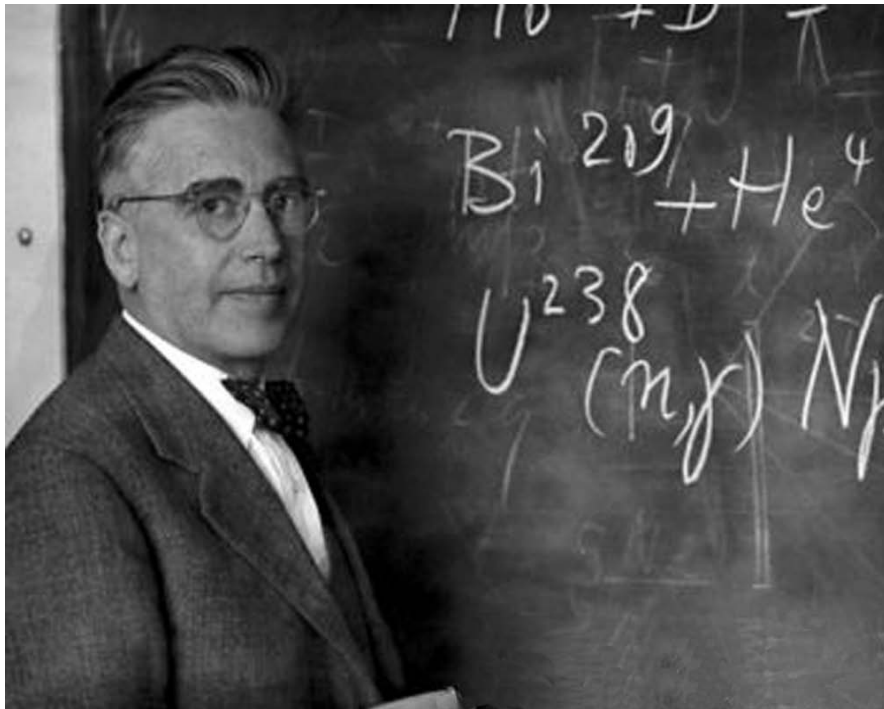


Liceo Ginnasio Statale “
J. Mamiani”

“Un ragazzo di via Panisperna”



Patrizia Cassieri

Nicoletta Allegretti

Indice

1. Il “mamianista”
2. La biografia
3. L’Istituto di via Panisperna
4. La scoperta dell’antiprotone
5. L’antimateria



IL MAMIANI A PALAZZO SORA SAVELLI (1889-1923)

Negli austeri cortili

Degli ultimi anni del liceo a Corso Vittorio parlano due splendide lettere, presenti negli *Annali* 1967 e 1969, l'una di Emilio Segrè, l'altra di Carlo Arullani, compagni di banco e amici fraterni.¹(reperto n.16)

Il giudizio di Segrè, premio Nobel per la fisica nel 1959, è in conclusione positivo: *nel complesso il Mamiani di allora era una buona scuola quasi certo superiore alle scuole medie Americane di oggi, che conosco sia attraverso i miei figli che attraverso gli studenti che giungono alla nostra Università.* L'analisi, lucida e razionale che precede tale giudizio, con sereno distacco tratteggia un completo e complesso bilancio della scuola degli anni 1917-22. *Il tempo speso sul latino e greco per me è stata una pura perdita... la storia era insegnata in modo estremamente provinciale... La propaganda nazionalista... era sfrenata e vari professori, certo in buona fede, guidavano i giovani con forme di retorica parolaia, che si sono poi dimostrate catastrofiche. La scuola media Italiana ha una responsabilità non indifferente per la deficiente preparazione politica della mia generazione... La matematica era insegnata in modo un po' difficile ed astratto..., ma certo in modo serio. La fisica e chimica davano relativamente poche nozioni, ma chiare. Da questi insegnamenti ho tratto profitto e il poco tempo speso in essi ha fruttato... Lo studio lasciava abbastanza tempo libero per altre occupazioni a un giovane volenteroso e intelligente, e molti professori erano liberali e di mente larga, sicché anche in classe, purché uno non disturbasse gli altri e avesse punti discreti, si potevano leggere cose più interessanti che le lezioni del momento. Questo è prova, secondo me, di conoscenza dei giovani, di modestia e di vero spirito di maestro da parte dei docenti. Si richiedeva però abbastanza per abituare i ragazzi a un lavoro serio, regolare, ordinato. Lezione pacata di umiltà a quanti di noi, docenti non dotati di modestia, tuonano con convinzione dalla cattedra all'alunno sorpreso intento a leggere cose più interessanti che le lezioni del momento. Mentre il tratto di Segrè si rivela subito ironicamente disincantato, non so che relazione, salvo il nome, abbia il Mamiani del 1917-'22, epoca in*

1. Il “mamianista”

cui l'ho frequentato io, con quello di ora. Mi fa pensare un po' a un coltello a cui abbiano cambiato 2 volte il manico e 3 la lama, ma è sempre lo stesso coltello (un modo di dire dei Prof. Grimod, insegnante di francese ai miei tempi), di tutt'altro tono è il ricordo di Carlo Arullani, che con un'ombra di malinconia «si riaffaccia» al Mamiani. La sua lettera è una dichiarazione di amore verso il Mamiani, e noi saremmo rimasti tutta la vita «mamianisti», spiritualmente partecipi del passato e del futuro della nostra scuola, rivali ed emuli degli studenti di altri licei, e designa affettuosamente con il termine di "branco" il gruppo dei giovani fra i quali già si intravedevano come assolute certezze alcuni destini del domani. Strano destino quello delle parole: la parola che oggi richiama tristi storie di cronaca, qui introduce un eccezionale elenco di nomi: Emilio Segré e il meraviglioso clan dei «ragazzi di Corbino²», uno dei vivai più ricco di ingegni nel mondo di allora,... Pietro d'Avack, amico di ieri e di oggi, giurista insigne, rettore della nostra combattuta³ università odierna; Guido Calogero, filosofo della più eletta tradizione, e tanti altri che sarebbe lungo ricordare. Su tutto, però, spicca la commozione per la sorte di Enzo Sereni eccezionale figura di umanista e di politico, a cui pochi anni più tardi si profetizzava un posto di primo piano nel governo italiano del dopoguerra. Sereni non potrebbe oggi risponderti: le sue ceneri sono rimaste a Dachau, dopo la cattura in Normandia.

La vicenda di Enzo Sereni,⁴ alunno del Mamiani come il fratello Emilio, merita un ricordo riverente. In Israele nel 1964 è stata dedicata alla sua memoria una foresta di 15.000 alberi e ha preso il suo nome il kibbutz fondato da lui in Palestina, dove emigrò giovanissimo con la moglie. Chiamarono la prima figlia, nata in Italia, con un nome che andava bene per le due lingue, Anna in italiano, Hanna in ebraico. Per la seconda, nata in un Kibbutz, vollero un nome che andasse bene sia per gli ebrei che per gli arabi, perché sognavano che i due popoli potessero convivere in armonia. Scelsero il nome di Agar, la schiava egiziana che da Abramo ebbe Ismaele e divenne la madre di tutti gli arabi⁵. Enzo Sereni aveva conosciuto la moglie Ada⁶ fra i banchi di scuola, poiché erano entrambi studenti dello stesso liceo

Una storia, quindi, iniziata al Mamiani, quello, però, di Palazzo Savelli al Corso Vittorio, nel cuore della vecchia Roma, una storia che comunque ci appartiene. L'architettura del palazzo cinquecentesco sembrava improntasse della sua austerità la scuola di allora, e ben armonizzava con la severa e

1. Il “mamianista”

*quasi mitica figura del Preside Raulich: ma negli austeri cortili e sotto i porticati risuonavano come oggi le voci eternamente giovani dei ragazzi.*⁷

Ancora una volta è una foto a rimandare l'eco di voci giovanili ad *assidua memoria* della loro *prima gita ginnastica* nel 1908.(reperto n. 18)

Gianfranca Privitera
Marisa Scognamiglio

NOTE

¹ entrambe in appendice

² Direttore dell'Istituto di fisica di via Panisperna a Roma, il senatore Orso Mario Corbino (fisico sperimentale di ottimo livello, ma occupato principalmente da impegni di manager della ricerca e dell'industria del Regno d'Italia) fu il primo a rimediare allo stato di arretratezza in cui versava la fisica italiana. Conosciuto Fermi, si rese subito conto che si trovava in presenza di un genio di raro talento e non perse tempo: fece istituire la prima cattedra di Fisica Teorica italiana (il concorso fu vinto da Fermi nel 1926 senza alcuna difficoltà) e diede vita attorno al giovane fenomeno a una scuola di fisica che avrebbe rilanciato, oltre che la scienza italiana, anche il suo istituto. Nel 1927 Corbino chiamò a Roma come suo assistente uno dei migliori fisici sperimentali dell'epoca, [Franco Rasetti](#), coetaneo e compagno di studi di Fermi a Pisa. Corbino insegnava fisica agli studenti di Ingegneria e a lezione fece loro un appello affinché approfittassero della presenza di Fermi per partecipare alla rinascita della fisica italiana. Riuscì così a radunare attorno a Fermi e Rasetti il primo nucleo dei futuri "ragazzi di via Panisperna": [Edoardo Amaldi](#), [Emilio Segrè](#) ed [Ettore Majorana](#). Tra i "ragazzi" bisogna in realtà includere anche i due professori Fermi e Rasetti, allora appena ventiseienni. In seguito si sarebbero aggiunti anche il chimico Oscar D'Agostino e il fisico [Bruno Pontecorvo](#) (*Non solo scienza.it* 27 sett.2001)

³ in questo riferimento cogliamo oggi *un documento nel documento*: la lettera, del 1969, richiama la contestazione universitaria a Roma del periodo in cui D'Avack fu rettore.

⁴ In appendice, scheda su Enzo Sereni. Ringraziamo per la ricerca la prof.ssa Barbara Pulcini.

⁵ Silvia Golferà, *Enzo Sereni*, in golferasi@yahoo.it

⁶ Ada Ascarelli Sereni, nata a Roma nel 1905, si trasferì in Palestina nel 1927 assieme al marito Enzo Sereni, esponente dell'alta borghesia ebraica romana e fine intellettuale. I due, socialisti e sionisti, furono tra i fondatori del kibbutz di Givat Brenner e membri di spicco dell'yishuv.

Ada, responsabile delle relazioni del movimento dell'Aliyah Bet (l'immigrazione clandestina), fu a capo del settore italiano dall'aprile 1947 al maggio 1948, data della proclamazione dello Stato d'Israele. Fu inoltre fondatrice dell'Associazione Italia-Israele. Il marito Enzo Sereni, che faceva parte della Brigata Ebraica che combatté in Europa durante la Seconda Guerra Mondiale, fu catturato dai nazisti e ucciso a Dachau nel 1944

(link <http://motlc.wiesenthal.org/pages/t069/t06971.html>)

Ada Sereni è autrice del libro *I clandestini del mare. L'emigrazione ebraica in Terra d'Israele dal 1945 al 1948*, Mursia editore, collana GUM Testimonianze,

⁷ Carlo Arullani, *Il Mamiani*, 1969 (testo in appendice)

Silvio Bergia,

“ Dizionario Biografico degli Scienziati e dei tecnici”

Zanichelli, Bologna 2004

Negli Stati Uniti dal 1938, cittadino statunitense dal 1944. Iscrittosi al biennio propedeutico di ingegneria a Roma, Segrè vi ebbe come insegnanti F. Severi, G. Castelnuovo, T. Levi Civitas e O. M. Corbino. Durante il quarto anno degli studi conobbe F. Rasetti e E. Fermi. Il fascino esercitato su di lui da quest'ultimo gli fece prendere la decisione di passare al corso di laurea in fisica, convincendo E. Majorana a compiere lo stesso passo. Laureatosi nel 1928 e compiuti gli obblighi di leva, Segrè divenne assistente e più tardi aiuto di Corbino, e iniziò la sua attività di ricerca presso l'Istituto di Fisica. In via Panisperna a Roma, dedicandosi a studi di spettroscopia. Dopo brevi soggiorni ad Amsterdam presso P. Zeeman e ad Amburgo, dove lavorò nel laboratorio di O. Stern, ritornò a Roma, dedicandosi con E. Amaldi a studi su atomi in stati di alta eccitazione. Il gruppo guidato da Fermi stava intanto spostando il centro della sua attività di ricerca dalla fisica atomica alla fisica nucleare. Fermi chiamò Segrè a collaborare, con altri, a queste ricerche. Segrè partecipò in particolare, fra il 1934 e il 1936, alle ricerche sulla radioattività artificiale indotta da neutroni lenti, che portarono all'individuazione di molti isotopi radioattivi e delle proprietà dei neutroni lenti che più tardi sarebbero stati di base allo sviluppo dei reattori nucleari. Nel 1936 Segrè vinse un concorso per la cattedra di fisica sperimentale a Palermo. Nel 1936, servendosi di sostanze radioattive offertegli da E. Q. Lawrence, scoprì l'elemento chimico tecnezio (43), che I.E. Tacke Noddack e W.K.F. Noddack avevano ritenuto erroneamente di aver individuato in natura nel 1925. Il nome richiama il fatto che si tratta del primo elemento che sia stato prodotto artificialmente (gr. τεχνητόφ, “artificiale”). A questa ricerca collaborò il mineralogista C. Perier. Mentre si trovava negli Stati Uniti (1938), in conseguenza delle leggi razziali, Segrè perdette l'insegnamento a Palermo ed entrò a far parte come *research associate* dell'Università della California a Berkeley. Lì, grazie all'uso del ciclotrone, Segrè scoprì altri due elementi, l'astato (85) e il nettunio (93). All'aggravarsi della situazione politica internazionale e in vista di possibili applicazioni belliche, Segrè intraprese, in collaborazione con G.T. Seaborg, uno studio del plutonio, dimostrandone il possibile impiego come combustibile ed esplosivo nucleare. Segrè partecipò poi al progetto

2. La biografia

“Manhattan” (R.J. Oppenheimer), scoprendo con altri la frequenza della fissione spontanea del ^{240}Pu , che influenzò notevolmente lo sviluppo degli esplosivi nucleari. Nel dopoguerra, essendo nel frattempo divenuto cittadino statunitense (1944), Segrè organizzò un gruppo di ricerca che si dedicò inizialmente allo studio dell'interazione nucleone-nucleone. La teoria di P.A.M. Dirac prevedeva l'esistenza delle antiparticelle di tutte le particelle note, quindi anche quella dell'antiprotone: A Berkeley si costruì un acceleratore, il Bevatron, in grado di fornire energia sufficiente perché nelle collisioni potesse essere prodotto l'antiprotone: Il gruppo di Segrè, del quale facevano parte Q. Chamberlain, C.E. Wiegand e T. Ypsilantis, riuscì nell'obiettivo di dimostrarne l'esistenza in un esperimento condotto nel 1955. Per questo risultato Segrè e Chamberlain ebbero il premio Nobel per la fisica del 1959: La scoperta aprì la strada a successive scoperte di antiparticelle. Nel 1972 Segrè fu nominato professore di fisica nucleare all'Università di Roma. Negli ultimi anni, Segrè si è dedicato alla storia della fisica, alla quale ha contribuito con vivaci monografie.

[as] radici

Via Panisperna 89 Roma.

di Giovanni Battimelli,

*professore di Storia della Fisica
all'Università di Roma La Sapienza*

Nel settembre del 1931 si tiene a Roma un Congresso Internazionale di Fisica Nucleare, cui partecipano praticamente tutti i fisici che nel mondo sono coinvolti nelle ricerche su quella che è diventata la frontiera della fisica fondamentale. Si tratta del primo convegno specificamente dedicato al problema della fisica del nucleo atomico, e può a prima vista apparire strano che un evento simile si tenga a Roma anziché in una delle capitali storiche della ricerca in fisica atomica: Berlino, Parigi, Cambridge o Copenaghen. Ma a Roma le cose sono cambiate in modo radicale rispetto ai primi decenni del secolo, grazie all'arrivo nel 1927 di Enrico Fermi e alla formazione, intorno a lui, di un agguerrito gruppo di giovani ricercatori. Ed è proprio sul terreno della nascente fisica del nucleo che questo gruppo dà i suoi primi contributi di rilievo.

Nel 1929 Franco Rasetti prova, grazie ad un raffinato esperimento di spettroscopia, che le proprietà dell'atomo di azoto sono incompatibili con il modello allora dominante, secondo cui il nucleo atomico è composto da una zuppa di protoni ed elettroni. All'epoca, il neutrone non è stato ancora scoperto, e d'altra parte l'emissione di elettroni dai nuclei degli elementi radioattivi nel cosiddetto decadimento beta sembra suggerire in modo naturale che gli elettroni debbano essere particelle costituenti dei nuclei stessi. I risultati di Rasetti mostrano però che qualcosa in questo modello non funziona, e sono uno dei principali argomenti di discussione al congresso di Roma. La chiave per la soluzione del problema arriva nel 1932 con la scoperta del neutrone, che porta alla formulazione del modello del nucleo composto da protoni e neutroni. L'anomalia messa in luce da Rasetti viene così risolta, ma si aprono nuove questioni. Come sono fatte le forze che tengono insieme protoni e neutroni nel nucleo? E da dove vengono gli elettroni emessi dai nuclei nel decadimento beta? Nel periodo immediatamente successivo, ancora i fisici di Roma danno le prime risposte a questi interrogativi. Tra il 1933 e il 1934 Ettore Majorana, stimolato anche dall'apprezzamento di un'autorità come Heisenberg, elabora e pubblica un fondamentale lavoro sulle forze nucleari, ed Enrico Fermi costruisce nello stesso periodo una teoria del decadimento beta che introduce un'idea radicalmente innovativa: nei processi nucleari le particelle possono essere create e distrutte, analogamente a quanto accade a un quanto di luce durante una transizione di un elettrone in un atomo tra due orbite stazionarie. La nozione stessa di "particella elementare" subisce un drastico mutamento di significato.

Nell'opinione di molti, a cominciare dallo stesso Fermi, la teoria del decadimento beta è il più significativo tra i tanti contributi alla fisica dati dal fisico romano. Tuttavia, la fama di Fermi presso il grande pubblico è legata piuttosto alle ricerche sperimentali da lui condotte nel 1934, prima da solo e poi in collaborazione con i più giovani colleghi dell'istituto di fisica romano, sui fenomeni di

3. L'istituto di via Panisperna

radioattività artificiale indotti nei nuclei bombardati con neutroni. È il periodo, breve ma intenso, in cui si origina la saga dei "ragazzi di via Panisperna", e indiscutibilmente grazie a queste ricerche Roma diventa un punto di riferimento per la comunità internazionale dei fisici. La scoperta dell'efficacia dei neutroni lenti nell'attivazione dei nuclei, che avviene nell'ottobre del 1934, e di cui Fermi fornisce rapidamente l'interpretazione teorica, corona un felice periodo di ricerca e giustifica ampiamente il riconoscimento che a Fermi sarà dato nel 1938 con l'attribuzione del premio Nobel. Da Fermi e Rasetti a Majorana e al gruppo dei "ragazzi" (Amaldi, Segrè, Pontecorvo, D'Agostino), la nascita della fisica nucleare è dunque largamente segnata dai contributi di una scuola formatasi e cresciuta in brevissimo tempo apparentemente dal nulla. In realtà, dietro questo successo c'è un sostegno istituzionale e una lungimirante politica della ricerca, ad opera della Facoltà di Scienze di Roma e in particolare dell'allora direttore dell'istituto di fisica (nonché senatore, ex ministro, accorto consulente dell'industria elettrica) Orso Mario Corbino. La storia di questi brevi anni della fisica romana è istruttiva anche perché mostra come i talenti individuali possano

esprimersi al meglio se opportunamente coltivati e messi in condizione di operare in un ambiente adeguato. C'è però anche il lato oscuro della storia. Il 1934 segna il culmine della parabola ascendente del gruppo dei fisici romani. Nella seconda metà degli anni Trenta, le cose si muovono in fretta nel campo della fisica nucleare; non cambiano solo le idee, ma anche le tecniche utilizzate, la strumentazione disponibile, il sostegno finanziario necessario. Arrivano sulla scena i primi acceleratori, che mandano in cantina le vecchie e primitive sorgenti naturali di particelle energetiche. E allo stesso tempo, in Italia e a Roma cambiano ma vanno in direzione opposta, l'attenzione e l'impegno istituzionale verso i settori della ricerca fondamentale. Fermi non riesce a realizzare un laboratorio nazionale per la fisica nucleare, il gruppo si disperde, le leggi razziali e l'involuzione generale della situazione italiana e del panorama internazionale faranno il resto. Quando alla fine del 1938 Fermi va a Stoccolma a ritirare il Nobel, sa che si tratta della prima tappa di un viaggio senza ritorno. Le menti brillanti da sole non bastano, senza il necessario supporto istituzionale. Per la fisica nucleare italiana, costruire in modo stabile questo supporto sarà il compito principale degli anni del dopoguerra.

3. L'istituto di via Panisperna



a.

a.
Da destra verso sinistra: Enrico Fermi, Giancarlo Wick e Edoardo Amaldi, con le rispettive famiglie a Ostia nel 1936.



b.

b.
Da sinistra: Antonio Rostagni, Gleb Wataghin, Enrico Persico, Enrico Fermi, Matilde Rostagni.
Gressoney, La Trinitè, dicembre 1932.

4. La scoperta dell'antiprotone

Giovanni Battimelli

“L’Istituto di Fisica Nucleare, storia di una comunità di ricerca”

Editori Laternza, Roma 2001

4. Le ricerche sull'antiprotone

Tra i risultati emersi nel corso delle ricerche sui raggi cosmici dei primi anni Cinquanta, uno in particolare fu all'origine di una significativa linea di ricerca, dando luogo, tra l'altro, a una fruttuosa collaborazione con un grande laboratorio americano. Studiando al microscopio le lastre fotografiche esposte alla radiazione cosmica in alta quota grazie al lancio di palloni in Sardegna nell'estate del 1953, il gruppo di fisici di Roma diretto da Amaldi trovò in una di esse, agli inizi del 1955, la traccia di un «evento strano» non interpretabile in termini di processi familiari, che sembrava potesse rappresentare con elevata probabilità la prima evidenza di un fenomeno di annichilazione di un antiprotone. Per potersi pronunciare con sufficiente convinzione, sarebbe stato necessario osservare altri eventi simili: e per poter osservare eventi simili, Amaldi progettò di ripetere l'esperienza esponendo le lastre, anziché alla radiazione cosmica con tutti i suoi imprevisti, a una sorgente artificiale controllabile e copiosa. Nel marzo 1955 scrisse quindi al vecchio amico Emilio Segrè al Radiation Laboratory di Berkeley:

ti mando a parte il preprint di un lavoro apparso nel Nuovo Cimento di marzo con la preghiera di leggerlo attentamente. Come vedrai c'è una buona probabilità che abbiamo osservato un antiprotone (l'evento viene chiamato Faustina ovvero sia uno strano accidente) [...] Si può allora

4. La scoperta dell'antiprotone

pensare di provare a produrli anche con la vostra macchina [...] Ora la mia proposta è la seguente: ci mettiamo d'accordo per lettera e voi montate l'esperienza e fate gli irraggiamenti [...] e noi facciamo lo sviluppo e lo scanning; il lavoro viene pubblicato insieme, se viene fuori qualcosa che valga la pena¹².

La scelta di Amaldi di rivolgersi a Segrè non era solo dettata da considerazioni legate al rapporto di collaborazione e amicizia che legava i due fin dai loro giorni di studenti a Roma: Amaldi sapeva che Segrè poteva disporre del Bevatron, il protosincrotrone di Berkeley da 6,2 GeV da poco entrato in funzione, l'unica macchina al mondo capace di raggiungere l'energia di soglia per la produzione di una coppia protone-antiprotone. In un certo senso, quindi, il ricorso alla collaborazione con Berkeley costituiva, da parte dei fisici italiani, una implicita ammissione di resa di fronte alla superiorità dei mezzi dei laboratori americani.

Il pregio della tecnica proposta da Amaldi consisteva nel fatto che, tramite essa, si poteva fornire evidenza visiva del fenomeno: nell'emulsione sviluppata l'antiprotone, per così dire, si «vede». Si trattava però di una tecnica lenta, che richiedeva in genere lunghi tempi di faticosa osservazione al microscopio delle lastre (lo *scanning*) prima di ottenere risultati probanti. La proposta di collaborazione fu accettata da Segrè, che nel frattempo stava mettendo a punto i dettagli per un altro esperimento per la rivelazione dell'antiprotone, basato però su una tecnica differente, fondata sull'utilizzo di un sistema di contatori in coincidenza che avrebbero permesso di determinare simultaneamente massa e carica delle particelle prodotte dal fascio della macchina. In questo modo, la rivelazione di particelle di massa uguale a quella del protone, ma di carica negativa, sarebbe stata indicazione conclusiva dell'esistenza di antiprotoni, anche se attraverso questa disposizione sperimentale essi non potevano essere «visti». Si trattava però, a differenza del caso delle emulsioni fotografiche, di una tecnica molto rapida: i dati venivano ottenuti immediatamente, senza il lungo lavoro di scanning necessario con le lastre¹³.

Le prime lastre furono esposte al fascio del Bevatron nell'estate del 1955 e spedite a Roma, dove un gruppo di fisici, sotto la guida di Amaldi, cominciò il paziente e lungo lavoro di scanning. Ma ancora nessuna traccia era stata trovata quando, alla fine di settembre,

4. La scoperta dell'antiprotone

proprio mentre Amaldi si trovava a Berkeley in visita da Segrè, cominciarono a manifestarsi le prime indicazioni positive dell'esperimento con i contatori, che nel frattempo Segrè e i suoi avevano finalmente messo a punto:

Ieri sera questo esperimento ha cominciato a dare risultati che sembrano positivi: non si è ancora sicuri e bisogna quindi non dirne niente in giro ma può darsi che tra due o tre giorni si abbia una risposta definitiva [...] pertanto aprite gli occhi e dateci sotto perché secondo me ci dovrebbero essere entro lo stack che avete [...] L'ideale sarebbe di avere una evidenza sia con i contatori che con le emulsioni perché allora la cosa sarebbe sicura¹⁴.

Ma quando, nell'ottobre, il gruppo di Segrè decise di annunciare, fugato ogni residuo dubbio, la scoperta dell'antiprotone ottenuta grazie al metodo dei contatori, ancora nessuna traccia diretta di antiprotone era stata rinvenuta nelle lastre a Roma. La cosa avrebbe rivestito, per molti, la garanzia definitiva della bontà dei risultati di Berkeley: la tecnica dei contatori permetteva solo di concludere circa l'esistenza di particelle aventi alcune delle caratteristiche richieste per l'antiprotone, ma non era in grado di mostrare che esse danno luogo a fenomeni di annichilazione, e quest'ultima proprietà poteva essere confermata solo in modo diretto, visuale, attraverso l'esposizione di un processo di decadimento osservabile in una emulsione. Fu solo a novembre che questo finalmente accadde, con l'osservazione dell'evento denominato «Letizia», una bella stella di annichilazione:

Trovata Letizia simile Faustina particella di massa protonica entra nello stack 62 da sinistra in alto arriva a riposo dopo 9,31 cm e produce una stella consistente in 6 particelle nere 1 protone grigio 1 pione da 80 MeV 1 particella al minimo di ionizzazione stop limite inferiore per il rilascio di energia 800 MeV stop misure non ancora finite segue lettera Amaldi¹⁵.

La scoperta di Letizia fu un evento importante per la collaborazione Roma-Berkeley, ma in particolare per il gruppo romano. La somiglianza con Faustina (l'evento «strano» trovato qualche mese prima nei raggi cosmici), sottolineato da Amaldi già nel telegramma a Segrè, rendeva assai plausibile l'ipotesi che anche questo fosse da in-

4. La scoperta dell'antiprotone

interpretarsi come evidenza dell'esistenza dell'antiprotone, confermando l'alta qualità della fisica «povera» fatta da Amaldi e collaboratori lavorando sui raggi cosmici. E di incoraggiamenti in questo senso, in una situazione ancora difficile per la ricerca scientifica, la fisica italiana aveva certo bisogno, come non mancarono di far notare le prime reazioni in casa all'annuncio del brillante risultato dei fisici romani:

A quest'ora avrai saputo del ritrovamento del primo evento di annichilazione di un antiprotone nelle lastre esposte a Berkeley ed esplorate qui a Roma. La doppietta di Amaldi, a cavallo del bell'esperimento americano, è stato un buon colpo, di cui siamo tutti molto contenti: ha risollevato un po' gli spiriti depressi per la solita mancanza di quattrini e per le difficoltà che si stanno incontrando per ottenere una ragionevole legge sulla Energia Nucleare in Italia¹⁶.

Tra il ritrovamento di Letizia e la pubblicazione ufficiale del lavoro in cui essa venne annunciata al mondo scientifico con tutti i dettagli necessari trascorsero un paio di mesi, in cui comunicazioni ufficiali e messaggi di agenzia stampa si incrociarono con una fitta corrispondenza tra Roma e Berkeley per definire i termini precisi del comunicato ufficiale e l'esatto valore da attribuire ai vari risultati della collaborazione. Nell'intensa comunicazione epistolare attraverso cui Amaldi e Segrè definirono il testo finale del lavoro da pubblicare emersero chiaramente alcune indicative differenze di valutazione scientifica. Amaldi insistette ripetutamente sull'importanza della conferma per via indipendente fornita da Letizia, e soprattutto sulla somiglianza di quest'ultima con Faustina, puntando così ad attribuire il giusto credito anche al lavoro precedentemente svolto dal suo gruppo in raggi cosmici. Al contrario Segrè (dietro cui si avvertiva il diretto intervento dei direttori del Radiation Laboratory, Ernest Lawrence e Edwin McMillan), tendeva a escludere ogni riferimento a Faustina, discutendo la fondatezza degli argomenti di Amaldi al riguardo. Da parte dei dirigenti di Berkeley era ovviamente fondamentale che la presentazione dei risultati della collaborazione enfatizzasse al massimo grado il ruolo cruciale svolto dal laboratorio e dalla strumentazione di cui era esclusivo detentore: si trattava in ultima analisi di giustificare, sulla base di un brillante risultato scientifico, l'investimento enorme affrontato dall'Atomic Energy Commis-

4. La scoperta dell'antiprotone

sion per la costruzione del Bevatron. Ma questo tipo di problemi di politica scientifica non erano esclusivo cruccio del Radiation Laboratory, come Amaldi non nascondeva a Segrè:

Anche noi abbiamo i nostri problemi interni e ci serve di far vedere che si fa del buon lavoro. Quando dico ci serve non è tanto per me personalmente o per i ragazzi che lavorano con me quanto per l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e il Comitato Nazionale Ricerche Nucleari i cui presidenti (Bernardini e Giordani) vengono oggi attaccati assai seriamente. Noi abbiamo bisogno di mostrare che le varie sezioni fanno del buon lavoro, e non vi è dubbio che Letizia si presta a questo uso particolarmente bene¹⁷.

E in una lettera a Gian Carlo Wick, Amaldi si sfogava in maniera più esplicita:

Effettivamente abbiamo trovato qui a Roma una bella stella dovuta ad un corpuscolo negativo di massa protonica molto simile a quella trovata in gennaio nella radiazione cosmica. Stiamo per pubblicarla ma abbiamo qualche piccola difficoltà per quanto riguarda il testo finale. A giudicare da quanto succede in questi giorni sembra che i gran capi di Berkeley siano un po' difficilotti. Forse tu mi dirai che già lo sapevi!¹⁸

Alla fine, di fronte agli argomenti di Segrè e ai veti posti dalla dirigenza del laboratorio di Berkeley, il riferimento al lavoro condotto in precedenza con le emulsioni esposte alla radiazione cosmica scomparve dal testo finale della pubblicazione. Si consolidò, così, una immagine della scoperta che la fissa alla data dell'ottobre 1955, assegnando all'esperimento con i contatori il ruolo di dimostrazione conclusiva dell'esistenza della nuova particella, ruolo che verrà definitivamente consacrato con l'attribuzione nel 1959 a Segrè e Chamberlain del premio Nobel per la fisica per la scoperta dell'antiprotone.

La vicenda della scoperta dell'antiprotone mostra, quindi, dei caratteri esemplari che la rendono ben rappresentativa del momento di passaggio dalla fisica dei raggi cosmici a quella degli acceleratori come terreno privilegiato per la fisica delle particelle elementari. È stata anche una vicenda che ha messo drammaticamente davanti agli occhi dei fisici europei la misura del dislivello raggiunto a metà degli anni Cinquanta tra la loro fisica e quella, infinitamente più ricca, dei loro colleghi d'oltre oceano. I fisici della vecchia Europa, anco-

4. La scoperta dell'antiprotone

ra impegnata a rimettersi dalle conseguenze della guerra, seppero comunque prendere atto in tempo della situazione e mettere in cantiere risposte adeguate. Proprio mentre si svolgeva la vicenda dell'antiprotone, in Europa si avviava la realizzazione del grande centro di ricerche di Ginevra, e in Italia l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare decideva di dare vita a quelli che sarebbero diventati i Laboratori Nazionali di Frascati. Di lì a pochi anni, più o meno in coincidenza con l'assegnazione del Nobel a Segrè e Chamberlain, il CERN avrebbe messo in funzione un protosincrotrone di fronte a cui il Bevatron era ormai una macchina obsoleta, e a Frascati avrebbe finalmente cominciato a produrre risultati scientifici importanti il primo elettrosincrotrone italiano.

L'antimateria

asimmetrie 6 / 4.08 / l'editoriale di Andrea Vacchi

La parola "antimateria" è ammantata da un'aura fantastica, suscita domande e stimola l'immaginazione. La teoria che ne descrive le caratteristiche ha da poco compiuto 80 anni. Per ogni particella elementare ne esiste una identica con carica opposta. Se l'atomo ha un nucleo positivo e un guscio esterno con elettroni negativi, per l'antimateria avviene l'esatto opposto: il nucleo è negativo e il guscio esterno è composto di particelle positive. Tolta la carica, tutte le altre caratteristiche dell'antimateria, tra cui anche la massa, sono identiche alla materia. Così l'immaginazione si affaccia su un mondo di antimateria. In numerosi romanzi di fantascienza si parla di una sostanza misteriosa e terrificante che ha la proprietà di distruggere la materia: l'antimateria.

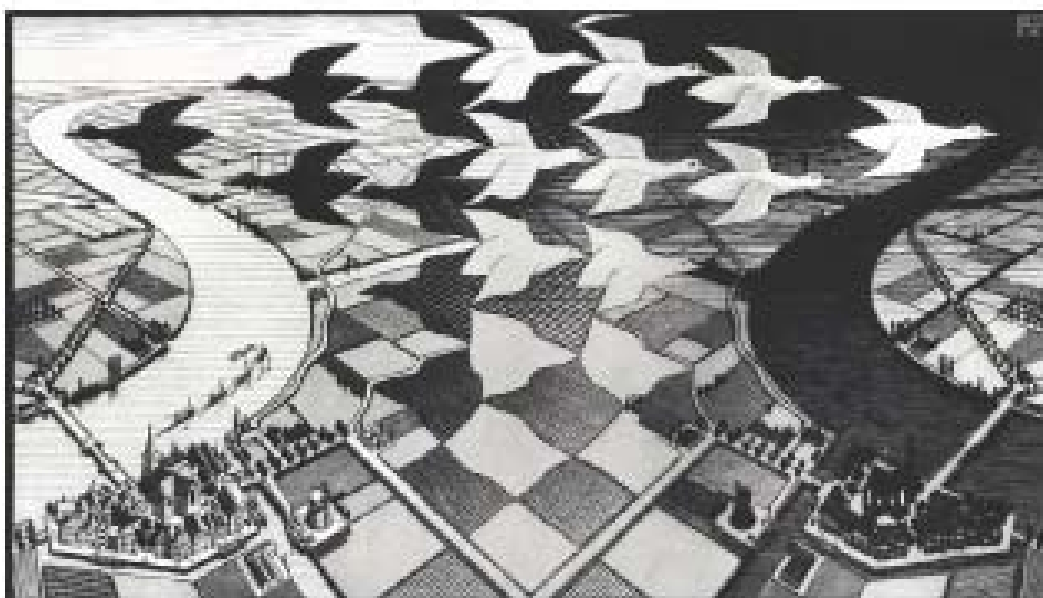
La sua esistenza è provata, essa è stata rivelata, prodotta e immagazzinata, anche se in piccolissime quantità. In campo medico si utilizza normalmente a scopo diagnostico e terapeutico. Nello Spazio ne cerchiamo le tracce e, usandola come una sonda proveniente dall'Universo, possiamo studiare i processi responsabili della sua creazione. Tutti i modelli che descrivono la nascita dell'Universo richiedono la creazione di quantità uguali di materia e antimateria.

Ma il nostro mondo è composto esclusivamente di materia: l'asimmetria tra materia e antimateria, ossia l'assenza apparente di antimateria nell'Universo, è uno dei grandi problemi irrisolti nella fisica delle particelle e nella cosmologia. Incamminiamoci tra questi scenari a scoprire realtà non meno affascinanti della fantascienza.

La Fisica, la Bellezza e l'Antimateria

La storia enigmatica dell'antimateria
e della simmetria nell'Universo.

di Andrea Vecchi



8.

Il quadro *Day and Night* di M. C. Escher. Il positrone, la controparte di antimateria dell'elettrone, fu inizialmente immaginato come una lacuna nel mare di Dirac (vd. p. 9, ndr).

Una scatola piena di elettroni, salvo un piccolo spazio, può essere vista come una scatola vuota con un positrone in quello stesso spazio.

5. L'antimateria

Nell'estate del 1931 Wolfgang Pauli assisteva a un seminario di Robert Oppenheimer sul lavoro del fisico teorico Dirac. Si racconta che, nel bel mezzo di quella lezione, scattò in piedi, afferrò un pezzo di gesso camminando verso la lavagna, e lì davanti si fermò brandendolo come per intervenire, poi disse: "Ach nein, das ist ja alles falsch!"... tutto questo è certamente sbagliato! Più tardi Pauli scrisse, a proposito della spiegazione che Dirac dava dei risultati della sua teoria, "non crediamo che tutto questo debba essere preso sul serio".

Di carattere molto schivo, ai limiti della scontrosità, quando nel 1933 Paul Dirac seppe di aver ricevuto il premio Nobel la sua prima tentazione fu di rinunciare al riconoscimento. Accettò solo davanti all'obiezione di Ernest Rutherford, Nobel nel 1908, che il rifiuto avrebbe suscitato una pubblicità perfino maggiore.

Aveva 31 anni e la convinzione che le leggi fondamentali della Natura fossero pervase da una bellezza matematica che resta tale da qualsiasi punto di vista e sempre.

In quel periodo la recente teoria della meccanica quantistica spiegava come il mondo delle cose molto piccole seguisse leggi diverse da quelle suggerite dal nostro intuito: la meccanica quantistica è una delle maggiori rivoluzioni nella fisica del ventesimo secolo e, anche se può apparire bizzarra e lontana dall'intuito, è probabilmente la descrizione della Natura più vicina alla realtà. Nel frattempo, Einstein proponeva la sua teoria della relatività speciale, dove si mostrava come le leggi che descrivono cose molto veloci sfidino i nostri criteri di buonsenso e che la materia è una tra le tante forme di energia. Nel 1927, Paul Dirac fece il passo fondamentale per accordare fisica quantistica e teoria della relatività speciale di Einstein, introducendo un'equazione in grado di spiegare il comportamento degli elettroni ad ogni velocità, fino alla velocità della luce: quale è la giusta descrizione dell'elettrone come onda quantica? E quale l'equazione che governa la dinamica di queste onde, rispettando le regole della relatività? Il lavoro di Dirac era volto a descrivere la Natura attraverso una formula che rispettasse un'estetica nella matematica. Gli capitò di dire: "È più importante arrivare a equazioni belle che ottenere da esse la riproduzione di osservazioni sperimentali". Questa impostazione lo condusse a risultati spettacolari. È fondamentale che l'esperimento confermi una teoria scientifica, ma certe teorie appaiono troppo belle per essere scartate, anche se restano in attesa di una conferma sperimentale. Semplicità ed eleganza sono le caratteristiche che appaiono quando una teoria è sviluppata con il minimo numero di assunzioni, quando è universale e descrive fenomeni ai quali non era diretta in origine.

Dirac amava la montagna: tra le sue ascensioni si ricorda il monte Elbruz nel Caucaso. Si preparava a queste escursioni arrampicandosi sugli alberi nelle colline attorno a Cambridge, vestito degli stessi abiti scuri che usava nel campus. Se per gli artisti la bellezza è spesso soggettiva, nella scienza si cercano equazioni che mantengano la loro forma anche attraverso trasformazioni che le adattano ai diversi sistemi di riferimento. L'equazione della sfera, ad esempio, non cambia quando le coordinate

5. L'antimateria

sono invertite: la sfera resta tale vista da qualunque prospettiva, anche attraverso uno specchio. La sua affermazione sull'importanza della bellezza era diretta a Erwin Schrödinger. Dirac era dell'avviso che Schrödinger avrebbe dovuto continuare il suo sviluppo teorico senza curarsi degli esperimenti. Egli fece in questo modo, arrivando a scoprire un'equazione consistente con la relatività ma in una forma matematica nuova, insolita per la maggior parte dei fisici di allora. È un'equazione che ha la stessa forma in ogni sistema di riferimento e resta invariata nelle trasformazioni di spazio e tempo richieste dalla teoria della relatività.

Il lavoro di Dirac, intitolato *La Teoria Quantistica dell'Elettrone*, fu pubblicato ottanta anni fa, nel febbraio del 1928. Lo sviluppo che vi si proponeva portava alla sua equazione, in grado di fornire una spiegazione naturale per le caratteristiche dell'elettrone come lo *spin*, ma conduceva anche a risultati sorprendenti e apparentemente paradossali: ogni soluzione in cui l'elettrone aveva una prevedibile energia positiva, permetteva una controparte con energia negativa, stati a energia negativa che apparivano come particelle con numeri quantici inversi rispetto alla materia "normale" tutti lo ritenevano innaturale, impossibile.

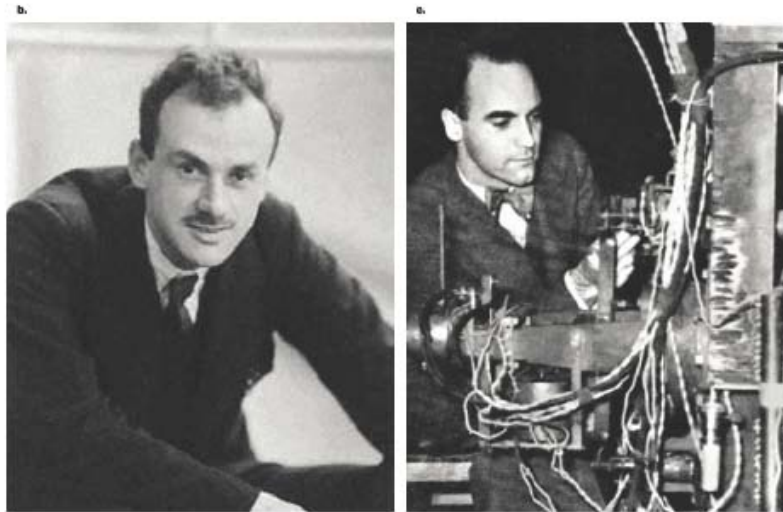
Furono necessari tre anni di ipotesi e discussioni e finalmente nel 1931, interpretando i suoi risultati Dirac intuì e propose l'esistenza dell'*antielettrone*, chiamato anche *positrone*, una particella con la stessa massa e lo stesso *spin* dell'elettrone, ma con carica elettrica opposta.

Era un'ipotesi ardita nata come risultato di una formulazione teorica che diede luogo, tra i fisici, a discussioni infuocate. Dirac predisse, inoltre, che se un elettrone avesse incontrato un antielettrone la coppia si sarebbe dovuta annichilare e la massa ricombinata trasformarsi in radiazione, così come richiesto dalla celebre equazione di Einstein $E = mc^2$. Una simile particella era sconosciuta. Dirac formulò l'ipotesi che in altre parti dell'Universo le cariche positive e negative fossero invertite, che esistesse quindi un Universo di antimateria. L'insistere sulla consistenza e bellezza della teoria portava a immaginare aspetti inattesi della Natura. Naturalmente questo richiedeva un'intelligenza intuitiva straordinaria, che certo a lui non mancava.

Nel 1932, mentre studiava le tracce lasciate dalle particelle dei raggi cosmici nel suo rivelatore, la *camera a nebbia* (vd. "Il mistero dei raggi cosmici" p. 7, ndr), Carl Anderson notò che alcune di esse pur avendo tutte le caratteristiche lasciate di solito dagli elettroni, reagivano al campo magnetico come se avessero carica opposta. Si trattava della prima chiara evidenza sperimentale dell'esistenza di una particella di antimateria, l'*antielettrone di Dirac*. Una scoperta sensazionale: l'antielettrone previsto dai risultati dell'equazione di Dirac era stato identificato senza possibilità di errore.

Un trionfo esaltante per la fisica teorica che vide confermata dall'esperimento la sua predizione, frutto di immaginazione e bellezza matematica.

5. L'antimateria



6 > 7

b.
Un ritratto di Paul Dirac.

c.
Carl Anderson vicino alla camera
a nebbia con cui scoprì il positrone
nel 1932.



d.
Il laboratorio Berkeley come appariva
nel 1955. Il Bevatron si trova sotto
la cupola centrale.

e.
Da sinistra Emilio Segrè, Clyde
Wiegand, Edward Lofgren, Owen
Chamberlain e Thomas Ypsilantis,
i componenti del gruppo che
scoprì l'antiprotono. Lofgren era
responsabile dell'acceleratore.

5. L'antimateria

Questa prova sperimentale fu confermata pochi giorni dopo da Patrick Blackett e Giuseppe Occhialini che, con uno strumento simile ma reso più selettivo dall'impiego di circuiti elettronici molto avanzati (la specialità del giovane Occhialini), osservarono due fenomeni già previsti da Dirac: la generazione di coppie di elettroni e positroni prodotti direttamente dalla radiazione, e l'annichilazione, il processo nel quale particelle e antiparticelle riunite sparivano emettendo radiazione.

Nella lezione che tenne, ricevendo il premio Nobel nel 1933, Dirac ipotizzò l'esistenza dell'antiprotone, o protone negativo. Gli acceleratori di particelle oggi generano antiprotoni, antineutroni e antimeson. Nella visione di Dirac, come verificato dalla fisica sperimentale, ogni particella elementare ha un complementare, un'antiparticella. Se l'elettrone è un piccolo rilievo, una goccia nello spazio, la sua antiparticella, il positrone, è una fossa, una lacuna. Particella e antiparticella possono essere create o distrutte solo in coppia e la loro somma è radiazione. Questi eventi di creazione e annichilazione di coppie si realizzano oggi normalmente nei grandi acceleratori e vengono osservati con raffinati strumenti negli apparati sperimentali. L'equazione di Dirac, una delle cattedrali della scienza, spianò la strada allo studio dell'antimateria e inscurì un

periodo fertilissimo di scoperte. La caccia alle antiparticelle era iniziata. Il passo successivo era dimostrare l'esistenza dell'antiprotone. Questa era messa in dubbio da un valido argomento: nell'Universo non c'è simmetria tra materia e antimateria. Inoltre, per produrre l'antiprotone è necessaria un'energia molto maggiore a quella necessaria a produrre positroni.

Nel 1955 a Berkeley, in California, fu messo in funzione il più potente acceleratore mai costruito fino a quel momento (vd. Asimmetrie n. 6, ndr). Proposto da Ernest Lawrence, il Bevatron era capace di raggiungere 6,2 GeV (allora il miliardo di elettronvolt, il GeV di oggi, era chiamato BeV, da cui il nome dell'acceleratore). Lawrence era cosciente del fatto che questa era l'energia necessaria per superare la soglia di produzione degli antiprotoni.

Emilio Segrè era stato il primo studente a laurearsi con Fermi all'Università di Roma. Anche Owen Chamberlain aveva studiato con Fermi ed era diventato poi assistente di Segrè durante il progetto Manhattan. Insieme progettarono un labirinto di magneti e contatori elettronici attraverso i quali potevano passare solo antiprotoni. L'ingegnoso esperimento usava rivelatori e dispositivi elettronici che per l'epoca erano di frontiera. "Dovemmo selezionarli e pesarli in molto meno di un milionesimo di secondo", spiegò in seguito Segrè. Nell'ottobre

5. L'antimateria

del 1955, lui e i suoi collaboratori bombardarono un bersaglio di rame con i protoni accelerati dal Bevatron. Si contarono 60 particelle identiche ai protoni, ma con carica elettrica negativa: 60 antiprotoni!

Iniziarono anche altre ricerche indirizzate, ad esempio, verso la scoperta del primo antinucleo (vd. "Primo passo verso l'antinucleo" p. 12, ndr), e si sostenne da allora la fantasia dei narratori di fantascienza e non solo. La stampa locale, il Berkeley Gazette, usciva con un titolo preoccupato: "Minacciosa scoperta all'Università di California". Pare che al giornalista fosse stato detto che un antiprotone avrebbe causato l'esplosione di chi ne fosse venuto a contatto. Oggi miliardi di antiprotoni vengono prodotti normalmente al Cern di Ginevra e al laboratorio Fermi di Chicago, senza alcun pericolo. Poco dopo la scoperta dell'antiprotone Oreste Piccioni individuò l'antineutrone. Erano anni di vera passione scientifica tra grandi scoperte teoriche e sperimentali. Oreste Piccioni ebbe un importante ruolo anche nella scoperta dell'antiprotone, come ricordarono Segnè e Chamberlain nel ricevere il premio Nobel. Ma il suo contributo di grande fisico sperimentale resta storicamente l'elegantissima misura che, studiando la reazione di scambio della carica in cui un protone e un antiprotone danno un neutrone e un antineutrone, dimostrò

l'esistenza dell'antineutrone. La teoria di Dirac richiede che ogni particella abbia un partner di antimateria di massa uguale e carica elettrica opposta. Ogni particella ha la sua "anti". I protoni sono composti da quark. Analogamente gli antiprotoni sono composti da antiquark. In questo modo è possibile produrre la famiglia completa di antiparticelle. Vengono chiamate *particelle di Dirac* le particelle che hanno un complementare di antimateria. Nel 1937 il giovane fisico Ettore Majorana pubblicò il suo lavoro scientifico più famoso, *Teoria simmetrica di elettroni e positroni*, in cui si introduce l'ipotesi rivoluzionaria che il partner di antimateria di alcuni tipi di particelle siano loro stesse. Questo era in contraddizione con ciò che Dirac aveva proposto. Majorana suggerì che il neutrino, da poco introdotto da Pauli e Fermi per spiegare le caratteristiche del decadimento con elettroni di alcune sorgenti radioattive, fosse un esempio di particella capace di essere l'antiparticella di se stessa. I neutrini non hanno carica, non necessariamente si comportano come i quark e gli elettroni e le altre particelle di Dirac. L'assenza di carica permette l'ipotesi che il neutrino e l'antineutrino siano la stessa particella. Ettore Majorana propose questa idea e una particella che coincide con la sua antiparticella viene chiamata *particella di*

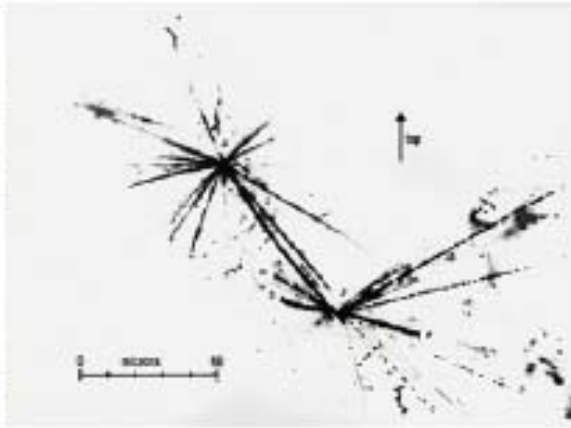
Majorana. La scoperta della massa del neutrino ha messo questo tema in primo piano. Per ordinare il neutrino all'interno del modello teorico chiamato *Modello Standard* è necessario sapere se i neutrini sono particelle di Dirac o particelle di Majorana. Oggi, moderni e raffinati esperimenti sono tesi a chiarire questo particolare aspetto dei neutrini. Dai primi lavori di Dirac sono trascorsi ottanta anni, l'idea dell'antimateria è ancora sorprendente e affascinante perché l'Universo appare composto completamente di materia.

L'antimateria sembra andar contro tutto ciò che sappiamo a proposito dell'Universo. L'Universo è completamente composto di materia anche se nel Big Bang sono state create quantità uguali di materia e antimateria. Perché? Tutte le particelle di materia e antimateria dovrebbero essere annichilate lasciando solo fotoni, ma in qualche modo una piccolissima frazione della materia ha potuto sopravvivere per creare l'Universo come lo conosciamo. È uno dei più grandi misteri della fisica moderna.

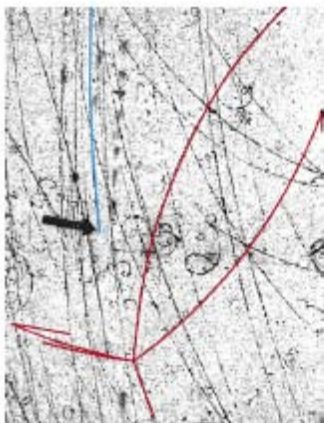
5. L'antimateria



f.
Un antiprotone (tracce colorate artificialmente in rosso) entra in una camera a bolle dal basso e colpisce un protone. L'energia rilasciata nell'annichilazione produce quattro particelle positive (pioni in rosa), quattro particelle negative (pioni in verde). La traccia gialla è un neutrone n_0 , prodotto di decadimento di uno dei pioni da cui ha origine. I ricci blu sono prodotti da elettroni di bassa energia, da reazioni che non hanno a che vedere con l'antiprotone.



g.
L'evento chiamato "Faustina", trovato nel febbraio 1955 dal gruppo di ricerca guidato da Edoardo Amaldi in una delle emulsioni fotografiche esposte ai raggi cosmici durante la spedizione in Sardegna del 1953, è interpretabile come processo di "produzione, cattura e annichilamento di un protone negativo".



h.
Questa immagine, ottenuta nel 1955 nella camera a bolle di Berkeley, dimostra l'esistenza del l'antineutrone, l'antiparticella del neutrone. Nel punto segnato dalla freccia nera un antiprotone prodotto dall'accelerazione subisce una reazione di scambio della carica. L'antineutrone prodotto non lascia una traccia visibile, percorre una decina di centimetri prima di annichilare in una caratteristica stella di annichilazione. L'energia rilasciata è consistente con quella che ci si aspetta quando la massa a riposo di un neutrone e di un antineutrone vengono convertite in energia.

i.
L'esperimento CUORE presso i Laboratori del Gran Sasso dell'Infn, di cui qui vediamo una colonna, è un rivelatore modulare costituito da 1.000 cristalli di ossido di tellurio disposti in una matrice quadrata di 25 colonne, ciascuna delle quali contiene 40 cristalli di TeO_2 di 50×50 cm². Questi, a una temperatura di ca. 7-10 mK, molto vicino allo zero assoluto, fungono sia da rivelatore che da sorgente di ^{125}Te . L'esperimento permetterà di studiare con grande sensibilità il decadimento raro, con due elettroni senza neutrino, del ^{125}Te . La misura delle caratteristiche di questo decadimento senza neutrini indicherà se il neutrino è una particella di Majorana e aiuterà a spiegare l'asimmetria particella-antiparticella nell'Universo. L'osservazione di questo decadimento avrà sulla fisica, sull'astrofisica e sulla cosmologia un impatto molto profondo.

LINK AL WEB ITALIANO

- Segrè e la bomba atomica – intervista di Enzo Biagi (video – parte 1)
- Segrè e la bomba atomica – intervista di Enzo Biagi (video – parte 2)
- Enrico Fermi e i ragazzi di Via Panisperna
- Una galleria di immagini

LINK AL WEB INTERNAZIONALE

- La lecture per il Nobel
- L'Emilio Segrè Visual Archive
- Il libro di Segrè su Fermi
- L'obituary di Segrè sul New York Times
- 1933, il Nobel a Erwin Schrödinger e Paul Dirac
- http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1959/segre.html