

A. De Gregorio, S. Esposito, *Enrico Fermi e Ettore Majorana: I corsi di Fisica Teorica*, Atti del XXV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, Milano, 10-12 novembre 2005, (Milano: SISFA, 2008): C07.1-C07.5.

## ENRICO FERMI E ETTORE MAJORANA: I CORSI DI FISICA TEORICA

ALBERTO DE GREGORIO<sup>(a)</sup> E SALVATORE ESPOSITO<sup>(b)</sup>

(a) *Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza"*

(b) *Dipartimento di Scienze fisiche, Università di Napoli "Federico II", e INFN, sezione di Napoli*

RIASSUNTO: Il contenuto del corso di Fisica teorica che Fermi tenne nel 1927-28, e di cui furono allievi Amaldi, Segrè e Majorana, può essere agevolmente ricostruito a partire dal libretto delle lezioni e dal libro "Introduzione alla fisica atomica." Il recente ritrovamento di tre programmi che Majorana presentò a Roma come libero docente tra il 1933 e il 1936 e gli appunti delle lezioni che egli tenne a Napoli nel 1938 permettono di constatare le diverse impostazioni didattiche adottate dai due fisici e allo stesso tempo mostrano come l'impronta di Fermi sia ben riconoscibile nella parte del corso che, a Napoli, Majorana dedicò alla vecchia teoria dei quanti.

### 1. INTRODUZIONE

In Italia, agli inizi del Novecento lo studio della fisica era ancora inteso come un'attività prettamente sperimentale, tanto che fino a metà degli anni Venti non esistevano cattedre di Fisica teorica. Non desta quindi meraviglia che, fatte salve rare eccezioni, alla nascente meccanica quantistica fosse riservata fredda accoglienza. Gli eventi iniziarono a cambiare corso proprio con l'istituzione a Roma della prima cattedra di Fisica teorica, vinta da Fermi nel 1926: essa rappresentò l'atto di nascita per una nuova scuola, che, grazie agli insegnamenti di Fermi, andò formando un'intera generazione di giovani fisici e in breve ottenne risultati tali da assicurarle una posizione di pieno prestigio nel panorama scientifico internazionale. Nel presente lavoro analizzeremo il contenuto del primo e, più in dettaglio, del secondo corso di Fisica teorica tenuto da Fermi: nel far ciò, ci avvarremo essenzialmente dei suoi libretti delle lezioni, conservati presso gli archivi dell'Università di Roma "La Sapienza", e di due suoi libri pubblicati nella seconda metà degli anni Venti.

Majorana fu di Fermi allievo, e con lui si laureò nel 1929 discutendo una tesi di contenuto teorico. Nel 1937 fu nominato a sua volta professore di Fisica teorica, a Napoli; già alcuni anni prima aveva presentato presso l'Università di Roma, in veste di libero docente, i programmi di tre corsi, che però mai tenne. Grazie a tali programmi, di cui non si sospettava fino a poco tempo fa l'esistenza, potremo non soltanto seguire l'evolversi dell'approccio didattico adottato da Majorana, ma anche confrontarlo con le linee di insegnamento seguite da Fermi.

### 2. LE LEZIONI DI FISICA TEORICA TENUTE DA FERMI

Le procedure che portarono a istituire la prima cattedra italiana di Fisica teorica furono piuttosto lunghe: la Facoltà di Scienze diede l'approvazione a istituire la

cattedra fin dal 22 dicembre del 1924; l'indizione del concorso ebbe luogo dopo alcuni mesi, il 27 aprile 1925, e dovette passare ancora più di un anno prima che la commissione si riunisse, nel novembre 1926. Fermi fu chiamato sulla cattedra il 9 dicembre e l'1 gennaio 1927 fu nominato "professore non stabile" (la conferma in ruolo avvenne tre anni più tardi): il 20 gennaio poté così tenere a Roma la prima lezione del corso di Fisica teorica.

Delle lezioni di questo primo corso abbiamo non soltanto un indice, ricavabile dal libretto delle lezioni annotato da Fermi, ma anche la trascrizione dei contenuti, che fu fatta dai "Dott. Dei e Martinuzzi" e poi pubblicata. Ancora più interessante è ciò che possiamo desumere a riguardo del successivo corso di Fisica teorica, tenuto nel 1927-28: va innanzitutto segnalato che si tratta del corso seguito da Amaldi, Segrè e dallo stesso Majorana, che sostenne il relativo esame prima ancora che il 19 novembre 1928 fosse ufficializzato il suo passaggio da Ingegneria a Fisica. A queste circostanze "individuali" va aggiunto, relativamente ai contenuti, che l'analisi dettagliata dei primi sei capitoli del libro "Introduzione alla fisica atomica," pubblicato da Fermi nel 1928, e quella del libretto delle lezioni del 1927-28 rivela chiaramente l'esistenza di una stretta corrispondenza di argomenti, che ci permette di ricostruire nel dettaglio il contenuto delle lezioni del 1927-28.

Dal libretto delle lezioni evinciamo che il corso si articola in sessantacinque lezioni, di cui sei di riepilogo. Possiamo suddividerle in sei gruppi che corrispondono ad altrettanti capitoli della "Introduzione alla fisica atomica," secondo lo schema che segue:

Lezioni di Fisica teorica (1927-28)		Capitoli della "Introduzione alla fisica atomica" (1928)
1-9	(15-11/3-12-1927)	1. Teoria cinetica dei gas
10-19	(6-12-1927/14-1-1928)	2. Teoria elettromagnetica della luce
20-23	(17-1/24-1)	3. I corpuscoli elettrici
24-27	(26-1/2-2)	4. Gli scambi energetici tra luce e materia
28-47	(4-2/31-3)	5. L'atomo di Bohr
48-59	(17-4/15-5)	6. Le molteplicità spettrali
60-65	(19-5/2-6: riepilogo)	_____

La prima parte è dedicata alla teoria cinetica dei gas e alle basi della meccanica statistica: le lezioni riguardano per esempio la dipendenza della pressione dall'energia cinetica delle molecole, l'equipartizione dell'energia, lo spazio delle fasi, la distribuzione di Boltzmann e quella di Maxwell. In un secondo gruppo di lezioni Fermi affronta argomenti di elettromagnetismo, come le perturbazioni elettromagnetiche, il vettore di Poynting, la teoria elettronica della dispersione, la teoria della irradiazione elettromagnetica. È poi la volta di argomenti propedeutici alla teoria dell'atomo, che vanno da ciò che riguarda i "corpuscoli elettrici" – l'elettrone, le trasmutazioni radioattive, il modello di Rutherford – allo scambio energetico tra radiazione e materia – quindi i quanti di luce, l'effetto Compton e un primo accenno alle ipotesi di Bohr. L'atomo quantizzato rappresenta il "nocciolo duro" del corso del 1927-28, tanto che, a partire dalla ventottesima, ben venti lezioni riguardano il modello di Bohr: gli argomenti trattati vanno dai livelli energetici alla costante di Rydberg, dagli stati stazionari alle condizioni di Sommerfeld, e poi ancora riguardano la struttura "fina," il principio di corrispondenza, le regole di selezione, il magnetone di Bohr, la cosiddetta quantizzazione spaziale, l'effetto Zeeman, l'effetto Stark e così via. L'ultima parte del corso affronta la questione degli spettri dei metalli alcalini, degli alcalino terrosi e degli atomi con tre elettroni di valenza. Va specificato

che, fatta eccezione per un fugace accenno alla “teoria quantistica per l’atomo di idrogeno,” l’intero corso ha come base concettuale la vecchia teoria dei quanti.

### 3. L’APPROCCIO DIDATTICO DI MAJORANA

Gli anni che vanno dal 1933 alla scomparsa, nel 1938, sono stati descritti come anni bui per Majorana, durante i quali egli andò progressivamente isolandosi dall’ambiente scientifico di via Panisperna; in cosa sia consistita la sua attività scientifica in quel periodo, se ne ebbe alcuna, non è noto. Di recente, tuttavia, sono stati ritrovati presso gli archivi dell’Università “La Sapienza” tre programmi che, nominato libero docente di Fisica teorica, egli presentò relativamente ad altrettanti corsi da tenere tra gli anni accademici 1933-34 e 1936-37. Il fatto stesso di aver preparato tali programmi, ma soprattutto la cura posta nella loro strutturazione e nella scelta degli argomenti da trattare – spesso alquanto avanzati – indicano che, in Majorana, l’interesse per la fisica, e più in particolare per il suo insegnamento, non si esaurì del tutto, nemmeno durante quegli anni. Di fatto, egli non tenne i corsi relativi a questi tre programmi, ma ciò può essere ragionevolmente attribuito alla mancanza di studenti, se si considera quanto scarso fosse ancora, a Roma, il numero di coloro che erano iscritti a Fisica.

Il primo dei tre programmi si riferisce all’anno accademico 1933-34 e riguarda un corso intitolato Metodi matematici della meccanica quantistica. Per il 1935-36 e il 1936-37 Majorana presenta, rispettivamente, un programma di Metodi matematici della fisica atomica e uno di Elettrodinamica quantistica; nessun programma risulta che sia stato presentato nel 1934 (anno della morte del padre) relativamente al 1934-35.

Il primo programma si basa interamente sulla teoria dei gruppi e adotta così un approccio del tutto inusuale per i corsi tenuti in Italia. Tra gli argomenti elencati troviamo: geometria e trasformazioni unitarie, invarianza sotto gruppi di trasformazioni, gruppi di rotazioni e permutazioni, gruppo di Lorentz e calcolo spinoriale; nulla che riguardi l’esposizione ordinaria della meccanica quantistica, nella versione di Schrödinger o in quella di Heisenberg. Majorana presta grande attenzione alla teoria dei gruppi, tanto che, fatte salve rare eccezioni, gli argomenti del programma sono ripresi dal libro “Gruppentheorie und Quantenmechanik” di Hermann Weyl.

Dal programma per il corso di Metodi matematici della fisica atomica, emerge una più marcata attenzione per gli aspetti fenomenologici. I metodi della teoria dei gruppi risultano finalizzati alle applicazioni, tra cui le proprietà degli spettri atomici complessi e le strutture iperfini. Possiamo ritenere che la scelta di questi argomenti rifletta le recenti linee di ricerca sperimentali seguite da Fermi e dal suo gruppo, che, prima di dedicarsi alla radioattività indotta dai neutroni, si erano occupati di spettroscopia; Majorana inserisce nel programma anche alcune nozioni di fisica nucleare.

Il programma di Elettrodinamica quantistica si presenta invece come libero da influenze esterne, forse in conseguenza dell’isolamento nel quale Majorana si era rifugiato. Si tratta di temi ripresi da studi e ricerche condotte autonomamente, come è possibile ricostruire dall’analisi degli appunti personali di Majorana che sono conservati presso la Domus Galileana di Pisa: i cosiddetti “quaderni” e, parzialmente, i “volumetti.”

Un ulteriore approfondimento dell’evoluzione dell’approccio didattico seguito da Majorana è possibile attraverso il confronto dei tre programmi presentati a Roma con le lezioni di Fisica teorica tenute a Napoli nel 1938. È interessante osservare che, come approfondiremo nel prossimo paragrafo, gli aspetti fenomenologici trattati da Majorana a Napoli ricalcano da vicino i contenuti del corso di Fisica teorica tenuto da

Fermi nel 1927-28. Nel trattare gli aspetti più prettamente matematici, invece, nel 1938 Majorana riprende molti dei temi riportati nei tre programmi presentati come libero docente: vi ritroviamo la geometria unitaria, già menzionata nel programma di Metodi matematici della meccanica quantistica, il calcolo matriciale, ripreso dal programma di Metodi matematici della fisica atomica, la teoria relativistica dell'elettrone, argomento "trasversale" ai tre programmi. L'approccio seguito da Majorana differisce dall'impostazione didattica che aveva allora maggior seguito e che, per esempio, era adottata nei "Fondamenti della meccanica atomica" di Enrico Persico, libro che in ogni caso Majorana aveva consigliato ai propri studenti.

#### 4. TRATTI COMUNI DEI CORSI DI FERMI E DI MAJORANA

L'impianto teorico delle lezioni di Fisica teorica tenute da Fermi nel 1927-28 era quello della vecchia teoria dei quanti: egli incluse nel programma la meccanica ondulatoria soltanto a partire dal corso tenuto nel 1928-29 e, nella "Introduzione alla fisica atomica," si limitò a dedicare a tale argomento l'ultimo dei dieci capitoli. Anche nel corso di Fisica teorica tenuto da Majorana nel 1938 vi è un primo gruppo di lezioni che, nel trattare l'atomo, fa riferimento alle regole di quantizzazione di Bohr e Sommerfeld; seguono altri due gruppi, rispettivamente sulla meccanica delle matrici – argomento che già compariva nei programmi presentati a Roma – e sulla meccanica ondulatoria.

Per quanto riguarda il primo gruppo delle lezioni di Majorana, improntato alla vecchia teoria dei quanti, risulta netta l'analogia con la "Introduzione alla fisica atomica" e quindi, in base a quanto già osservato, con il corso di Fisica teorica tenuto da Fermi nel 1927-28. L'eredità fermiana è chiaramente riconoscibile nei casi in cui sono in primo piano valutazioni di natura fenomenologica. Vi è una stretta analogia anche sotto l'aspetto formale, per ciò che riguarda la scelta di formule e grafici: alcuni degli argomenti nella cui trattazione questa analogia emerge con evidenza sono l'effetto Zeeman, l'effetto di schermo degli elettroni, gli spettri di atomi con due elettroni di valenza e la tabella di Stoner, la diffusione della luce da parte dell'atmosfera (per un'analisi più circostanziata rimandiamo alla bibliografia). In alcuni casi è riconoscibile una corrispondenza persino lessicale, e in tal senso l'esempio più illuminante proviene dall'esposizione del principio di esclusione di Pauli: Fermi scrive che "può esistere nell'atomo al più un solo elettrone" con numeri quantici fissati; Majorana, nei cui appunti era scritto inizialmente che in ogni orbita definita da tali numeri quantici "può trovarsi un solo elettrone", si corregge e scrive – come Fermi – che in detta orbita "può trovarsi *al più* un solo elettrone."

#### 5. ALCUNE IPOTESI SUGLI APPUNTI MANCANTI

Gli appunti delle lezioni di Majorana, sia quelli autografi superstiti sia la trascrizione coeva di Eugenio Moreno, sebbene non riguardino le quattro lezioni tra quella inaugurale e quella del 25 gennaio 1938, ci permettono ugualmente di intuirne alcuni contenuti. Vi sono casi in cui è Majorana stesso a dichiarare ciò che è stato trattato in precedenza nel corso: la serie di Balmer, le condizioni di Sommerfeld, le orbite ellittiche; d'altra parte è palese che egli deve aver già introdotto i livelli energetici e la classificazione delle righe spettrali, cui fa riferimento nelle note successive. Le forti analogie che abbiamo constatato con il corso di Fisica teorica di Fermi, tuttavia, ci permettono di formulare ulteriori ipotesi in merito al contenuto delle prime lezioni di Majorana, il cui testo non è disponibile: possiamo congetturare che, allo stesso modo che per altri argomenti della vecchia teoria dei quanti, anche per quanto riguarda le prime lezioni le tematiche affrontate dal fisico catanese si rifacessero ai primi capitoli della "Introduzione alla fisica atomica." Si potrebbe a buona ragione ritenere che la

teoria cinetica dei gas e le nozioni di meccanica statistica, che nel corso di Fermi introducono alla fisica dell'atomo, fossero anche parte delle lezioni di Majorana. Fermi trattò l'oscillatore armonico quantizzato e la formula di Planck, e Majorana può aver fatto altrettanto nelle prime lezioni del corso napoletano; un ulteriore, importante argomento che verosimilmente espose è il principio di corrispondenza.

Accenniamo in conclusione a un'ulteriore questione, riguardante le sorti degli appunti relativi alle quattro lezioni svolte tra il 15 e il 22 gennaio 1938, che non compaiono né negli originali di Majorana né nella trascrizione di Moreno. A indicarci una possibile soluzione è una lettera che Majorana scrive proprio quel sabato 22 gennaio alla madre, che si trova a Roma, dicendole che durante uno dei giorni successivi si recherà per poche ore nella capitale per ritirare alcuni libri. È ragionevole pensare che, tra i libri che Majorana ha urgenza di ritirare mentre tiene il suo primo corso di Fisica teorica, vi sia la "Introduzione alla fisica atomica," che fa effettivamente parte della sua biblioteca personale (ringraziamo per quest'ultima informazione il nipote, Ettore Majorana junior); tanto più che, come abbiamo detto, il testo di Fermi è chiaramente preso a riferimento da Majorana per la parte di appunti dedicata alla vecchia teoria dei quanti. Possiamo perciò ipotizzare che Majorana intenda avvalersi della "Introduzione" come ausilio per redigere le dispense del corso, di cui intraprende la stesura soltanto dopo aver prelevato il libro da Roma. In altre parole, potrebbe darsi che gli appunti relativi alle lezioni precedenti il 25 gennaio non siano mai stati scritti da Majorana.

Desideriamo ringraziare Franca Azzaro, Rossana Nardella, Enrico Amici, Angelo Iona e Piero Lucidi per la loro gentile e fattiva collaborazione nella consultazione degli archivi dell'Università di Roma "La Sapienza."

#### BIBLIOGRAFIA

- Amaldi, Edoardo (1966). *La vita e l'opera di Ettore Majorana* (Roma: Accad. Naz. dei Lincei, 1966).
- De Gregorio, Alberto; Esposito, Salvatore (2006). "Teaching Theoretical Physics: the cases of Enrico Fermi and Ettore Majorana," inviato a: *Am. J. Phys.* [arXiv: physics/0602146].
- Drago, Antonino; Esposito, Salvatore (2004). "Following Weyl on Quantum Mechanics: the Contribution of Ettore Majorana," *Found. Phys.*, 2004, 34: 871-887 [arXiv: physics/0503084].
- Esposito, Salvatore; Majorana, Ettore jr; van der Merwe, Alwyn; Recami, Erasmo (eds.) (2003). *Ettore Majorana: Notes on Theoretical Physics* (New York: Kluwer, 2003).
- Esposito, Salvatore (2005). "Il corso di Fisica teorica di Ettore Majorana: il ritrovamento del documento Moreno," *Nuovo Sagg.*, 2005, 21: 21-33.
- Fermi, Enrico (1927). *Lezioni di Fisica teorica dettate dal Prof. E. Fermi, raccolte dai Dott. Dei e Martinozzi* (Roma: [s.n.], 1927).
- Fermi, Enrico (1928). *Introduzione alla fisica atomica* (Bologna: Zanichelli, 1928).
- Majorana, Ettore (1987). *Lezioni all'Università di Napoli* (Napoli: Bibliopolis, 1987).
- Majorana, Ettore (2006). *Lezioni di Fisica Teorica*, a cura di Salvatore Esposito (Napoli: Bibliopolis, 2006), in corso di stampa.
- Persico, Enrico (1936). *Fondamenti della meccanica atomica* (Bologna: Zanichelli, 1936).
- Recami, Erasmo (2002). *Il caso Majorana. Epistolario, documenti, testimonianze* (2. ed., Roma: Di Renzo, 2002).
- Weyl, Hermann (1928). *Gruppentheorie und Quantenmechanik* (Leipzig: Hirzel, 1928).