a Sciuti, dei quali tutti conserverò un caro ricordo almeno fino alle undici di questa sera, e possibilmente anche dopo. - E. Majorana >>.

<<Cara mamma: ...Io mi trovo benissimo ...Nevica spesso dolcemente... L'Istituto di Fisica con molti altri affini è posto in posizione ridente, un po' fuori di mano tra il cimitero e il manicomio... La situazione politica interna appare permanentemente catastrofica, ma non mi sembra che interessi molto la gente. Ho notato in treno la rigidità di un ufficiale della Reichswehr solo nello scompartimento con me, a cui non riusciva di deporre un oggetto sulla rete e quasi di fare il minimo movimento senza sbattere insieme con forza i talloni. Tale rigidità era evidentemente determinata dalla mia presenza, e in realtà sembra che la cortesia squisita ma sostenuta verso gli stranieri faccia parte dello spirito soldatesco prussiano, poiché, mentre egli si sarebbe sentito disonorato se non si fosse precipitato per accendermi una sigaretta, d'altra parte il suo contegno mi ha impedito di scambiare con lui una sola parola all'infuori dei cortesissimi saluti di rigore>>.

L'esperienza in Germania modifica le opinioni di Ettore circa il fascismo e l'incipiente nazismo; probabilmente anche per l'effetto che gli fa il riuscire a vivere da solo (e forse non tanto male) nella bene organizzata e accogliente —"cortesissima e simpatica"— città tedesca di Leipzig. Tanto che, da un lato, è stato detto che Ettore nutrirà poi delle simpatie per il nazismo. Dall'altro lato, però, abbiamo la testimonianza di un altro grande fisico, Rudolf Peierls, il quale dichiara che verso la fine del 1932 (cioè prima di partire per la Germania, per lo meno) era profondamente antifascista. Peierls, infatti, il 2.7.84 scrive da Oxford a Donatello Dubini

<<Sehr geehrter Herr Dubini, - Ihr Brief vom 4.VI, der nach Cambridge adressiert war, hat mich jetzt erreicht.

Ich war mit Ettore Majorana in Fermis Institut in Rom zusammen, im Winter 1932-3. Er erschien mir als ein ausserordentlich begabter Physiker, etwas schüchtern, und dem Faschismus sehr entgegengesetzt. Das war bevor er seine berühmten Arbeiten über Kernkräfte und über Neutrinos schrieb. Ich habe diese Arbeiten natürlich mit grossem Interesse verfolgt, aber ich habe ihn nicht mehr gesehen, soweit ich mich erinnere. Über sein Verschwinden habe ich wohl schon in 1938 gehört, aber ich weiss nicht mehr wann oder von wem. Natürlich hat dass allen Physikern sehr leidgetan, aber wir wussten zu wenige Einzelheiten, um über die Ursachen zu spekulieren.

Ich besitze leider keine Bilder von Majorana. Ich nehme an, Sie sind mit Professor Amaldi in Rom in Verbindung, der eine Biographie von Majorana geschrie-

ben hat , und sicher sehr viel Material über ihn besitzt.

Mit besten Grüßen - Ihr -

Rudolf Peierls>>

dove la frase da noi messa in corsivo significa "Mi apparve come un fisico straordinariamente dotato, un poco timido, e veramente contrario al fascismo". Oltre alla presente testimonianza, al riguardo si possono ricordare le assennate —e per noi "conclusive"— osservazioni di Sciascia⁽¹²⁾.

5.- LO SCIENZIATO

5.1. Introduzione

Nella lettera scritta il 27 luglio 1938 a Mussolini, e che già abbiamo incontrato, Fermi —dopo avere dichiarato che fra tutti gli scienziati il Majorana era quello che più al mondo l'avesse colpito— aggiunge: <<Capace nello stesso tempo di svolgere ardite ipotesi e di criticare l'opera sua e degli altri; calcolatore esperitissimo e matematico profondo che mai per altro perde di vista sotto il velo delle cifre e degli algoritmi l'essenza reale del problema fisico, Ettore Majorana ha al massimo grado quel raro complesso di attitudini che formano il fisico teorico di gran classe. Ed invero, nei pochi anni in cui si è svolta fino ad ora la sua attività, egli ha saputo imporsi all'attenzione degli studiosi di tutto il mondo, che hanno riconosciuto in lui uno dei più forti ingegni del nostro tempo. E le successive notizie della sua scomparsa hanno costernato quanti vedono in lui chi potrà ancora molto aggiungere al prestigio della Scienza Italiana>>. Altre volte, come già sappiamo, Fermi aveva paragonato Ettore a Galileo e Newton; considerandolo a tutti, e a se stesso, superiore. Tanto che (come ci ha raccontato Piero Caldirola) una volta Bruno Pontecorvo rimproverò Fermi di "umiliarsi" troppo di fronte ad Ettore.

I dettagli del primo incontro di Majorana con Fermi ci illuminano circa alcuni aspetti, scientifici e no, di Ettore. Essi sono noti da quando li ha narrati Segrè; ma vale la pena di rileggerli con attenzione⁽¹³⁾:

<<Il primo lavoro importante scritto da Fermi a Roma [su alcune proprietà statistiche dell'atomo] ...è oggi noto come metodo di Thomas-Fermi ...Quando Fermi trovò che per procedere gli occorreva la soluzione di un'equazione differen-

⁽¹²⁾ L. Sciascia: La scomparsa di Majorana (Einaudi; Torino, 1975), pp. 42-43.

⁽¹³⁾ Ved. nota (5).

ziale non lineare, caratterizzata da condizioni al contorno insolite, con la sua abituale energia in una settimana di assiduo lavoro calcolò la soluzione con una piccola calcolatrice a mano. Majorana, che era entrato da poco in Istituto e che era sempre molto scettico, decise che probabilmente la soluzione numerica di Fermi era sbagliata e che sarebbe stato meglio verificarla. Andò a casa, trasformò l'equazione originale di Fermi in una equazione del tipo di Riccati e la risolse senza l'aiuto di nessuna calcolatrice, servendosi della sua straordinaria attitudine al calcolo numerico (egli avrebbe potuto facilmente diventare un numero da teatro di varietà esibendo la facilità con cui eseguiva a memoria le operazioni aritmetiche più complicate). Quando tornò in Istituto confrontò con aria scettica il pezzetto di carta, su cui aveva riportato i dati ottenuti, col quaderno di Fermi, e quando trovò che i risultati coincidevano esattamente non poté nascondere la sua meraviglia>>.

Ettore, invece, invitato a redigere un curriculum , scriverà di sé con l'usuale modestia (e ciò nel maggio 1932, quando già aveva completato o in corso i suoi lavori più importanti): <<Notizie sulla carriera didattica - Sono nato a Catania il 5 agosto 1906. Ho seguito gli studi classici conseguendo la licenza liceale nel 1923; ho poi atteso regolarmente agli studi di ingegneria in Roma fino alla soglia dell'ultimo anno. - Nel 1928, desiderando occuparmi di scienza pura, ho chiesto e ottenuto il passaggio alla Facoltà di Fisica e nel 1929 mi sono laureato in Fisica Teorica sotto la direzione di S.E. Enrico Fermi svolgendo la tesi "La teoria quantistica dei nuclei radioattivi"⁽¹⁵⁾ e ottenendo i pieni voti e la lode. - Negli anni successivi ho frequentato liberamente l'Istituto di Fisica di Roma seguendo⁽¹⁶⁾ il movimento scientifico e attendendo a ricerche teoriche di varia indole. Ininterrottamente mi sono giovato della guida sapiente e animatrice di S.E. il professor Enrico Fermi>>. "Liberamente" significa volontariamente: cioè senza ricevere una lira di stipendio (e così sarà fino al Novembre 1937).

⁽¹⁴⁾ Scritto su insistenza di Fermi, che gli fece avere dal CNR una sovvenzione onde si recasse per circa sei mesi (a partire dal gennaio 1933) a Lipsia e Copenaghen.

⁽¹⁵⁾ Le tesine orali avevano per titolo: 1) Su un effetto fotoelettrico constatato negli audion; 2) Sulle configurazioni di equilibrio di un fluido rotante; 3) Sulle correlazioni statistiche.

⁽¹⁶⁾ Scrive seguendo, non seguendone. Si noti inoltre che il titolo di S.E. spettava a Fermi quale membro dell'Accademia d'Italia.

5.2. L'opera scientifica

"En science, nous devons nous intéresser aux choses, non aux personnes", ebbe a dover dire la polacca Marya Sklodowska in Curie [Madame Curie: premio Nobel 1903-Fisica e 1911-Chimica].

Ettore scrisse pochi articoli scientifici: nove; oltre allo scritto semi-divulgativo "Il valore delle leggi statistiche nella fisica e nelle scienze sociali", pubblicato postumo su Scientia [36(1942)55-66] a cura di G.Gentile. Si ricordi che Majorana passò da ingegneria a fisica nel 1928 (anno in cui pubblicò già un articolo, il primo: scritto insieme con l'amico Gentile), e poi si dedicò alla fisica teorica solo per pochissimi anni, fino al 1933.

Ma Ettore ci ha lasciato anche vari manoscritti scientifici inediti, pure depositati presso la "Domus Galilaeana"; di cui abbiamo redatto un catalogo —finora inedito— in collaborazione con M.Baldo e R.Mignani. L'analisi di questi manoscritti permette di rilevare: 1) come Ettore fosse estremamente diligente e preciso nel lavoro. Tutte le sue scoperte risultano precedute da una indefessa serie di calcoli, fatti e rifatti: anche per i più dotati, naturalmente, la scienza non può essere solo un semplice gioco di intuizioni, come invece la leggenda aveva voluto farci credere; 2) che fra il materiale inedito molti spunti hanno ancora interesse scientifico attuale (insieme coi colleghi citati, abbiamo operato una selezione: alcune centinaia di pagine [trasmesse in copia anche al Center for History of Physics dell'A.I.P., New York, e relativa "Niels Bohr Library"] possono ancora essere utili per la ricerca contemporanea; ma solo poche pagine sono state da noi interpretate e pubblicate⁽¹⁷⁾); 3) che tutto il materiale esistente sembra scritto entro il 1933 (anche la bozza dell'ultimo articolo, sulla "Teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone", che Ettore pubblicherà alle soglie del concorso a cattedra nel 1937, pare fosse già pronta dal 1933, anno in cui si ha la conferma della scoperta del positone); 4) che nulla Ettore ci ha lasciato di

⁽¹⁷⁾ M.Baldo, R.Mignani & E.Recami: "About a Dirac-like equation for the photon, according to Ettore Majorana", Lett.Nuovo Cimento 11(1974)568, interessante pure ai fini di una possibile interpretazione fisica della funzione d'onda del fotone. Ved. anche E.Giannetto, Lett.Nuovo Cimento 44(1985)140 e 145.

ciò che egli fece, eventualmente, negli anni a seguire (1934-1938). Il fatto è che la sorella Maria ricorda che anche in quegli anni Ettore —il quale aveva smesso di frequentare l'Istituto poco dopo il rientro da Lipsia, cioè verso la fine del 1933— continuò a studiare e lavorare a casa parecchie ore al giorno. Si diede Ettore solo a studi di letteratura e filosofia (amava particolarmente Shakespeare, Pirandello e Schopenhauer), o di teoria dei giochi e strategia navale (sua passione fin dall'infanzia), nonché di economia, di politica, e infine di medicina; oppure continuò a dedicarsi anche alla fisica? Abbiamo un solo indizio: ancora nel 1938, a Napoli, Carrelli avrà l'impressione che Ettore stesse lavorando a qualcosa di importante, di cui non voleva parlare.

5.3. Le prime pubblicazioni

Torniamo agli articoli pubblicati. I primi, redatti tra il 1928 e il 1931, riguardano problemi di fisica atomica e molecolare: per lo più questioni di spettroscopia atomica o di legame chimico (sempre, s'intende, nell'ambito della meccanica quantistica). Come scrive E. Amaldi, un esame approfondito di questi lavori lascia colpiti per la loro alta classe: essi rivelano sia una profonda conoscenza dei dati sperimentali anche nei più minuti dettagli, sia una disinvoltura non comune, soprattutto a quell'epoca, nello sfruttare le proprietà di simmetria degli "stati quantistici" per semplificare qualitativamente i problemi e per scegliere la via più opportuna per la risoluzione quantitativa. Tra questi primi articoli ne scegliamo uno solo:

"Atomi orientati in campo magnetico variabile" apparso sulla rivista Nuovo Cimento, vol. 9 (1932) pp. 43-50. È l'articolo, famoso tra i fisici atomici, in cui viene introdotto l'effetto ora noto come Effetto Majorana-Brossel. In esso Ettore prevede e calcola la modificazione della forma delle righe spettrali dovuta a un campo magnetico oscillante; e ciò in connessione a un esperimento tentato a Firenze qualche anno prima (benché senza successo) da G. Bernardini ed E. Fermi. Questo lavoro è rimasto anche un classico della trattazione dei processi di ribaltamento "non adiabatico" dello spin (o "spin-flip"). I suoi risultati —una volta estesi, come suggerito dallo

stesso Majorana, da Rabi nel 1937 e quindi, nel 1945, da Bloch e Rabi (i quali, entrambi premi Nobel [Rabi: 1944; Bloch: 1952], contribuirono a diffondere quanto trovato da Ettore tredici anni prima) — hanno costituito la base teorica del metodo sperimentale usato per ribaltare anche lo spin dei neutroni con un campo a radiofrequenza: metodo impiegato ancor oggi, ad esempio, in tutti gli spettrometri a neutroni polarizzati.

Gli ultimi tre articoli di Ettore sono tutti di tale importanza che nessuno di essi può restare senza commento.

5.4. L'equazione a infinite componenti

L'articolo "Teoria relativistica di particelle con momento intrinseco arbitrario" (Nuovo Cimento, vol. 9 (1932) pp. 335-344) è il tipico esempio di lavoro che precorre talmente i tempi da venire compreso e valutato a fondo solo molti anni dopo.

A quel tempo era opinione comune che si potessero scrivere equazioni quantistiche compatibili con la Relatività (cioè "relativisticamente invarianti") solo nel caso di particelle a spin zero o un mezzo. Convinto del contrario, Ettore comincia a costruire opportune equazioni quanto-relativistiche per i successivi valori possibili per lo spin (uno, tre mezzi, ecc.); finché scopre che si può scrivere un'unica equazione rappresentante una serie infinita di casi, cioè un'intera famiglia infinita di particelle a spin qualsiasi (si ricordi che allora le particelle note — che ora sono centinaia — si contavano sulle dita di una mano!). Tralascia allora tutti i singoli casi studiati — senza più pubblicarli — e si dedica solo a queste equazioni "a infinite componenti", senza trascurare l'osservazione che esse possono descrivere non solo particelle ordinarie ma anche tachioni.

Per realizzare questo programma inventa una tecnica per la "rappresentazione di un gruppo" vari anni prima della "scoperta" di queste tecniche da parte di Eugene Wigner (premio Nobel 1963). Più ancora, Majorana ricorre per la prima volta — inventandole — alle rappresentazioni unitarie del Gruppo di Lorentz a infinite dimensioni: rappresentazioni riscoperte da Wigner in lavori del 1939 e 1948. Per comprendere l'importanza di quest'ultimo aspetto, rifacciamoci a

quanto Ettore stesso —pur tanto schivo— riferisce a suo padre da Lipsia il 18 febbraio 1933: <<Nell'ultimo mio articolo apparso sul "Nuovo Cimento" è contenuta una importante scoperta matematica, come ho potuto accertarmi mediante un colloquio col professor van der Waerden, olandese che insegna qui, una delle maggiori autorità in teoria dei gruppi>>.

Questa teoria è stata reinventata da matematici ^{sovietici} (in particolare Gelfand e collaboratori) in una serie di articoli del 1948-1958, e finalmente applicata dai fisici in anni ancora più tardi. L'articolo iniziale di Ettore, anzi, rimarrà in ombra per ben 34 anni, cioè fino a quando Amaldi lo traduce e segnala al fisico americano D. Fradkin, il quale a sua volta strabilia i teorici delle alte energie rendendo finalmente di pubblico dominio (nel 1966)⁽¹⁸⁾ quanto compiuto da Majorana tanti anni prima. Dalla data del 1966, la fama di Ettore comincia a crescere costantemente anche tra i fisici delle particelle fondamentali.

5.5. Le forze di scambio

Non appena, al sorgere del 1932, giunge a Roma notizia degli esperimenti dei Joliot-Curie [premi Nobel 1935 per la chimica], Ettore comprende che essi avevano scoperto il "protone neutro" senza accorgersene. Prima ancora, quindi, che ci fosse l'annuncio ufficiale della scoperta del neutrone, effettuata poco dopo da Chadwick [premio Nobel 1935 per la fisica], Majorana è in grado di spiegare la struttura e la stabilità dei nuclei atomici mediante protoni e neutroni. (I suoi manoscritti inediti ci dicono che egli si era già cimentato su questo problema ricorrendo, invano, a protoni ed elettroni: che erano le uniche particelle in precedenza note). Ettore precorse così anche il lavoro pionieristico di D. Ivanenko. Ma non volle pubblicarne nulla, né permise a Fermi di parlarne a Parigi agli inizi di luglio: ciò è narrato da Segrè e da Amaldi. I suoi colleghi ricordano che già prima di Pasqua era giunto alle conclusioni più importanti della sua teoria: che protoni

⁽¹⁸⁾ D. Fradkin: American Journal of Physics 34 (1966) 314.

e neutroni fossero legati da forze quantistiche originate semplicemente dalla loro indistinguibilità; cioè da "forze di scambio" delle rispettive posizioni spaziali (e non anche degli spin, come invece farà Heisenberg), così da ottenere la particella alfa (e non il deutone) quale sistema saturato rispetto alla energia di legame.

Solo dopo che Heisenberg pubblica il proprio articolo sullo stesso argomento, Fermi riesce a indurre Majorana a recarsi a Lipsia presso il grande collega E, finalmente, Heisenberg sa convincere Ettore a pubblicare (anche se tanto in ritardo) i propri risultati: "Über die Kerntheorie", lavoro apparso il 3 marzo 1933 su Zeitschrift für Physik, vol. 82(1933)pp.137-145.

Le forze "di scambio" nucleari sono ora chiamate forze di Heisenberg-Majorana. Ettore ne parla al padre, con grande modestia, nella stessa lettera prima citata (del 18/2/1933): <<Ho scritto un articolo sulla struttura dei nuclei che a Heisenberg è piaciuto molto benché contenesse alcune correzioni a una sua teoria>>. Sempre su questo lavoro scrive pochi giorni dopo, il 22 febbraio, alla madre: <<Nell'ultimo "colloquio", riunione settimanale a cui partecipano un centinaio tra fisici, matematici, chimici, etc., Heisenberg ha parlato della teoria dei nuclei e mi ha fatto molta réclame a proposito di un lavoro che ho scritto qui. Siamo diventati abbastanza amici...>>.

Probabilmente la pubblicazione sulla stabilità dei nuclei venne subito riconosciuta dalla comunità scientifica (in particolare dai fisici nucleari) —evento raro, come sappiamo, per gli scritti di Ettore— anche grazie a questa opportuna "propaganda" fattane da Heisenberg, che proprio pochi mesi prima aveva ricevuto il premio Nobel.

L'avversione a pubblicare le proprie scoperte, quando esse fossero risultate, all'esame del suo senso ipercritico, o di carattere non abbastanza generale o espresse in forma matematica non abbastanza stringente ed elegante, divenne per Ettore anche motivo di vezzo. Racconta Amaldi:

<<Talvolta nel corso di una conversazione con qualche collega diceva quasi incidentalmente di aver fatto durante la sera precedente il calcolo o la teoria di un fenomeno non chiaro che era caduto sotto l'attenzione sua o di qualcuno di noi in quei giorni. Nella discussione che seguiva, sempre molto laconica da

parte sua, Ettore a un certo punto tirava fuori dalla tasca il pacchetto delle sigarette Macedonia (era un fumatore accanito) sul quale erano scritte, in una calligrafia minuta ma ordinata, le formule principali della sua teoria o una tabella di risultati numerici. Copiava sulla lavagna parte dei risultati, quel tanto che era necessario per chiarire il problema, e poi, finita la discussione e fumata l'ultima sigaretta, accartocciava il pacchetto nella mano e lo buttava nel cestino>>.

Estremamente interessanti sono pure due altri passi di lettera. Il 14.2.1933, sempre da Lipsia, Majorana racconta alla madre: <<... L'ambiente dell'istituto fisico è molto simpatico. Sono in ottimi rapporti con Heisenberg, con Hund e con tutti gli altri. Sto scrivendo alcuni articoli in tedesco. Il primo è già pronto, e spero di eliminare qualche confusione linguistica durante la correzione delle bozze>>. Il lavoro "già pronto" è naturalmente quello sulle forze nucleari di cui si sta parlando; il quale, però, rimase l'unico in lingua tedesca.

Ancora: nella lettera del 18 febbraio dichiara al padre <<... pubblicherò in tedesco, estendendolo, anche l'ultimo mio articolo apparso sul "Nuovo Cimento">>.

In realtà Ettore non pubblicò più nulla, né in Germania, né al rientro in Italia, a parte l'articolo (del 1937) di cui stiamo per dire.

Di notevole importanza è quindi sapere che Ettore stesse scrivendo altri lavori: in particolare, che stesse estendendo il suo articolo sulla equazione a infinite componenti. Nel brano alla madre, è probabile si riferisca pure alla sua teoria simmetria di elettrone e anti-elettrone, pubblicata solo quattro anni più tardi.

5.6. Il neutrino di Majorana

Dai manoscritti lasciati pare, come si è detto, che Majorana formulasse in quegli stessi anni (1932-33) le linee essenziali anche della sua teoria simmetrica per l'elettrone e l'anti-elettrone: che le formulasse, cioè, non appena si diffuse la notizia della scoperta dell'anti-elettrone, o "positone". Anche se Ettore pubblica tale teoria solo molto più tardi, accingendosi a partecipare al Concorso a cattedra di cui sappiamo: "Teoria simmetrica dell'elettrone e del positone", Nuovo Cimento, vol. 14 (1937) pp. 171-184. Questa pubblicazione viene inizialmente notata quasi esclusivamente per aver introdotto la famosa

rappresentazione di Majorana delle "matrici di Dirac" in forma reale⁽¹⁹⁾. Conseguenza di tale teoria è che un "fermione" neutro debba coincidere con la propria antiparticella: ed Ettore suggerisce che i neutrini possano essere particelle di questo tipo.

Ettore ci teneva molto a questa sua elaborazione teorica; ciò è testimoniato da Carrelli, che ne discusse con Ettore durante il breve periodo di lezioni a Napoli.

Come per altri scritti di Majorana, anche questo articolo ha cominciato ad avere fortuna solo vent'anni dopo, a partire dal 1957. Dopo di che ha goduto di fama via via crescente tra i fisici delle particelle relativistiche e delle teorie di campo⁽²⁰⁾. Ora sono di gran moda espressioni come "spinori di Majorana", "massa di Majorana", "neutrini di Majorana".

5.7. Testimonianze di colleghi

Molte altre idee di Ettore, quando non restarono nella sua mente, hanno lasciato traccia soltanto nelle sue carte inedite, o nella memoria dei colleghi.

Una delle testimonianze più interessanti che abbiamo raccolto è di GianCarlo Wick. Da Pisa il 16 Ott. 1978 scrive:

<<Caro Prof. Recami: ...Il contatto scientifico [tra me ed Ettore] di cui Le accennò Segrè non avvenne a Lipsia, ma a Roma in occasione del Congresso Volta (dunque assai prima del soggiorno di Majorana a Lipsia). La conversazione ebbe luogo in un ristorante, in presenza di Heitler, e dunque senza lavagna né formule scritte; ma nonostante l'assenza di dettagli quello che Majorana descrisse a parole era una "teoria relativistica di particelle cariche di spin zero basata sull'idea di quantizzazione dei campi" (seconda quantizzazione). Quando assai più tardi vidi il lavoro di Pauli⁽²¹⁾ e Weisskopf rimasi assolutamente convinto che quello che Majorana aveva descritto fosse la stessa cosa. Beninteso, Majorana non pubblicò nulla e probabilmente non ne parlò a molti. Non ho nessunissima ragione di pensare che Pauli e Weisskopf ne sapessero nulla... - Cordialmente - Suo G.C. Wick>>.

⁽¹⁹⁾ Si noti, però, che l'algebra $\mathbb{R}(4) = \mathbb{R}_{3,1}$ così introdotta da Majorana è del tutto diversa dall'algebra $\mathbb{C}(4) = \mathbb{R}_{4,1}$ introdotta da Dirac. Osserviamo, en passant, che l'algebra di Majorana è una delle due algebre associabili naturalmente allo spazio di Minkowski (la seconda essendo $\mathbb{R}_{1,3} = \mathbb{H}(2)$, ove $\mathbb{H}(2)$ è l'algebra delle matrici quaternioniche 2×2).

⁽²⁰⁾ Nel 1981, ad esempio, una rivista giapponese di fisica ha ripubblicato in lingua inglese (con traduzione a cura di Luciano Maiani) questo articolo di circa quarantacinque anni prima.

E dal M.I.T. (Cambridge, Mass.), il 16 maggio 1984, Victor Weisskopf ci scriverà: <<Dear Dr. Recami: ...I am very glad that you have found a letter in which Majorana says that he had good relations with me... I have only a vague recollection that I did have a discussion [at Copenhagen, in 1933] with Majorana about the newest developments in quantum electrodynamics>>. ⁽²²⁾

L'articolo di Pauli e Weisskopf a cui accenna GianCarlo Wick uscì nel 1934 (Helvetica Physica Acta 7(1934)709). Continua Wick: <<...Non ebbi mai occasione in seguito di parlare a Heitler di questo episodio... Non ci sarebbe da stupirsi se se ne fosse dimenticato, perché Majorana aveva parlato della cosa con quel tono distaccato e ironico che spesso usava anche a proposito delle cose sue. Insomma, senza darsi importanza...>>.

Un'altra testimonianza ci giunge, anche se indirettamente, dalla grande e tragica figura di Bruno Touschek. Il 29.10.76 da Rieti ci scriveva infatti Eliano Pessa: <<...Abbiamo discusso con Touschek il tuo lavoro su Majorana⁽²³⁾ in Scientia 110(1975)577; ha avuto da dire per ciò che riguarda il tuo elenco delle opere scientifiche di Majorana a pag.585. Secondo lui si dovrebbe aggiungere la teoria dell'"oscillatore di Majorana", che è implicitamente contenuta nella sua teoria del neutrino. L'oscillatore di Majorana è descritto da un'equazione del tipo $\ddot{q} + \omega^2 q = \epsilon \cdot \delta(t)$, dove ϵ è una costante e δ è la funzione delta di Dirac. Secondo Touschek le proprietà di questo oscillatore presentano un notevole interesse, specie per ciò che riguarda lo spettro energetico. Non vi è, comunque, una bibliografia in merito...>>. Il problema, in verità, sembra essere non tanto quello di risolvere l'equazione (ben nota), quanto di intendere cosa avesse in mente (quali condizioni al contorno, ad esempio) Bruno Touschek.

5.8. Erice

Anche se a tutti noto, non vogliamo tralasciare di ricordare come al nome di Ettore Majorana sia stato intitolato fin dal 1963

⁽²¹⁾ Premio Nobel 1945

⁽²²⁾ <<Sono molto contento che lei abbia trovato una lettera in cui Majorana dice di essere in buoni rapporti con me... Io ricordo solo vagamente che ebbi in effetti [a Copenaghen, nel 1933] a discutere con Majorana intorno ai più recenti sviluppi dell'elettrodinamica quantistica>>.

⁽²³⁾ E. Recami: "Nuove notizie sulla scomparsa del fisico E. Majorana", Scientia 110(1975)577-598.

il "Centro di cultura scientifica E. Majorana" di Erice, presso Trapani. Fondato e diretto da Antonino Zichichi, questo Centro —cui localmente prestano la loro operosa esperienza i dottori A. Gabriele e P. Savalli— è sede ogni anno di una sessantina di congressi. Erice è una isolata, incantevole cittadina di origini élimo-puniche, non lontana dai capolavori greci di Segesta e Selinunte. L'atmosfera del Centro Majorana è stata paragonata da qualcuno a quella mitica della Copenaghen degli anni venti. Con la fama conquistatasi, ha contribuito a tenere vivo il nome di Ettore tra gli studiosi di un centinaio di Paesi.

5.9. Wataghin

Approfittiamo, infine, dei ricordi di Wataghin per ritornare ai giorni di Lipsia. Gleb Wataghin, il noto fisico italiano di origine ucraina recentemente scomparso, fondatore della fisica brasiliana, ce ne ha lasciato una testimonianza nel 1975 presso l'Università di Campinas (Stato di San Paolo del Brasile), in una intervista raccolta in lingua portoghese presso l'Istituto di fisica che da lui prende il nome. Il linguaggio, ovviamente, è colloquiale: <<A Lipsia, ove lavorava Heisenberg, incontrai Jordan, Debye, Max Born che vi stava arrivando, ed anche Ettore Majorana: giovane che pareceu, como era realmente, um verdadeiro genio... Il cameratismo, l'amicizia esistente tra gli scienziati...si manifestava, per esempio, nel modo in cui si svolgevano le discussioni scientifiche, così come le manifestazioni sportive. A Lipsia ci si riuniva, per un seminario di due ore, dalle due alle quattro del pomeriggio. Di mattina i teorici dormono.⁽²⁴⁾ Dopo si andava a giocare a ping-pong nella migliore biblioteca, su un tavolo per gli studenti. Posso dire che il campione era Heisenberg. Poi si andava a piedi in una birreria, e magari si giocava a scacchi. Si giocava a scacchi anche all'Istituto di fisica. Poiché Heisenberg era uno dei direttori, nessuno protestava che si giocasse a ping-pong o a scacchi in biblioteca: cosa impensabile, a quel tempo, in altri Isti-

²⁴ Ricordiamo la "definizione" di fisica di Orear: <<La Fisica è quella cosa che fanno i fisici la sera tardi>>.

tuti... Ai seminari giungeva gente di tutto il mondo. Per esempio, ricordo che una volta il seminario fu tenuto da Norzig e un suo collega: furono obbligati a una discussione molto impegnativa depois das perguntas que faziam o Heisenberg e o Ettore Majorana (a seguito delle domande che fecero H. ed E.M.)>>. Ancora, dichiara Wataghin nell'intervista: <<Vorrei ricordare in particolare la figura di Majorana, che —secondo il giudizio di molti, e in particolare dello stesso Fermi— era un genio eccezionale... Ammalato, soffriva di ulcera, mangiava quasi esclusivamente latte; non praticava sport o ginnastica; molte volte faceva delle lunghe passeggiate da solo. Poco comunicativo. Ma lo incontravamo ogni tanto, il sabato. Era molto critico: trovava che toda gente que ele encontrava era não preparada, ou estúpida, etc. Si occupava molto di leggi statistiche applicate alla materia nucleare... La simmetria di scambio tra protoni e neutroni poteva essere completa, compresi carica e spin; o riguardare solo la carica, o lo spin. Ciò non era stato proposto o studiato da altri. E la simmetria per scambio delle sole posizioni di protoni e neutroni (senza toccare lo spin) permetteva di comprendere statisticamente perché la materia nucleare dovesse avere una densità costante... Il che faceva sì che la teoria di Majorana avesse un grande vantaggio rispetto a quella proposta da Heisenberg>>.

6 - INTERESSE SCIENTIFICO E STORICO DELLE LETTERE

Nel marzo del 1972 abbiamo ritrovato, in collaborazione con la sorella Maria Majorana, l'epistolario di Ettore, costituito principalmente da due gruppi di lettere: quelle del 1933 (da Lipsia e Copenaghen) e quelle del 1938 (da Napoli). Fissiamo l'attenzione, qui, sulle lettere del '33. Ettore arriva a Lipsia il 19 gennaio 1933; e il 22 può scrivere:

<< Cara mamma, ...All'Istituto di Fisica mi hanno accolto molto cordialmente. Ho avuto una lunga conversazione con Heisenberg che è una persona straordinariamente cortese e simpatica. Sono in ottimi rapporti con tutti, specie con l'americano Inglis che avevo conosciuto a Roma e ora mi tiene frequentemente compagnia e mi fa da guida. Il mio tedesco migliora a vista d'oc-

chlo.

Fra pochi giorni avrò la visita di Bernardini⁽²⁵⁾ che risiede a Berlino-Dalhem e ritorna temporaneamente in Italia. Il clima è piacevole; un po' più freddo che a Roma ma senza vento... Se arrivano degli estratti del Nuovo Cimento⁽²⁶⁾ ti prego di farne inviare qui solo un piccolo numero, dieci al massimo, in busta aperta raccomandata (stampati raccomandati)... Se a Turillo [il fratello dr. Salvatore] capita di andare al Ministero dopo il 27 gennaio può ritirare il mio decreto di libera docenza (da Borsi)...>>.

Il 7 febbraio aggiunge:

<<E' arrivato a Roma Feenberg, un altro fisico americano con cui avevo stretto amicizia. Ci intendiamo abbastanza bene in tedesco. Domani comincia a Lipsia la cosiddetta "settimana magnetica" che richiama qui i fisici di quasi tutta la Germania; rivedrò parecchie vecchie conoscenze. Io conto di restare a Lipsia fino alla fine di febbraio: in marzo e aprile qui fanno infatti vacanza. Ne approfitterò per recarmi probabilmente a Zurigo da Pauli, uno dei più celebri scienziati viventi. Verranno con me anche Bloch, uno svizzero che ho conosciuto qui e che ha pure la virtù di parlare perfettamente l'italiano, e Inglis>>.

E al termine della "settimana magnetica", il 14 febbraio:

<<Cara mamma, ...Si è svolto a Lipsia un congresso internazionale di Fisica tra grande animazione. Ho stretto relazioni personali con vari illustri personaggi, particolarmente con Ehrenfest⁽²⁷⁾ che mi ha costretto a spiegargli minutamente alcuni miei lavori e mi ha invitato a recarmi in Olanda.

Il primo marzo andrò a Copenaghen in luogo di Zurigo, perché in Svizzera come in Germania in marzo e aprile le scuole sono chiuse, mentre in Danimarca si segue l'uso italiano. A Copenaghen troverò Bohr [premio Nobel 1922] e altri che già conosco personalmente. E' con Lipsia il centro più importante in Europa per la fisica teorica...>>.

Dopo pochi giorni, il 18, conferma il progetto di recarsi a Copenaghen scrivendo al padre:

<<Caro papà, ...Il 1° marzo mi recherò a Copenaghen da Bohr, il maggiore ispiratore della fisica moderna, ora un po' invecchiato e sensibilmente rimbambito...>>.

(25) Si riferisce a queste parole la lettera indirizzata da Gilberto Bernardini (ved. paragr. 4) il 9.5.84.

(26) Si riferisce all'articolo "Teoria relativistica di particelle con momento intrinseco arbitrario", Nuovo Cimento 9(1932)335.

(27) Paul Ehrenfest, uno dei fondatori della meccanica quantistica, morto tragicamente (suicida) quello stesso anno 1933.

Non deve sorprendere che Ettore sia sarcastico con Bohr. Come un rocciatore sestogradista, che ama le "direttissime", non degna di molta considerazione chi conquista le cime seguendo i sentieri naturali, o arrivandovi col paracadute, così Ettore —raffinatissimo, elegante e rigoroso arrampicatore dei picchi della fisica teorica— non guardava con simpatia ai colleghi, quando questi preferivano invece farsi un'idea intuitiva del panorama generale della fisica senza troppa attenzione al rigore. Ettore, inoltre, parla di Bohr senza averlo ancora conosciuto di persona; probabilmente influenzato da un collega pettegolo. In ogni caso, di lui dice, giustamente, essere il maggior ispiratore della fisica moderna: alla scuola di Bohr (il quale fin dal 1913 aveva edificato il modello dell'atomo a tutti noto) si erano successivamente formati quasi tutti i costruttori della meccanica quantistica.

Il 28 febbraio dichiara, però, al padre: <<Io mi fermerò probabilmente a Lipsia ancora due o tre giorni, perché devo chiacchierare con Heisenberg. La sua compagnia è insostituibile e desidero approfittarne finché egli rimane qui ... Ho a Copenaghen un vecchio amico, Placzek, che è stato un anno a Roma l'anno scorso>>. Sentimenti analoghi aveva già espresso alla madre il giorno 22: <<Mi dispiace molto di dover lasciare Lipsia dove ho trovato un'accoglienza molto cordiale, e vi ritornerò volentieri fra due mesi... [Heisenberg ed io] siamo diventati abbastanza amici in seguito a molte discussioni e ad alcune partite a scacchi. Le occasioni per queste sono offerte dai ricevimenti che egli offre tutti i martedì sera ai professori e studenti dell'istituto di fisica teorica...>>.

Ettore arriva a København il 4 marzo. Dal libro degli ospiti dell'Istituto di fisica di Copenaghen risulta che Ettore frequenta quello che ora si chiama "Niels Bohr Institutet"⁽²⁸⁾ dal 5 marzo al 12 aprile 1933. Dopo avere incontrato Bohr, già il 7 di marzo annota: <<Cara mamma, ... Bohr è un bonaccione; gli piace che io parli il tedesco peggio di lui e si è molto preoccupato di trovarmi una pensione vicino all'istituto. Sono in buoni rapporti con Møller e Weisskopf. Placzek è invisibile perché da tempo immemorabile è occupato a scrivere l'Handbuch. Mi ha telefonato più volte parlando ancora un buon tra-

⁽²⁸⁾ Situato, come oggi, in 15-17 Blegdamsvej (pronunciare Plaidams-vài).

steverino. Questa sera sono a cena da lui⁽²⁹⁾ con Weisskopf>>. La lettera di Weisskopf che abbiamo incontrato nel paragrafo 5.7 si riferisce a queste frasi di Ettore; naturalmente, più di cinquant'anni dopo, Victor Weisskopf non ricordava molto.

Il giorno 18 di marzo Ettore aggiunge:

<<Cara mamma, ... Bohr è partito per una decina di giorni. E' adesso in montagna con Heisenberg per riposarsi... A Copenaghen è molto popolare. Il proprietario di una grande fabbrica di birra gli ha costruito e offerto una graziosa villetta a cui si accede passando attraverso montagne di botti. E' un problema notoriamente difficile quello di scoprirne l'ubicazione per chi vi si reca per la prima volta. Ci sono andato una volta per un tè. Bohr in persona ha guidato i miei passi poiché sono stato abbastanza fortunato da incontrarlo mentre gironzolava in bicicletta per i dintorni...>>.

E il 29 di marzo: <<...E' tornato Bohr. Un nuovo acquisto: Rosenfeld, cioè tutta quanta la fisica teorica del Belgio...>>. Ancora una volta il tono di Ettore è scherzoso: sappiamo quanto egli sia sedotto dall'ironia. E si tenga presente che egli scrive non a colleghi, ma a familiari al di fuori del mondo internazionale della fisica teorica. Il suo atteggiamento va dunque considerato più irriverente e canzonatorio che sarcastico.

Rosenfeld, nel 1964, ha scritto per Amaldi una breve "lettera di ricordi" sui suoi incontri con Majorana: lettera che riportiamo nell'Epistolario.

Dopo il 12 di aprile, Ettore torna brevemente a Roma. (Già il 22/2/33 aveva annunciato: "Conto di partire da Copenaghen qualche giorno prima di Pasqua direttamente per Roma"; e il 29/3/33 scriveva: "Non desidero i fascicoli del Nuovo Cimento che troverò a Roma fra quindici giorni... Partirò intorno al 12 aprile").

All'inizio di maggio riprende a scrivere a casa da Leipzig. Il 23, ad esempio, scrive alla mamma: <<La situazione tedesca è molto tranquilla. La mia in particolare anche di più. Sono in rapporti cordiali con Heisenberg che ama le mie chiacchiere e mi insegna pazientemente il tedesco. Di questo devo fare uso esclusivo nella conversazione dopo la partenza di Bloch, buon consoci-

(29) Di George Placzek dice Segré: <<Placzek aveva vasti interessi anche al di fuori della fisica; conosceva bene molte lingue e letterature, la musica, e aveva profonde conoscenze storiche e politiche. Era un uomo pieno di saggezza, spiritoso, e di un'onestà e forza di carattere difficilmente eguagliabili>>.

tore del toscano. - Si annuncia col più grande rumore la prossima partenza dei 24 apparecchi di Balbo per l'America...>>.

7. LE LETTERE DEL 1938

7.1. L'annuncio delle lezioni

Le lettere del 1938, aventi rilevanza per le circostanze della sua scomparsa, sono state da noi analizzate altrove⁽³⁰⁾. Accenniamo brevemente solo a quelle che qui ci interessano, riferendosi al periodo in cui Majorana svolge le sue lezioni universitarie.

Verso la fine del 1937, Ettore riceve a casa, in Roma, la "partecipazione di nomina" a firma del Ministro dell'Educazione Nazionale, Giuseppe Bottai: <<Si comunica a V.S. che, in applicazione dell'art.8 del R.D.L. 20 giugno 1935-XIII, n.1071, si è disposta la nomina della S.V., indipendentemente dalla usuale procedura del concorso, a ordinario di fisica teorica presso la Facoltà di scienze della Regia Università di Napoli, per l'alta fama di singolare perizia cui Ella è pervenuta nel campo degli studi riguardanti la detta disciplina, con decorrenza dal 16 novembre 1937-XVI>>.

Majorana si reca a Napoli dopo l'Epifania (verso il 10 gennaio 1938), e il 12 —dalla sua nuova sede universitaria— risponde alla Direzione Generale della Istruzione Superiore: <<Ricevo comunicazione diretta da S.E. il Ministro per la mia nomina a ordinario di Fisica Teorica presso la Regia Università di Napoli, in applicazione dell'art.8 del R.D. n. 20 giugno 1935-XIII, n.1071. Nel porgerle rispettosamente a S.E. il Ministro l'espressione del mio grato animo per l'alta distinzione concessami, tengo ad affermare che darò ogni mia energia alla scuola e alla scienza italiane, oggi in così fortunata ascesa verso la riconquista dell'antico e glorioso primato. - Con osservanza - Ettore Majorana>>. Queste parole possono sembrare retoriche. Effettivamente sono "di circostanza"; ma sono vere: nel senso che dagli inizi degli anni trenta, come sappiamo, la fisica italiana era davvero in rapido sviluppo. Ed Ettore poteva ben permettersi di affermare il proprio contributo a tale ascesa. L'eventuale retorica è temperata, in ogni caso, dallo spirito ironico di Ettore, di cui vedremo tanti esempi nel suo Epistolario; proprio riguardo

⁽³⁰⁾ E. Recami: Il caso Majorana: Epistolario, testimonianze, documenti (Mondadori; Milano, 1987).

alla propria nomina il giorno prima aveva scritto alla madre:

<<Cara mamma,... oggi abbiamo comprato i mobili per il mio studio, graziosamente offerti dalla Facoltà. Praticamente l'Istituto si riduce alla persona di Carrelli, del vecchio aiuto Maione e del giovane assistente Caccemo. Vi è anche un professore di fisica terrestre difficile a scoprire. Ho trovato giacente da ben due mesi una lettera del Rettore in cui mi annunciava la mia nomina "per l'alta fama di singolare perizia". Non avendolo trovato, gli ho risposto con una lettera altrettanto elevata...>>.

Destava comunque sorpresa l'impegno a prodigarsi per la scuola e la scienza: impegno senza dubbio sincero, espresso due mesi soltanto prima del marzo 1938.

Nella medesima lettera dell' 11.1.38 da Napoli alla madre, Ettore scrive:

<<Cara mamma, - Ho annunziato l'inizio del corso per giovedì 13 alle ore nove. Ma non è stato possibile verificare se vi sono sovrapposizioni d'orario, così che è possibile che gli studenti non vengano e che si debba rimandare. Ho visto il preside con cui ho concordato di evitare ogni carattere ufficiale all'apertura del corso, e anche per questo non vi consiglierei di venire. Carrelli è stato molto gentile... L'istituto è molto pulito e in ordine, benché poco attrezzato.

L'albergo Napoli è discreto, con prezzi ragionevoli; così è probabile che vi rimarrò per qualche tempo. Napoli, almeno nella parte centrale, ha un aspetto molto decoroso, benché sia strana la scarsità di veicoli. Vi scriverò giovedì sulle vicende della prima lezione. (31).

Saluti affettuosi - Ettore>>.

Trascriviamo qui di seguito gli appunti di Ettore per la sua lezione inaugurale. Il manoscritto, ritrovato nel 1972, è stato da noi reso noto nel 1982 (Corriere della Sera del 19.10.82) in occasione del cinquantenario di molte delle sue ricerche più importanti. Trattandosi di note stese a scopo personale, e non di pubblicazione, esse sono state leggerissimamente "editate".

³¹ La famiglia, invece, si presentò puntuale il giovedì 13 gennaio 1938, alle ore nove, per assistere alla prolusione di Ettore: come ricorda la sorella Maria.

7.2. Gli appunti per la lezione inaugurale (13.1.38)

<< In questa prima lezione di carattere introduttivo illustreremo brevemente gli scopi della fisica moderna e il significato dei suoi metodi, soprattutto in quanto essi hanno di più inaspettato e originale rispetto alla fisica classica.

<< La fisica atomica, di cui dovremo principalmente occuparci, nonostante le sue numerose e importanti applicazioni pratiche — e quelle di portata più vasta e forse rivoluzionaria che l'avvenire potrà riservarci —, rimane anzitutto una scienza di enorme interesse speculativo, per la profondità della sua indagine che va veramente fino all'ultima radice dei fatti naturali. Mi sia perciò consentito di accennare in primo luogo, senza alcun riferimento a speciali categorie di fatti sperimentali e senza l'aiuto del formalismo matematico, ai caratteri generali della concezione della natura che è accettata nella nuova fisica.

--- --- ---

<< La fisica classica (di Galileo e Newton) all'inizio del nostro secolo era interamente legata, come si sa, a quella concezione meccanicistica della natura che dalla fisica è dilagata non solo nelle scienze affini, ma anche nella biologia e perfino nelle scienze sociali, informando di sé in tempi a noi abbastanza vicini tutto il pensiero scientifico e buona parte di quello filosofico; benché, a dire il vero, l'utilità del metodo matematico che ne costituiva la sola valida giustificazione sia rimasta sempre circoscritta esclusivamente alla fisica.

<< Questa concezione della natura poggiava sostanzialmente su due pilastri: l'esistenza oggettiva e indipendente della materia, e il determinismo fisico. In entrambi i casi si tratta, come vedremo, di nozioni derivate dall'esperienza comune e poi generalizzate e rese universali e infallibili soprattutto per il fascino irresistibile che anche sugli spiriti più profondi hanno in ogni tempo esercitato le leggi esatte della fisica, considerate veramente come il segno di un assoluto e la rivelazione dell'essenza dell'universo: i cui segreti, come già affermava Galileo, sono scritti in caratteri matematici.

<< L'oggettività della materia è, come dicevo, una nozione dell'esperienza comune, poiché questa insegna che gli oggetti materiali hanno un'esistenza a sé, indipendente dal fatto che essi cadano o meno sotto la nostra osservazione. La fisica matematica classica ha aggiunto a questa constatazione elementare la precisazione o la pretesa che di questo mondo oggettivo è possibile una rappresentazione mentale completamente adeguata alla sua realtà, e che questa rappresentazione mentale può consistere nella conoscenza di una serie di grandezze numeriche sufficienti a determinare in ogni punto dello spazio e in ogni istante lo stato dell'universo fisico.

<< Il determinismo è invece solo in parte una nozione dell'esperienza comune. Questa dà infatti al riguardo delle indicazioni contraddittorie. Accanto a fatti che si succedono fatalmente, come la caduta di una pietra abbandonata nel vuoto, ve ne sono altri — e non solo nel mondo biologico — in cui la successione fatale è per lo meno poco evidente. Il determinismo in quanto principio universale della scienza ha potuto perciò essere formulato solo come generalizzazione delle leggi che reggono la meccanica celeste. È ben noto che un sistema di punti — quali, in rapporto alle loro enormi

distanze, si possono considerare i corpi del nostro sistema planetario— si muove e si modifica obbedendo alle leggi di Newton... (*omissis*)... Ne segue che la configurazione futura del sistema può essere prevista con il calcolo purché se ne conosca lo stato iniziale (cioè l'insieme delle posizioni e velocità dei punti che lo compongono). E tutti sanno con quale estremo rigore le osservazioni astronomiche abbiano confermato l'esattezza della legge di Newton; e come gli astronomi siano effettivamente in grado di prevedere con il suo solo aiuto, e anche a grandi distanze di tempo, il minuto preciso in cui avrà luogo un'eclisse, o una congiunzione di pianeti o altri avvenimenti celesti.

--- --- ---

<<Per esporre la meccanica quantistica nel suo stato attuale esistono due metodi pressoché opposti. L'uno è il cosiddetto metodo storico: ed esso spiega in qual modo, per indicazioni precise e quasi immediate dell'esperienza, sia sorta la prima idea del nuovo formalismo; e come questo si sia successivamente sviluppato in una maniera obbligata assai più dalla necessità interna che non dal tenere conto di nuovi decisivi fatti sperimentali. L'altro metodo è quello matematico, secondo il quale il formalismo quantistico viene presentato fin dall'inizio nella sua più generale e perciò più chiara impostazione, e solo successivamente se ne illustrano i criteri applicativi. Ciascuno di questi due metodi, se usato in maniera esclusiva, presenta inconvenienti molto gravi.

<<E' un fatto che, quando sorse la meccanica quantistica, essa incontrò per qualche tempo presso molti fisici sorpresa, scetticismo e perfino incomprensione assoluta, e ciò soprattutto perché la sua consistenza logica, coerenza e sufficienza appariva, più che dubbia, inafferrabile. Ciò venne anche, benché del tutto erroneamente, attribuito a una particolare oscurità di esposizione dei primi creatori della nuova meccanica; ma la verità è che essi erano dei fisici, e non dei matematici, e che per essi l'evidenza e giustificazione della teoria consisteva soprattutto nell'immediata applicabilità ai fatti sperimentali che l'avevano suggerita. La formulazione generale, chiara e rigorosa è venuta dopo, e in parte per opera di cervelli matematici. Se dunque noi rifacessimo semplicemente l'esposizione della teoria secondo il modo della sua apparizione storica, creeremmo dapprima inutilmente uno stato di disagio o di diffidenza, che ha avuto la sua ragione d'essere ma che oggi non è più giustificato e può essere risparmiato. Non solo, ma i fisici — che sono giunti, non senza qualche pena, alla chiarificazione dei metodi quantistici attraverso le esperienze mentali imposte dal loro sviluppo storico — hanno quasi sempre sentito a un certo momento il bisogno di una maggiore coordinazione logica, di una più perfetta formulazione dei principi, e non hanno sdegnato per questo compito l'aiuto dei matematici.

<< Il secondo metodo, quello puramente matematico, presenta inconvenienti ancora maggiori. Esso non lascia in alcun modo intendere la genesi del formalismo e in conseguenza il posto che la meccanica quantistica ha nella storia della scienza. Ma soprattutto esso delude nella maniera più completa il desiderio di intuirne in qualche modo il significato fisico, spesso così facilmente soddisfatto dalle teorie classiche. Le applicazioni, poi, benché innumerevoli, appaiono rare, staccate, perfino modeste di fronte alla sua soverchia e incomprensibile generalità.

<< Il solo mezzo di rendere meno disagiata il cammino a chi intraprende oggi lo studio della fisica atomica, senza nulla sacrificare della genesi storica delle idee e dello stesso linguaggio che dominano attualmente, è di premettere un'esposizione il più possibile ampia e chiara degli strumenti matematici essenziali della meccanica quantistica, in modo che

essi siano già pienamente familiari quando verrà il momento di usarli e non spaventino allora o sorprendano per la loro novità: e si possa così procedere speditamente nella derivazione della teoria dai dati dell'esperienza.

<<Questi strumenti matematici in gran parte preesistevano al sorgere della nuova meccanica (come opera disinteressata di matematici che non prevedevano un così eccezionale campo di applicazione), ma la meccanica quantistica li ha "sforzati" e ampliati per soddisfare alle necessità pratiche; così essi non verranno da noi esposti con criteri di matematici, ma di fisici. Cioè senza preoccupazioni di un eccessivo rigore formale, che non è sempre facile a raggiungersi e spesso del tutto impossibile.

<<La nostra sola ambizione sarà di esporre con tutta la chiarezza possibile l'uso effettivo che di tali strumenti fanno i fisici da oltre un decennio, nel quale uso — che non ha mai condotto a difficoltà o ambiguità — sta la fonte sostanziale della loro certezza.>>

Ettore Majorana.

7.3. Le successive lezioni

Ettore faceva lezione la mattina dei "giorni pari" della settimana: martedì, giovedì e sabato. Avendo iniziato il giovedì 13, sabato 22 gennaio aveva già svolto la sua quinta lezione universitaria. Nella stessa data, questa volta su carta intestata dell'Istituto di Fisica, R. Università di Napoli, Via A. Tari 3, scrive infatti:

<<22 gennaio 1938-XVI - Cara mamma, - Ho avuto la tua lettera e il pacco della biancheria. Non sono raffreddato. Ho finito adesso la quinta lezione. Sono ancora al [l'albergo] Terminus, ma andrò prossimamente in una pensione. Carrelli è tuttora a Roma. Il tempo si è rimesso al bello. Nel corso della prossima settimana sarò a corto di denari; perciò potresti pregare Luciano di ritirare la mia parte del conto alla banca e magari di mandarmela tutta, tenendo conto dei prelevamenti precedenti e dopo avermi restituito le mille lire che mi hai dato ultimamente. Ho buoni indirizzi per pensioni fornitimi dall'infermiera. Credo che verrò fra pochi giorni ma solo per poche ore perché debbo ritirare un libro da Treves e altri da casa.

Saluti affettuosi e arrivederci - Ettore>>.

Seguono tre lettere informative, brevi, ma che non fanno presagire (o non lasciano trasparire) alcun travaglio interiore. Nella prima Ettore dice, tra l'altro: <<Napoli, 23-2-1938-XVI - Cara mamma - Sono all'albergo Bologna, via Depretis, che è abbastanza buono e molto pulito. Personale quasi tutto bolognese. Ho una stanza discreta; oggi me ne daranno una migliore... Verrò forse dopo carnevale. Saluti affettuosi - Ettore>>.

La seconda, del 9 marzo, rispondendo alle preoccupazioni ma-

terne, recita: <<Cara mamma - Ho avuto la tua lettera. Prenderò tutte le precauzioni per la biancheria. Dei cartelli affermano con molta enfasi che i servizi di stireria e lavanderia sono inappuntabili. - Qui c'è un tempo bellissimo, ideale per navigare nel golfo... - Spero di venire in fine settimana. - Saluti affettuosi>>.

La terza è inviata al fratello Salvatore: <<Napoli, 19-3-1938-XVI - Caro Turillo, - Ho avuto la tua. Per ora non vengo perché lunedì ho alcune faccende da sbrigare all'anagrafe e altrove. Vedrò se è possibile avere il libretto per la mamma, ma non vedo come si possa affermare la convivenza perché io ho l'obbligo di prendere la residenza a Napoli, anzi l'ho già presa provvisoriamente qui in albergo, alias via Depretis 72. - Vi mando un telegramma perché non mi aspettiate stasera, ma verrò certamente sabato prossimo>>.

Il "sabato prossimo" sarà quello (26 di marzo) della sua scomparsa. Della sua ultima lettera: da Palermo —dopo il viaggio in nave Napoli-Palermo— a Carrelli.

Venerdì 25, infatti, riprende in mano la penna per redigere la sua "prima lettera a Carrelli" (da noi riportata in nota ⁽¹¹⁾), paragr.4) e la missiva "Alla mia famiglia"...

Ma noi qui ci fermiamo. Le questioni propriamente biografiche, anche se di straordinario interesse, non trovano posto in questa sede, e sono state da noi esposte altrove⁽³⁰⁾. Chiudiamo invece con alcune note circa la calligrafia di Ettore.

8 - LO STILE. EPILOGO

Anche l'esame della calligrafia di Ettore, aiutandoci forse a comprendere il suo animo, può essere per noi illuminante. Un colto amico, storico e saggista in incognito —che nascostamente si diletta anche di grafologia—, acconsentì nel 1972 a studiare uno scritto di Majorana. Ecco il responso del dr. Gianni Sansoni: <<Carissimo, mai come in questo momento la grafologia si rivela una cosa inutile ed anche irriguardosa. Io penso che a Majorana possono benissimo adattarsi le raccomandazioni di Cesare Pavese: non fate pettegolezzi. Ma quando mai

c'è stato rispetto per i solitari?... Dico questo perché la conversazione di ieri sera ha rafforzato un convincimento che mi ero fatto su Ettore Majorana, e cioè che prima di tutto egli era (non è escluso che lo sia ancora) di elevate qualità morali e che molto deve avere sofferto... Comunque, la prima impressione è che si tratta di un soggetto irrequieto, mai soddisfatto di sé né degli altri. Ciò che aggrava il quadro è la seconda scoperta, cioè che il suo animo non sembra ancorato a una divinità o ad un mito. Anzi, rilevo, nell'uso di certe lettere, una scarsa propensione per vedere "al di là delle cose". Ti riconfermo che il soggetto è fondamentalmente positivista, dotato di logica stringente, consequenziale. Terza "sgradita" sorpresa: l'introversione, che si alimenta con un vasto fondo di scetticismo e di pessimismo. Insomma, sin qui abbiamo un quadro di individuo un po' gattopardiano, influenzato da una classe e da una situazione secolare ben definite. Capisci? La logica naturale, e la forte volontà, innestandosi sullo scetticismo, lo costringono probabilmente a veri e propri dubbi e tormenti, cui non vuole sottrarsi se non superandoli logicamente. Un tragico circolo chiuso che solo una finalità, uno scopo, un'autentica teleologia potevano sciogliere. Permettimi alcuni accenni sull'aspetto generale delle lettere. Ottimo stile, elegante, signorile, il che si attaglia al suo aspetto fisico. Esse rivelano poi un amore di precisione, un desiderio estremo di chiarezza, una logica —ancora— profonda e ineliminabile. E la citazione della "ragazza ibseniana" è solo un vezzo culturale o, sotto sotto, non svela il timore di identificarsi nel desiderio di un rinnovamento? Abbiamo parlato del mare che lo ha "rifiutato" e dell'espressione "vi ricorderò fino alle undici": altalena di sentimenti (le canzoni tango dell'epoca sono piene di lui e di lei che vanno, vengono, scappano, tornano,...), o non piuttosto senso panico di una scadenza, di un dovere cui non ci si può sottrarre? Come vedi non possiamo chinarci su di una persona senza iniziare un discorso che non può che essere troppo lungo... Posso però dire questo: che il Majorana doveva essere persona mite e buona, bisognosa d'affetto più che mai e penso che miglior elogio non gli si possa fare che avvicinandoci alle sue vicende con rispetto e comprensione>>.

9 - ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI DI ETTORE MAJORANA

- 1 - "Sullo sdoppiamento dei termini Roentgen ottici a causa dell'elettrone rotante e sulla intensità delle righe del Cesio", in collaborazione con Giovanni GENTILE jr.: Rendiconti Accademia Lincei, vol. 8, pp. 229-233 (1928).
- 2 - "Sulla formazione dello ione molecolare di He": Nuovo Cimento, vol. 8, pp. 22-28 (1931).
- 3 - "I presunti termini anomali dell'Elio": Nuovo Cimento, vol. 8, pp. 78-83 (1931).
- 4 - "Reazione pseudopolare fra atomi di Idrogeno": Rendiconti Accademia Lincei, vol. 13, pp. 58-61 (1931).
- 5 - "Teoria dei tripletti P' incompleti": Nuovo Cimento, vol. 8, pp. 107-113 (1931).
- 6 - "Atomi orientati in campo magnetico variabile": Nuovo Cimento, vol. 9, pp. 43-50 (1932).
- 7 - "Teoria relativistica di particelle con momento intrinseco arbitrario": Nuovo Cimento, vol. 9, pp. 335-344 (1932).
- 8 - "Über die Kerntheorie": Zeitschrift für Physik, vol. 82, pp. 137-145 (1933).
- 8bis - "Sulla teoria dei nuclei": La Ricerca Scientifica, vol. 4(1), pp. 559-565 (1933).
- 9 - "Teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone": Nuovo Cimento, vol. 14, pp. 171-184 (1937).
- 10 - "Il valore delle leggi statistiche nella fisica e nelle scienze sociali" (pubblicazione postuma, a cura di G. Gentile jr.): Scientia, vol. 36, pp. 55-66 (1942).

CAPITOLO II9:

ELENCO DEI MANOSCRITTI SCIENTIFICI INEDITI DI E.MAJORANA. (**)

1 - INTRODUZIONE

La maggior parte dei manoscritti scientifici lasciati da Ettore Majorana si trovano presso la "Domus Galilaeana" di Pisa.⁽¹⁾ Essi comprendono essenzialmente: (a) la tesi di laurea; (b) dodici fascicoli (riordinati da R.Liotta⁽²⁾); (c) cinque volumetti manoscritti; (d) e diciotto quaderni.

I "volumetti" sono stati redatti da Majorana tra il 1927 e il 1930, tranne l'ultimo che è stato scritto presumibilmente nel 1932 (non prima, perché il volumetto V° contiene a pag.8 la schematizzazione dell'interazione nucleare, mediante scattering da buca sferica a profilo rettangolare, sotto il titolo "Urto fra protoni e neutroni": e il nome neutrone venne coniato nel 1932⁽³⁾); e non dopo, perché verso il termine vi si incontrano i prodromi del suo articolo n.7, uscito nel 1932). Essi sono quaderni-libro, ordinatissimi, divisi in capitoli, con pagine numerate e indice. I loro indici sono stati già resi noti da Liotta⁽²⁾. Nei "volumetti" --scritti ciascuno nel tempo di un anno circa-- Ettore sintetizza tutto ciò che ritiene essenziale dei suoi studi, prima di studente universitario e poi di ricercatore. Come si è già detto, tali "volumetti" potrebbero essere riprodotti così come sono, e costituire un ottimo testo moderno di consultazione in fisica teorica per gli studenti universitari di oggi. Essi, tra parentesi, mettono in evidenza una delle caratteristiche più geniali di Ettore: cioè la capacità di scernere fra tutto il materiale gli elementi matematici e fisici più importanti per gli sviluppi futuri.

(**) A cura di M.Baldo, R.Mignani e E.Recami.

(¹) E.Amaldi: "La vita e l'opera di E.Majorana" (Acc. dei Lincei; Roma, 1966).

(²) R.Liotta: in ref.⁽¹⁾, pag.91.

(³) Ved., ad es., P.Caldirola e E.Recami: voci "Teorie fondamentali" e "Componenti fondamentali della materia" in Scienza e Tecnica del Novecento (EST/Mondadori; Milano, 1977).

2 - I "VOLUMETTI": CENNO

A volte i "volumetti" contengono anche spunti originali. Qui segnaliamo, in breve, quanto segue.

- vol. II°: nel capitolo 31, a pag.78, Majorana cerca di ricavare la relazione $e^2 = \alpha \hbar c$;
- vol. III°: nel cap.18, a pag.105, sotto il titolo "Matrici di Dirac e Gruppo di Lorentz" (scritto tra il 28.06.29 e il 23.04.30), tratta il problema delle rappresentazioni di un numero generico p di matrici di Dirac con un numero arbitrario n di dimensioni: cioè il problema dell'equazione d'onda relativistica di un oggetto con spin arbitrario in uno spazio-tempo p -dimensionale;
- vol. V° : nel cap.2, a pag.8, tratta —come si è detto— dell'urto fra il protone e l'appena scoperto neutrone (prescindendo dallo spin del neutrone: "se esiste", dice); nel cap.8, a pag.36, comincia la trattazione delle rappresentazioni unitarie a infinite dimensioni del gruppo di Lorentz, che sfocerà nell'articolo n.7 del 1932.

3 - I QUADERNI SCIENTIFICI

Concentriamo la nostra attenzione sui diciotto quaderni scientifici, in cui Ettore stende le parti più importanti delle sue ricerche (dopo i primi tentativi eseguiti, insieme con i calcoli numerici, su fogli a parte, raccolti ora nei fascicoli). Di questi quaderni non è stato finora pubblicato alcun catalogo accettabile. Qui si rende noto, pertanto, il catalogo da noi (M.Baldo, R.Mignani e E.Recami) redatto circa 15 anni fa e finora inedito; anche se esso, qua e là, presenta ancora qualche incertezza,

I quaderni non recano date, e la loro (preesistente) numerazione non segue l'ordine cronologico: per esempio Ettore compilò il quaderno IX° ancora da studente.

Osserviamo infine come l'esame dei manoscritti inediti suggerisca che anche il materiale per l'articolo n.9 (pubblicato solo nel 1937, alle soglie del Concorso a cattedre universitarie) sia stato sostanzialmente preparato da Ettore entro il 1933.

CATALOGO DEI QUADERNI SCIENTIFICI

4 = QUADERNO 1

- p. 1: Risoluzione dell'eq. di Schroedinger con campo coulombiano regolarizzato nell'origine (ad es. per il caso di scattering di elio su idrogeno):
- (a) metodo perturbativo, con sostituzione di β/\underline{r} con $\beta/\sqrt{\underline{r}^2+a^2}$;
- (b) tentativo di risoluzione, con β/\underline{r} per $r > \underline{R}$, e costante negativa per $\underline{r} < \underline{R}$;
- (c) trattazione standard dello scattering da potenziale coulombiano.
- p.14: Gruppo di Lorentz ed equazioni relativistiche del moto: lontana anticipazione dell'articolo n.7 del 1932, con introduzione degli operatori a e b ivi contenuti. Ricordiamo che il manoscritto di tale articolo è allegato al fascicolo n.8, busta II^a, e che interessante vi è una pagina poi cancellata da Majorana.
- p.26: Algebra degli spinori di Dirac, in relazione anche al suddetto articolo n.7 (1932) e all'articolo n.9 del 1937.
- p.37: Di nuovo Gruppo di Lorentz e Algebre spinoriali: equazioni relativistiche(in relazione all'articolo n.7).
 Matrici di Dirac, di Weyl, di Majorana.
 Equazioni relativistiche al limite non-relativistico (mediante decomposizione degli spinori a 4 componenti o di spinori più generali).
- p.42: Atomo di Idrogeno relativistico.
- p.48: Appunti vari (eq. di Dirac; Gruppo di Lorentz).
- p.50: Appunti sulle regole di quantizzazione tipo Dirac.
- p.51: Da capo, Atomo di H relativistico: trattazione standard, con tabulazione delle funzioni d'onda angolari.
- p.64: Onde sferiche relativistiche.
- p.66: Quantizzazione del campo elettromagnetico libero (principio variazionale; trasformazioni di Lorentz del campo elettromagnetico; gauge di Coulomb; quantizzazione). A questa pa-

- gina erano inseriti dei fogli di carta da lettere listati a lutto (forse del 1934, anno della scomparsa del padre).
- p.76: Seguono 25 pagine lasciate in bianco, apparentemente per lavoro ancora da svolgere.
- p.101: Teoria dell'elettrone.
Caso di due elettroni liberi.
Tentativo per il caso di due elettroni interagenti.
- p.106: Scattering di particelle da un potenziale (teoria formale dello scattering): (a) metodo di Dirac; (b) metodo di Born; (c) tentativo di calcolo al secondo ordine.
- p.114: Onda piana in coordinate paraboliche.
- p.118: Inizio di studio delle frequenze di oscillazione (piccole oscillazioni) nell' NH_3 .
- p.121: Passaggio di un atomo orientato nei pressi di un punto di campo magnetico nullo (cfr. articolo n.6 del 1932).
- p.132: Equazioni relativistiche del moto: Quantizzazione della equazione di Dirac.
- p.141: Inizio di tabella sulle funzioni di Bessel.
- p.145: Teoria di Dirac (?): tentativo di introduzione di insoliti operatori di traslazione spazio-temporale.
- p.150: Equazione di Dirac a massa nulla (equazione di Weyl).
Inizio di teoria a due componenti del neutrino.
- p.154: Corpo rigido (ved. anche pag.180).
- p.161: Orbitali interni del Calcio. Calcolo con potenziale coulombiano più potenziale schermato (fenomenologico): risoluzione approssimata, apparentemente originale. Caso 1s.
- p.180: Rappresentazione del Gruppo delle rotazioni: cenno.
- p.186: Appunti di teoria degli stati instabili (cfr. la Tesi di laurea). Cenno sulla correlazione di incertezza energia-tempo.

5 - QUADERNO 2

- p. 1: Calcoli vari di elettromagnetismo classico.
- p. 3: Problema dei due centri (ad es. per molecola di H): soluzione per vari casi generali, con calcolo della normalizzazione.
- p.35: Piccoli calcoli di Relatività generale.
- p.37: Continuazione da pag.112 (vedi).
- p.38: Campo di Dirac: calcoli vari. ("Versuchenweiser").
- p.46: Equazione di Dirac: decomposizione in quattro equazioni componenti, disaccoppiate al limite non relativistico. Idem, dedotta da un principio variazionale; e nuova decomposizione. Problema della definizione positiva della densità di carica.
- p.60: Idem: calcolo degli stati stazionari.
- p.69: Carica deformabile (problema risolto).
- p.75: Trasformazioni di Lorentz ed Equazioni di Maxwell.
- p.79: ?
- p.81: Equazione relativistica per particella libera o in campo elettromagnetico.
- p.86: Approccio preliminare al nucleo atomico come formato da bosoni positivi e bosoni negativi. Campo scalare complesso per particelle cariche. (Nel complesso, teoria non di facile interpretazione).
- p.98: Carica in moto relativistico.
- p.101: Elettrodinamica quantistica (quantizzazione del campo elettromagnetico), fino a pag.112.
- p.101: Alla pagina 101 sono allegate sette pagine (pagg.101/1 - - 101/7) con lo studio delle analogie tra le equazioni di Maxwell e l'equazione di Dirac (cfr. anche Quaderno 3, p.20). Tale allegato ha dato origine all'articolo "About a Dirac-like equation for the photon, according to E.Majorana" (di M.Baldo, R.Mignani e E.Recami): Lett.Nuovo Cimento 11(1974)568; e, più recentemente, agli articoli di E.Gianetto: Lett.Nuovo Cimento 44(1985)140 e 145.

- p.113: Spinori di Dirac.
- p.115: Calcoli numerici.
- p.121: Ancora sul problema dei due centri (un elettrone e due nuclei).
- p.130: Ancora sul problema coulombiano puro (nuovo metodo di risoluzione).
- p.137: Ancora sull'equazione di Dirac.
- p.141: Sovrapposizione di campi di Maxwell e Dirac. Calcoli vari. Quantizzazione.
- p.150: Ancora sugli stati stazionari per l'equazione di Dirac. Questione dell'elicità (?).
- p.157: Calcoli perturbativi. Correlazione d'incertezza energia-tempo. Calcoli vari. Approssimazioni varie. Equazioni algebriche.
- p.170: Calcolo approssimato di un integrale.
- p.171: Calcoli vari.
- p.176: Atomo di H in un campo elettrico.
- p.178: idem, più carica infinitesima.
- p.182: Equazioni di Maxwell.
- p.184: Spinore di Dirac; tetra-corrente di Dirac. Calcoli di non facile interpretazione.
- p.195: Matrici di Pauli.

6 = QUADERNO 3

- p. 1: Teoria di Dirac generalizzata a spin superiori.
Trasformazioni infinitesime di Lorentz nella rappresentazione ordinaria (in 4 dimensioni cartesiane).
- p. 2: idem: teoria di Dirac a $2n(n+1)$ componenti.
- p. 8: idem: casi $n=1$ (quattro componenti) e $n=2$ (dodici componenti).
- p.11: Irraggiamento: equazioni di Maxwell con vettore elettromagnetico complesso $\underline{Z} = \underline{E} + i\underline{H}$.

- p.16: idem: caso del campo agente su una carica in moto radiale. Introduzione di formalismo analogo a quello quantistico per la descrizione del campo elettromagnetico (attraverso la posizione $\Psi_j = E_j - iH_j$).
- p.20: Tentativo di scrittura delle equazioni di Maxwell in maniera simile alla equazione di Dirac. (Questione della realtà fisica della funzione d'onda del fotone?).
- p.26: elenco di alcuni argomenti
- p.28: Tabella
- p.29: Urto fra due elettroni (metodo di Møller).
- p.31: Elettrone in campo elettromagnetico: calcoli per trovare la hamiltoniana.
- p.34: L'operatore $\sqrt{1 - \Delta^2}$ (operatore energia); equazione di Klein-Gordon non quadratica?
- p.35: Riprende un precedente esercizio.
- p.36: Equazione di Dirac con campo centrale (atomo di H relativistico). Correzioni relativistiche standard all'atomo di H.
- p.38: Scattering elastico coulombiano.
- p.41: Effetto Compton (teoria di Dirac): solo impostazione.
- p.42: Pagine lasciate in bianco, fino a pag.60.
- p.61: Campo elettromagnetico in una scatola cubica.
- p.63: idem: quantizzazione in coordinate cartesiane. Allegatevi due pagine (Z/1 e Z/2): ved. avanti.
- p.67: Sui campi elettromagnetico e di Dirac (elettrodinamica quantistica: hamiltoniana di un elettrone nel campo elettromagnetico), apparentemente con campo elettromagnetico quantizzato e campo di Dirac non quantizzato.
- p.71: Trasformazioni di Lorentz rappresentate mediante matrici 2×2 . Rappresentazione spinoriale del Gruppo di Lorentz.
- p.75: pagine in bianco, fino a pag.94.
- p.95: Irraggiamento dipolare; Calcoli perturbativi.

- p.99: Piccolo problema di elettrostatica.
- p.100: Effetto Auger: tentativo abortito.
- p.101: Calcoli sullo spettro continuo dell'energia di un sistema.
- p.102: Calcoli elementari combinatoriali sul gruppo simmetrico di permutazione (Tabella di Young).
- p.103: Teoria della diffusione coerente e incoerente (metodo di Dirac)?
- p.108: Seguono cinque pagine in bianco.
- p.113: Questioni dal testo di Wittaker e Watson (Formule di Darboux; Numeri e polinomi di Bernouilli; Equazioni differenziali del 2° ordine).
- p.119: idem: funzione Gamma e applicazioni.
- p.131: idem: funzione ζ di Riemann.
- p.135: Ancora calcoli sul problema dell'atomo di H con carica infinitesima vicina.
- p.138: Seguono cinque pagine bianche.
- p.143: Semplici calcoli.
- p.144: Continuazione da pag.188 (vedi). Calcoli con segno di richiamo uguale a quello presente alle pagine 37 e 112 del Quaderno 2.
- p.155: Irraggiamento in una cavità. Quantizzazione.
- p.160: Ancora sul campo elettromagnetico con vettore elettromagnetico complesso: nuovo metodo per descrivere il campo elettromagnetico in analogia a quello di Dirac (apparentemente per esplorare il significato della funzione d'onda quantistica).
- p.162: Campo elettromagnetico prodotto da un quadrupolo?
- p.163: Calcolo sulle cariche magnetiche (con pagina strappata).
- p.165: Calcoli vari.
- p.166: Piccoli calcoli sulla teoria perturbativa.
- p.169: Calcoli sul vettore di Poynting.
- p.170: Inizio di lavoro sulla equazione di Dirac, che continua alle pagg. 180-188 e alle pagg.144 e segg.

p.174: Bianca

p.175: Fino a pag.179, parentesi di calcoli in Seconda Quantizzazione sui problemi delle tre particelle (con correlazioni a due particelle), dell'oscillatore armonico, e delle particelle identiche. (?)

p.180: Fino a pag.188, riprende il lavoro di pag.170 sulle onde piane a frequenze positive e negative dell'equazione di Dirac. Teoria di non facile interpretazione, probabilmente in preparazione dell'articolo n.9 (pubblicato poi nel 1937).

p.188: Calcoli.

ALLEGATI: A questo Quaderno 3 sono allegati vari fogli:

pp.A/1-1 + A/4-3 (15 pagg. numerate): Calcoli sulla equazione di Dirac generalizzata a spin superiori: caso della teoria a 12 componenti. [Ciascuno dei fogli A/1 ÷ A/4 è costituito da due pagine, ovvero da quattro facciate].

pp.B/2-1 ÷ B/2-4 (quattro pagg.): Calcoli sul momento angolare per l'equazione di Dirac.

pp.C/1-1 + C/1-4 (quattro pagg.): Calcoli sull'equazione di Dirac con campo elettromagnetico.

pp.C/11-1 ÷ C/11-4 (quattro pagg.): idem.

pp.Z/1 ÷ Z/2: Seconda Quantizzazione del campo di Dirac?

7 = QUADERNO 4

p. 1: Calcoli numerici.

p. 7: Atomo di H perturbato, e calcoli.

p.25: Trasformazioni di Lorentz. Esercizi.

p.27: Calcoli vari.

p.30: Equazione (di d'Alembert) delle onde: semplici calcoli.

p.32: Trasformate di Fourier.

p.38: Calcoli vari (Algebra gruppale; Funzioni di Eulero; Relazioni di Eulero per un solido geometrico; Gruppo simmetrico).

p.46: Corpo nero: semplici calcoli.

- p.48: Calcoli vari di Geometria sferica; sul Gruppo delle rotazioni in 4 dimensioni; ecc.
- p.54: Calcoli di non facile interpretazione.
- p.55: Matrici del momento angolare (nello spazio ordinario) per vari valori del momento.
- p.60: Equazione differenziale del 2° ordine (una equazione agli autovalori, sembra generatrice di funzioni del tipo delle ipergeometriche).
- p.63: Rotatore rigido: problema agli autovalori.
- p.65: Calcoli vari (perturbativi, ecc.). Perturbazioni dipendenti linearmente dal tempo, per tempi brevi.
- p.69: Equivalenza energetica tra insieme canonico e microcanonico.
- p.70: Calcolo di un integrale.
- p.71: Semplici formule di termodinamica statistica.
- p.74: Equazione di Schroedinger per uno ione molecolare di idrogeno: cenno.
- p.74: Alla pag.74 sono allegate tre pagine (74/1 ÷ 74/3), con calcoli vari.
- p.77: Semplice algebra astratta.
- p.78: Termodinamica standard (trasformazioni di variabili; equazione di Clapeyron; abbozzo di calcolo termodinamico per vapore saturo in presenza del proprio liquido).
- p.82: Bianca.
- p.83: (Listino di borsa)
- p.84: Tre pagine in bianco.
- p.87: Ancora sulle equazioni tipo Dirac generalizzate: sviluppo esplicito del caso a 12 componenti.
- p.95: Tre pagine lasciate in bianco.
- p.98: Moto in coordinate polari (elementi). Sviluppo di un'onda piana in funzioni di Bessel. Equazione di Schroedinger in coordinate polari; caso del potenziale coulombiano.
- p.100: Risoluzione (della parte radiale) dell'equazione di Schroedinger con potenziale coulombiano, col metodo delle trasfor-

mate di Laplace.

- p.102: Studio dei polinomi di Legendre.
- p.106: Studio della funzione radiale per l'atomo di H (Funzioni coulombiane).
- p.106: Vi sono allegate tre pagine (106/1 + 106/3), sullo stesso argomento.
- p.108: Generatori delle rotazioni spaziali. Laplaciano in quattro dimensioni: scritto esplicitamente. Coordinate polari in quattro dimensioni euclidee. Gruppo delle rotazioni in quattro dimensioni.
- p.121: Seguono 16 pagine bianche.
- p.137: Tentativo di introduzione di coordinate polari nello spazio-tempo di Minkowski?
- p.138: Bianca.
- p.139: Equazione di Hamilton: semplici calcoli (cancellati). Vi sono allegate due pagine (139/1 - 139/2), sul moto relativistico di particella in campo elettromagnetico, e sulle funzioni ipergeometriche.
- p.143: Equazione di Dirac per l'atomo di H (campo centrale): più precisamente, correzioni relativistiche alle "correzioni di Rydberg per la struttura iperfina".
- p.149: Ancora sull'equazione di Dirac per l'atomo di H: struttura iperfina.
- p.154: Equazione di Dirac a 4 componenti.
- p.155: Equazione di Dirac a sedici componenti (matrici 16 x 16).
- p.158: idem, a 6 componenti.
- p.160: idem, a 5 componenti (case di Parastatistica?).
Poi, ancora, caso a 16 componenti.
- p.165: Momenti magnetici e struttura iperfina: trattazione standard. Calcolo sulla struttura fina (Formula di Landé).
- p.169: Calcolo relativistico del momento magnetico dell'atomo di H.
- p.171: Metodo originale per il calcolo del momento magnetico degli atomi (con la teoria di Dirac a sei componenti?).

p.174: Equazione di Dirac a 4 componenti, con interessanti modifiche.

8 - QUADERNO 5

- p. 1: Elettrodinamica e Relatività: equazione di Dirac per elettrone e positone. [Il frontespizio di tale quaderno reca la parola "Ghenos"].
- p. 3: Equazione di Schroedinger (da un libro).
- p. 5: Teoria quantistica dei campi, col formalismo variazionale. Caso delle energie negative. Equivalenza tra I^a e II^a quantizzazione.
- p. 8: Equazione di Schroedinger per un sistema di N partivelle.
- p.11: Oscillatore armonico unidimensionale quantistico, in Seconda Quantizzazione.
- p.14: Separazione degli operatori di creazione e annichilazione (non normali) in parte hermitiana e antihermitiana.
- p.15: Trasformazioni canoniche, con esempi.
- p.17: (?)
- p.18: idem: trasformazioni canoniche lineari.
- p.20: Semplici calcoli su trasformazioni canoniche.
- p.23: Moto piano di un punto in campo centrale.
- p.24: Limite non-relativistico dell'equazione di Dirac.
- p.26: Proprietà dell'operatore di traslazione in Meccanica Quantistica.
- p.28: Equazioni di Maxwell: principio variazionale.
- p.31: Evoluzione temporale di un insieme statistico, in meccanica classica e quantistica.
- p.32: Introduzione di una famiglia a_{pq} di operatori allo scopo di costruire in generale l'operatore quantistico $A(p,q)$ corrispondente ad una variabile dinamica classica $A(p,q)$: Confronto tra meccanica classica e quantistica, anche ai fini dell'interpretazione di quest'ultima. (continua)

- p.44: Esempio di trasformazione canonica infinitesima unidimensionale.
- p.45: Continuazione delle pagg.32-43. (continua ancora)
- p.51: Struttura iperfina per spettri complessi (accoppiamento R.S., ecc.).
- p.65: Varie equazioni d'onda (campi ritardati?). Continua a pag.76.
- p.71: Continuazione dalle pagg.45-50. (continua ancora)
- p.74: Lagrangiane e hamiltoniane varie.
- p.75: Trasformazioni di Lorentz.
- p.76: (in fondo) Introduzione di un ritardo τ in campi ritardati (?): ved. pagg.65-66.
- p.77: Polinomi di Legendre e loro proprietà. Funzione ipergeometrica; momenti angolari; ecc.
- p.100: Semplici calcoli.
- p.102: Termini atomici e loro proprietà (per l'azione di operatori di momento angolare).
- p.109: Continuazione delle pagg.71-73, con sviluppi in μ . (continua ancora)
- p.117: Ancora sul principio variazionale per le equazioni di Maxwell.
- p.119: Continuazione delle pagg.109-116, con sviluppi fino ad μ^3 .
- p.124: Seguono sei pagine pressoché bianche.
- p.130: Semplici tabelle di integrali.
- p.131: Matrici di momenti angolari, forse in connessione con la equazione di Dirac in 5 dimensioni.
- p.137: Seguono 10 pagine bianche.
- p.147: Calcoli sui momenti angolari.
- p.150: Calcoli vari.
- p.156: Atomo di Elio (ved. articolo n.3, pubblicato nel 1931). Continua alle pagg.166-175.
- p.164: Calcoli.
- p.166: Continuazione delle pagg.156-163.

- p.176: Tabella di polinomi di Legendre.
- p.177: Funzioni sferiche e atomo di He.
- p.181: Seguono 11 pagine bianche.
- p.192: Tabella di funzioni sferiche (per la molecola di idrogeno?).
- p.194: Calcoli di integrali. Trasformata di Fourier del potenziale coulombiano.

9 = QUADERNO 6

- p. 1: Conti numerici sullo ione molecolare di He (ved. articolo n.2, pubblicato nel 1931).
- p. 6: Calcoli sulle varie rappresentazioni dell'operatore di spin per l'equazione di Dirac.
- p. 8: Altri calcoli sullo ione molecolare di He (problema di tre fermioni).
- p.15: Buca di potenziale rettangolare unidimensionale: esercizio.
- p.26: Tabelle e calcoli sulle configurazioni elettroniche in atomi leggeri.
- p.29: Calcoli sui termini anomali dell'He (cfr. articolo n.3).
- p.31: Oscillazioni armoniche a tre gradi di libertà.
- p.37: Oscillazioni armoniche a 2 gradi di libertà, o con masse uguali, o con masse diverse (oscillatori accoppiati).
- p.41: idem, formulazione generale.
- p.42: Coefficienti di Clebsh-Gordan.
- p.44: Configurazioni elettroniche nella molecola di H_2 .
- p.46: Calcoli per l'articolo n.3, del 1931.
- p.51: Calcoli sulla molecola di H_2O .
- p.52: Fino a pag.98, ricerca delle soluzioni radiali dell'equazione di Schroedinger con potenziale $V_0 = (-1/x + 11/16) \cdot \exp(-11x/8)$ o, più in generale, con potenziale $V = -c \cdot \exp(-2ax)$.
- p.99: Conti sullo ione molecolare di He: elenco dei simboli

usati.

p.101: Tabelle e conti numerici.

p.107: Calcoli di serie, integrali; calcoli soprattutto per l'He, e per la reazione pseudopolare tra atomi di H (cfr. articolo n.4, del 1931).

p.118: Fino a pag.193, grosse tabelle e molti calcoli per l'articolo n.4 (reazione pseudopolare tra atomi di H).

p.194: Programma di lavori e/o articoli futuri, sulla base anche dei conti già eseguiti in questo Quaderno 6:

(i) La formazione di He_2^+ ; (ii) Reazione pseudopolare tra atomi di H; (iii) Serie ortogonale di operatori anticommutanti; (iv) Il termine anomalo $2p\ 2p^3\ P$ dell'Elio; (v) Energia di atomi leggeri; (vi) Termini anomali di Roentgen; (vii) Il doppietto $2p^2\ P$ del Litio; (viii) Intensità nei Raggi X; (ix) Gruppi pp' incompleti.

10 = QUADERNO 7

p. 1: Polinomi di Legendre, ecc.

p. 6: Fino a pag.60, calcoli relativi all'articolo sui termini anomali dell'Elio (cfr. la settima pagina dell'articolo n.3).

p.61: Fino a pag.116, calcoli relativi all'articolo sulla teoria dei tripletti P' incompleti (articolo n.5, del 1931).

p.117: Risonanza tra un elettrone con $l=1$ e un elettrone con l generico, in un atomo.

p.123: Tabelle e calcoli numerici sul "potenziale statistico" di Thomas-Fermi: in preparazione dell'articolo n.1, del 1928, uscito in coll. con G.Gentile jr.

p.138: idem, altri calcoli fino a pag.161.

p.161: Risoluzione dell'equazione di Dirac (con o senza campo elettromagnetico), nelle rappresentazioni standard e spinoriale.

p.172: Equazione di Dirac con campo centrale.

p.175: Caso particolare: campo coulombiano.

- p.178: Equazione di Schrodinger: formulazione variazionale.
p.180: Equazione di Pauli, e suo confronto con quella di Dirac.

11 = QUADERNO 8

- p. 1: Calcolo combinatorio.
p.12: Due pagine bianche.
p.14: Meccanica statistica per la teoria del ferromagnetismo.
p.30: Calcoli di teoria delle perturbazioni.
p.36: Tre oscillatori accoppiati.
p.40: Due pagine bianche.
p.42: Sistemi di equazioni, lineari e non.
p.46: Altri conti statistici, forse in relazione al precedente problema del ferromagnetismo, ma ora quantistici. Da pag. 66 a pag.74, però, calcoli di equazioni integrali (ad es. di Fredholm).
p.86: Fino a pag.111, altri calcoli quantistici di non facile interpretazione (Funzioni di Bessel; Risoluzione di equazioni differenziali di II° grado; Equazione di Bessel sferica).
p.112: Calcoli di meccanica analitica, collegati con quanto precede, e in particolare con quanto alle pagg.75-78.
p.118: Funzioni tipo Bessel o Neumann, con grafici e tabulazioni. Relazioni di ricorrenza.
p.125: Risoluzione dell'equazione di d'Alembert in coordinate sferiche.
p.132: Polinomi di Legendre, ecc.; meccanica analitica.
p.144: Ottica geometrica elementare; principio di Huygens; oscillazioni.
p.157: Trascrizioni analitiche dei principi di Fermat e di Huygens. Radiazione di onde elettromagnetiche.

12 = QUADERNO 9 (*)

- p. 1: Esercizi vari (ottica geometrica e fisica, ecc.).
- p.28: Soarica nei gas; esperienze varie; ioni (studio ed esercizi); elettrostatica (esercizi); cariche in campi elettromagnetici.
- p.41: Studio di esperienze varie, specie per determinare la carica dell'elettrone.
- p.53: Studio degli oscillografi; di vari Effetti; di valvole termoioniche.
- p.66: Equazione delle onde classiche. Ottica delle lenti.
- p.76: Esercizi vari (equazione del moto ellittico piano; trigonometria).
- p.84: Ottica fisica e geometrica.
- p.106: Integrazioni su iperboloidei; elementi di volume (in relazione con l'Ottica). Integrali. Coniche; quadriche.
- p.120: Esercizi vari; integrali; ecc.
- p.151: Equazione delle onde quantistiche (di Schroedinger). Esercizi. Momento angolare.
- p.164: Altri esercizi (calcolo di funzioni matematiche; serie; meccanica analitica; equazione delle onde in coordinate sferiche).
- p.188: Esercizi di Meccanica Quantistica.

13 = QUADERNO 10 (**)

- p. 1: I° Capitolo (pagg.1-17): Ionizzazione spontanea di un atomo di H posto in una regione a potenziale negativo.
- p.18: II° Capitolo (pagg.18-26): Legge fondamentale dei fenomeni radioattivi.

(*) Quaderno da studente, di antica data.

(**) Quest'altro Quaderno, n.10, sembra contenere i capitoli di un libro, o di una pubblicazione universitaria (tipo "Dispense"), o di un lavoro semi-divulgativo.

- p.29: Seguono tre pagine bianche.
- p.30: III° Capitolo (pagg.30-39): Urto di una particella alfa contro un nucleo radioattivo.
- p.40: Seguono quattro pagine bianche.
- p.44: IV° Capitolo (pagg.44-52): Calcoli di Gamow e Huntermans.
- p.53: Seguono tre pagine bianche.
- p.56: Introduzione (pagg.56-65).
- p.66: Bianca.
- p.67: Integrali, ecc.; esercizi di Ottica.
- p.98: Soluzione di equazione differenziale col metodo delle funzioni di Green. Ottica varia. Teoremi di Green e di Stokes.
- p.190: Permutazioni: esercizi.

14 = QUADERNO 11 (X)

- p. 1: Teoria dei gruppi: calcoli.
- p. 6: Cinque pagine bianche.
- p.12: Calcoli numerici.
- p.13: Calcoli sull'Elio.
- p.29: Fino a pag.64, metodo di Hartree per atomi con due elettroni (calcoli approssimati).
- p.65: Sette pagine bianche.
- p.72: Ancora calcoli per l'Elio.
- p.86: Polarizzazione dell'elio (metodo di Hartree).
- p.88: Studio di operatori differenziali lineari. Sistemi di equazioni lineari. Matrici. Parentesi di Poisson. Sistemi completi di operatori.

- p.94: Equazioni simboliche del parallelismo. Simboli di Christoffel. Geometria riemanniana. Geodetiche.
- p.107: Equazione di Pauli, e passaggio all'equazione di Dirac, in due rappresentazioni. Hamiltoniana relativistica di un elettrone in campo elettromagnetico.
- p.113: Ancora geometria riemanniana. Derivazione covariante. Geometria differenziale. Calcolo tensoriale in spazi non euclidei.
- p.160: Equazioni di Schroedinger e di Dirac; ecc.
- p.166: Calcolo tensoriale in spazi di Riemann; ecc.
- p.172: Semplice problema agli autovalori.
- p.174: Permutazioni.
- p.180: Esercizi vari di Meccanica Quantistica. Trasformazioni di Fourier tridimensionali. Onde piane sviluppate in onde parziali. Polinomi di Legendre; ecc.

15 = QUADERNO 12

- p. 1: Elaborazione teorica di non facile interpretazione. Meccanica Quantistica: (polinomi vari, per calcoli di valori medi).
- p.16: Serie. Equazioni integrali.
- p.21: Meccanica Quantistica: esercizi; regole di commutazione, ecc.; equazione di Schroedinger; esercizi vari.
- p.32: Equazione di Dirac, e suo limite non relativistico. Idem, con campo centrale e campo elettromagnetico.
- p.45: Meccanica analitica (?).
- p.48: Sviluppi sui polinomi di Legendre. Integrali vari.
- p.51: Esperienza di Townsend.
- p.53: Ancora sul limite non relativistico dell'equazione di Dirac (elettrone rotante in campo centrale: cenno).
- p.54: Onde superficiali in un liquido.
- p.58: Nucleo di carica Z_0 con due elettroni: energia dello stato fondamentale. Calcoli col metodo perturbativo, e col me-

todo del minimo (principio variazionale); e studi vari su quest'ultimo metodo.

- p.70: Rappresentazioni integrali delle funzioni di Bessel.
 - p.76: Oscillazioni forzate di un elettrone in campo elettrico alternato.
 - p.79: Ancora sulle funzioni di Bessel.
 - p.82: Moto anarmonico classico (moto "dispersivo" di un elettrone).
 - p.88: Meccanica analitica.
 - p.90: Integrali nel piano complesso.
 - p.92: Ancora funzioni di Bessel.
 - p.96: Funzioni sferiche di Legendre. Integrali. Funzioni di Legendre di 2^a specie.
 - p.101: Spazi vettoriali ad n dimensioni. Calcoli con matrici. Spazi duali. Teoria degli spazi vettoriali a dimensione finita.
 - p.112: Tabella di Mendeleev.
 - p.130: Ancora spazi vettoriali n -dimensionali. Trasformazioni hermitiane e unitarie in n dimensioni. Diagonalizzazione. Trasformazioni unitarie infinitesime.
 - p.142: Passaggio agli spazi di Hilbert (spazi a dimensione infinita).
 - p.145: Integrali: calcoli per l'articolo (n.3) sull'Elio.
 - p.151: Bianca.
 - p.152: Spazi di Hilbert (secondo il libro di Weyl).
 - p.154: Integrali, per l'Elio.
 - p.155: Equazione di Schroedinger.
 - p.156: Cenno sul diamagnetismo.
 - p.157: Fino a pag.188, integrali per l'articolo sull'Elio.
-

16 = QUADERNO 13

- p. 1: Calcoli numerici.
- p. 2: Meccanica analitica; equazioni canoniche.
- p. 3: Fino a pag.13, rappresentazione di Majorana delle matrici di Dirac (rappresentazione reale). Calcoli per l'articolo n.9. (teoria simmetrica dell'elettrone e del positone).

17 = QUADERNO 14

- p. 1: Fino a pag.8, geometria negli spazi di Riemann.

18 = QUADERNO 15

- p. 1: Equazione $\underline{n}_1 + 2\underline{n}_2 + 3\underline{n}_3 + \dots = \underline{N}$.
- p. 6: Equazione di Schroedinger in coordinate sferiche.
- p. 8: Due pagine cancellate.
- p.10: Calcoli sull'equazione di Dirac.
- p.16: Equazioni di Maxwell.
- p.18: Calcoli con trasformazioni di Lorentz.(?)
- p.22: Gruppo di Lorentz (ved. anche Quaderno 1). Rappresentazioni a infinite componenti (per l'articolo n.7, del 1932).
- p.26: Equazione di Dirac.

19 = QUADERNO 16 (°°)

- p. 1: Molecola di Elio.
- p.23: Tre pagine bianche.
- p.26: Ancora sull'Elio.

(°°) Gli studi presenti in questo Quaderno sembrano basati sul testo del Weyl.

- p.31: Spazi n -dimensionali; Algebre e teoria dei gruppi. Permutazioni. Algebra invariante a sinistra. Rappresentazioni (equivalenti e non; irriducibili; ecc.) del gruppo delle permutazioni di f particelle.
- p.50: Equazione tipo Schroedinger per due particelle.
- p.56: Bianca.
- p.57: Sistemi di f particelle. Caratteri del gruppo delle permutazioni. Teoria dei gruppi.
- p.76: Tre pagine bianche.
- p.79: Autofunzioni del Litio.
- p.83: Scattering di Thomson.
- p.84: Ancora sul Litio.
- p.98: Energia del Litio (termine fondamentale del Litio).
- p.100: Campo autoconsistente in atomo con due elettroni.
- p.103: Calcoli numerici.
- p.112: Tabella (per il Litio?).
- p.114: Calcoli numerici.
- p.118: Di nuovo Tabella.
- p.120: Calcoli numerici e Tabella.
- p.134: Calcoli algebrici.
- p.141: Semplici calcoli.
- p.157: Stato fondamentale di atomi pesanti (per Z tendente all'in finito) con tre elettroni.
- p.158: Andamento asintotico per i termini g dei metalli alcalini.
- p.162: Termine fondamentale del Litio? Integrali. Serie.
- p.174: Algebre e gruppo delle permutazioni in n dimensioni.
- p.175: Calcoli numerici.
- p.185: Quattro pagine bianche.
- p.189: Equazione agli autovalori in spazi a dimensione finita.
- p.190: Pagina cancellata.

20 - QUADERNO 17

- p. 1: Rappresentazione del Gruppo di Lorentz. Equazione di Schrodinger. Studi vari. Zeri delle funzioni di Bessel.
- p. 8: Teoria dei nuclei (per l'articolo n.8, del 1933).
- p.31: Nuclei semplici: studio di due forme di interazione.
- p.35: Meccanica statistica di due particelle.
- p.36: Momento magnetico e suscettività magnetica di un atomo con n elettroni (trattazione relativistica).
- p.39: Trasformazioni generali di matrici.
- p.40: Teoria simmetrica (in preparazione dell'articolo n.9). Continua alle pagg.74-81.
- p.43: Trasformazione di matrici.
- p.45: Equazione di Dirac "reale" (senza campo, e con campo non relativistico).
- p.69: Analogia Dirac-Maxwell (continuazione da pag.160).
- p.72: Calcoli numerici. Momento angolare in coordinate sferiche tetradimensionali; ecc.
- p.74: Altri calcoli per la teoria simmetrica elettrone/positone (dopo la pagina 81, proseguono alle pagg.40-42).
- p.82: Polinomio (calcoli).
- p.83: Trasformazioni di spinori (studio delle analogie tra equazione di Dirac e equazioni di Maxwell).
- p.88: Bianca.
- p.89: Equazione di Dirac.
- p.92: Teoria perturbativa.
- p.94: Tre pagine bianche.
- p.97: Gas degeneri.
- p.98: Calcoli in coordinate polari; equazione di Schroedinger.
- p.104: Studio delle relazioni tra prodotto quantistico e prodotto classico.
- p.127: Due pagine bianche.

- p.129: Equazione d'onda del neutrone; e scattering di fotoni su neutrone.
- p.146: Ancora teoria simmetrica di elettrone e positone.
- p.150: Fino a pag.151bis, equazione d'onda del neutrone; ecc.
- p.151ter: Fino a pag.153, calcoli geometrici.
- p.154: Autofunzioni atomiche.
- p.156: Gruppo di Lorentz.
- p.159: Ancora sulle analogie Maxwell-Dirac.
- p.161: Autofunzioni atomiche: termini 2g del Litio.
- p.167: Calcoli di Meccanica Quantica. Integrali nel piano complesso. Equazione radiale di Schroedinger; ecc. Altri integrali.
- p.176: Equazione di Dirac.
- p.177: Autofunzioni atomiche.
- p.179: Calcoli di Meccanica Quantica: commutatori, ecc.
- p.183: Fino a pag.190, Formulario.

21 = QUADERNO 18

- p. 1: Equazioni di Maxwell: calcoli variazionali multidimensionali.
- p. 8: Calcoli vari: integrali; rappresentazione integrale di funzioni di Bessel; funzioni di Hankel; soluzioni di scattering della equaz. di Schroedinger; funzione di Green generalizzata, e metodo della fz. di Green; integrali vari; equazioni di Hamilton; equazione di Schroedinger e sua risoluzione per serie; derivate; formule trigonometriche; equazioni differenziali; calcoli di Meccanica Quantica.
- p.34: Equazione di Schroedinger per due particelle: metodo di Ritz. Equazioni integrali. Integrali vari. Equazione differenziale $y''=xy$. Regioni d'integrazione.
- p.54: Meccanica analitica. Calcoli numerici e algebrici. Equazione di van der Waals. Termodinamica.
- p.61: Meccanica Quantica: semplici calcoli; teoria delle pertur-

bazioni; funzioni d'onda di multi-corpi.

p.69: Seconda Quantizzazione.

p.74: Calcoli vari; calcolo combinatorio; ecc.

p.89: Termini anomali dell'Elío (per l'articolo n.3); Tabelle relative.

p.106: Integrali; calcoli numerici; calcoli geometrici; altri calcoli per l'articolo sull'Elío; e altro.

p.128: Calcoli per l'articolo n.4, del 1931 (reazione pseudopolare tra atomi di Idrogeno?).

p.134: Tabelle di integrali. Di nuovo calcoli sulla reazione pseudopolare tra atomi di H (?); e sull'Elío.

p.156: Equazioni differenziali; equazione $y_j'' - ky_j = 0$; teoria di Pauli del paramagnetismo; orto- e para-elío.

p.158: Ancora sui termini anomali dell'He.

* * *

R I N G R A Z I A M E N T I

=====

Per la fattiva collaborazione ai fini della realizzazione di quest'opera, l'autore è molto grato a Antonino Drago, Francesco del Franco, J. Leite-Lopes, Bruno Preziosi e Renato A. Ricci, oltre che alla famiglia Majorana di Roma e Catania, e alla "Domus Galilaeana" di Pisa (Prof.Derenzini, Prof.Maccagni, Dr.Tricarichi, Sig.na Puccianti, e Sig.Guerri). Ringrazia inoltre, per la generosa cooperazione, Edoardo Amaldi, Marcello Baldo, Franco Bassani, Gilberto Bernardini, Nicola Cabibbo, Giuseppe Cocconi, Donatello e Fosco Dubini, Alberto Gabriele, Giancarlo Gialanella, Mario Giambiagi, Enrico Giannetto, Antonio Insolia, Roberto Mignani, Franco Rasetti, Umberto Recami, Tina Roberto, Laura R. Sansoni, Gianni Sansoni, Leonardo Sciascia, Emilio Segré, Miriam Segre Giambiagi, Franco Strumia, Hélio Waldman, Victor Weisskopf e Giancarlo Wick.