

Enrico Fermi. L'atomo e la bomba atomica

La vita

Enrico Fermi nacque a Roma il 29 settembre 1901. Di ingegno precoce, dopo il liceo entrò alla Scuola Normale di Pisa dove si laureò in fisica a soli ventun anni discutendo una tesi sui raggi X; fu quindi borsista a Gottinga e Leida, compiendo ricerche con Max Born e Paul Ehrenfest. Nel 1925, come professore incaricato di meccanica razionale e fisica matematica all'università di Firenze, collaborò con Franco Rasetti a esperimenti di spettroscopia e nel 1926, ottenuta la cattedra di fisica teorica all'università di Roma, si trasferì nella capitale, dove fece parte, insieme a Edoardo Amaldi, Emilio Segrè ed Ettore Majorana, cui si aggiunsero in seguito Bruno Pontecorvo e Oscar D'Agostino, del gruppo di ricercatori dell'istituto di fisica di via Panisperna fondato da Orso Mario Corbino. Studioso di meccanica ed elettrodinamica relativistica, nel 1931 il suo lavoro, insieme a quello di Paul Dirac, pose le basi della teoria statistica legata al principio di esclusione di Wolfgang Pauli. In fisica nucleare studiò il decadimento beta (1934), confermando teoricamente resistenza del neutrino, e nel 1935 provò per primo la disintegrazione nucleare di circa ottanta tipi di nuclei mediante l'impiego di neutroni lenti. Per questi motivi ottenne nel 1938 il premio Nobel per la fisica.

A causa della promulgazione delle leggi antisemite (la moglie Laura Capon era ebrea), nel 1938 si trasferì negli Stati Uniti dove insegnò alla Columbia University: dal 1944, assunta la cittadinanza statunitense, fu docente all'Institute of Nuclear Studies dell'università di Chicago, che oggi porta il suo nome. Nel 1942 mise a punto la prima pila atomica a uranio e grafite e collaborò allo sviluppo della bomba atomica partecipando al Progetto Manhattan, ma nel 1945 si espresse contro l'uso dell'energia nucleare su bersagli civili. Successivamente si occupò di fisica del plasma e delle particelle e di applicazioni dello studio delle radiazioni cosmiche alla cosmologia con Subrahmanyan Chandrasekhar.

Nell'estate del 1954 iniziarono a manifestarsi i sintomi di un tumore allo stomaco che lo portò alla morte, avvenuta a Chicago il 20 novembre dello stesso anno. Tra le opere di Fermi, che fu anche un ottimo divulgatore, si ricordano *Introduzione alla fisica delle particelle* (1928), *Molecole e cristalli* (1934), *Termodinamica* (1937), *Particelle elementari* (1951).

La fisica del tempo

Enrico Fermi nasce a Roma nel 1901, inizia la sua produzione scientifica nel 1921, all'età di vent'anni, e la conclude nel 1954, l'anno della sua morte. Subito dopo il liceo partecipa a un concorso di ammissione alla Scuola Normale di Pisa, e il modo in cui svolge il tema assegnato - *Caratteri distintivi dei suoni e loro cause* - è diventato ormai una leggenda: non è l'elaborato di un brillante studente liceale, ma quello di un fisico con una profondissima conoscenza della sua disciplina e della matematica. La sua attività scientifica inizia in una situazione italiana che, relativamente alla fisica, è letteralmente disastrosa; tanto per avere un'idea, alla fine dell'Ottocento le cattedre di fisica su tutto il territorio nazionale sono tredici, nel 1926 salgono appena a venti. Si tratta inoltre di una fisica di stampo dichiaratamente sperimentale, ancora fortemente legata alla tradizione ottocentesca; le grandi teorie scientifiche - la teoria della relatività e la meccanica quantistica - di cui si stanno occupando i centri di ricerca più avanzati in Europa, non entrano in Italia, anzi sono fortemente osteggiate dalla comunità dei fisici. Ancora negli anni Venti, Michele La Rosa, professore ordinario di fisica e direttore dal 1925 della sezione di fisica dell'Enciclopedia Italiana, scriverà a proposito della teoria della relatività: «*Porto una nota assai stonata nel coro solenne di esaltazione che da tutto il mondo si è levato verso il nuovo Verbo. Chi si provi a spogliare la teona della ricca, veste matematica e a tradurre in linguaggio concreto, cioè in idee e concetti, i mirabolanti risultati nascosti nelle formule abbaglianti, non riesce ad altro*

che a provar le vertigini; e più che per le spaventevoli demolizioni che la teoria ha largamente seminato nel campo dei concetti più generali, di quei concetti che erano la base stessa della nostra conoscenza, per il vuoto affannoso e orribile che essa lascia al suo posto». L'atteggiamento di La Rosa non è isolato ma trova ampia condivisione. Il merito di Enrico Fermi fu proprio quello di rompere questa tradizione portando nel giro di pochi decenni la scuola di fisica italiana sulla scena della ricerca internazionale.

Enrico Fermi appartiene all'ultima generazione di fisici capaci di coniugare straordinarie abilità sperimentali con eccezionali doti teoriche. Oggi l'alta matematica utilizzata nella ricerca teorica e la strumentazione sempre più sofisticata della ricerca sperimentale richiedono competenze specifiche altissime, che non si possono riassumere in un'unica figura di ricercatore.

In questo contributo ripercorreremo gli itinerari di ricerca di Enrico Fermi soffermandoci sulle molte luci, ma anche su alcune ombre, che hanno segnato la carriera di questo straordinario scienziato.

La scuola romana: i ragazzi di via Panisperna

Una figura che ebbe un'influenza determinante sulla carriera scientifica di Enrico Fermi è quella di Orso Mario Corbino, professore di fisica, direttore dell'istituto di fisica di Roma e senatore. Orso Mario Corbino si accorge subito delle straordinarie potenzialità di Fermi e vede la possibilità di realizzare, grazie a lui, il progetto di dar vita a una scuola di fisica italiana di statura internazionale e al passo con i tempi; aiuta perciò Fermi a ottenere due borse di studio per l'estero. La prima porta Fermi a Gottinga, dove incontra Max Born e altri padri fondatori della meccanica quantistica. A dire il vero, questa esperienza non è molto produttiva; va meglio con il soggiorno a Leida, presso il gruppo del fisico Paul Ehrenfest, reso possibile dalla seconda borsa di studio. Nella città olandese Fermi incontra un ambiente del tutto diverso, stringe legami, amicizie, e il soggiorno sarà estremamente proficuo anche dal punto di vista scientifico. Al suo ritorno in Italia si pone il problema di una sua sistemazione definitiva all'interno del mondo accademico; è sempre Orso Mario Corbino che provvede a far istituire a Roma la prima cattedra di fisica teorica, vinta da Fermi nel 1926. Con questa cattedra Fermi riesce a coagulare intorno a sé un gruppo di giovani ricercatori - i ragazzi di via Panisperna - con cui darà avvio alla nuova stagione della fisica italiana. È un gruppo che manifesta una struttura e una organizzazione tale da renderlo unico e farlo apparire come uno dei primi gruppi di ricerca - in Italia sicuramente il primo - così come oggi li intendiamo. La struttura del gruppo emerge anche attraverso i soprannomi che questi giovani ricercatori usano tra di loro: il «Papa», per l'infallibilità delle sue conclusioni è Enrico Fermi, il «Cardinal vicario» o «Venerato Maestro» è Franco Rasetti, la «Divina Provvidenza» il professor Giulio Cesare Trabacchi, chimico, direttore dell'Istituto fisico di sanità pubblica, che per scopi medici dispone di un grammo di radio; è lui che provvidenzialmente riesce a fornire le sorgenti radioattive necessarie per gli esperimenti. Il «Cardinal de propaganda fide» è invece Enrico Persico, che nel frattempo si è trasferito da Firenze a Torino contribuendo a far diventare questa sede un ulteriore centro di diffusione della nuova fisica. Gli «Abati» sono i giovanissimi del gruppo: Edoardo Amaldi ed Emilio Segrè. Anche Ettore Majorana ha un soprannome, anzi due, a seconda dei casi: o lo «Spirito Santo» o il «Grande Inquisitore». Orso Mario Corbino, infine, è il «Padreterno».

Viaggio nella fisica nucleare

Con la cattedra di fisica teorica inizia per Fermi un periodo di intensa attività: riprende progetti di ricerca sperimentale avviati insieme all'amico Franco Rasetti e nello stesso tempo continua a coltivare i suoi interessi teorici; è inoltre un instancabile didatta, nel senso che cura la formazione dei giovani che gravitano attorno alla sua cattedra, e stringe rapporti con i centri più affermati dell'Europa, favorendo scambi culturali e iniziando a farsi conoscere all'interno della comunità dei

fisici europei. Nel 1929, a tavolino, il gruppo di via Panisperna decide di cambiare linea di ricerca: fino a quel momento si era occupato di studi relativi alla fisica atomica, ma si rende conto che quello è ormai un terreno di indagine in cui non è più possibile fare scoperte eccezionali, e sceglie perciò di rivolgere l'attenzione alla fisica del nucleo, una disciplina emergente.

Intorno al 1929 del nucleo atomico si sa che è una regione interna dell'atomo, molto piccola (il raggio nucleare è intorno ai 10^{-13} centimetri, mentre il raggio atomico è 10^{-8} centimetri; tanto per fare un paragone molto grossolano, se il nucleo fosse Genova, i primi elettroni esterni li troveremmo circa a Venezia). La concezione - la più diffusa e la più accreditata nei primi decenni del Novecento - che vede il nucleo costituito soltanto da elettroni e protoni prende il nome di «modello (p-e)». Esso governa lo sviluppo della fisica nucleare dal momento in cui è stato introdotto il concetto di nucleo fino al 1933. Sarà proprio Fermi a demolirlo, sostituendolo con il modello di nucleo, attuale ancora oggi, costituito solo da protoni e neutroni. Il motivo per il quale il modello (p-e) vive così a lungo sulla scena della fisica nucleare è dovuto a un principio che chiamerò «principio di preesistenza». Esso è molto semplice ed è tanto intuitivo che non è quasi mai stato espresso in maniera esplicita. Il principio di preesistenza dice sostanzialmente che, se una particella è emessa da un nucleo, allora prima della sua emissione doveva essere contenuta all'interno del nucleo stesso. È come se noi vedessimo uscire una persona da una stanza: l'ipotesi più semplice che possiamo fare è che, prima di uscire, quella persona fosse dentro la stanza. Le sostanze radioattive emettono particelle beta, che sono elettroni, e anche particelle alfa, che, secondo le concezioni del tempo, erano costituite da quattro protoni e due elettroni. In base al principio di preesistenza il nucleo atomico doveva perciò essere costituito da protoni ed elettroni.

Protoni, elettroni e neutroni

Il principio di preesistenza non è mai messo in dubbio fino al 1933. Soltanto Francis Aston nel 1920 suggerisce che ritenere le particelle alfa dei costituenti nucleari, per il solo fatto di essere emesse nei decadimenti radioattivi, sarebbe come sostenere che una pistola contiene del fumo unicamente perché questo esce dalla sua canna dopo lo sparo. La voce di Aston rimane tuttavia una voce isolata, non ha alcun seguito all'interno della comunità scientifica: il nucleo atomico continua a essere ritenuto una struttura costituita da protoni e da elettroni variamente aggregati tra loro. Il modello (p-e) subisce così, nel corso di una decina d'anni, diverse articolazioni aventi tutte l'obiettivo di organizzare coerentemente la grande quantità di dati sperimentali che si stavano accumulando.

I problemi emersero in tutta la loro gravità nel momento in cui esso dovette confrontarsi con la nascente meccanica quantistica: una teoria che aveva tutte le credenziali per porsi come illegittimo linguaggio teorico con cui trattare i fenomeni atomici e nucleari. In particolare, la spiegazione di una particolare caratteristica del decadimento beta, poneva difficoltà apparentemente insormontabili. Cerchiamo di capire di cosa si trattava.

Il decadimento radioattivo può essere pensato come una reazione nucleare in cui il nucleo emettitore (nucleo padre) si trasforma in un altro nucleo (nucleo figlio) attraverso l'emissione di un elettrone (raggio beta). Poiché le energie del nucleo padre e del nucleo figlio sono ben definite ci si aspetterebbe, ammessa la validità del principio di conservazione dell'energia, che anche l'energia dei raggi beta sia ben definita, ossia pari alla differenza tra le energie dei nuclei padre e figlio. L'evidenza sperimentale mostrava invece che non era così: gli elettroni che costituivano i raggi beta avevano energie che variavano, in modo continuo, da un valore minimo a un valore massimo; sembrava dunque che in tali processi non dovesse valere il principio di conservazione dell'energia.

Neanche la scoperta del neutrone (una particella di massa pari a quella del protone ma elettricamente neutro), avvenuta nel 1932, fu in grado, nell'immediatezza, di risolvere i gravi

problemi della fisica nucleare degli anni Venti. Il neutrone, infatti, non eliminò la presenza degli elettroni nel nucleo ma si aggiunse come un ulteriore componente della compagine nucleare, ponendo ulteriori interrogativi sulla sua natura. In altre parole, complicò le cose, però le complicò in maniera tale da poter essere risolte.

Il capolavoro di Fermi

La scoperta del neutrone nel 1932 è una tappa fondamentale nella storia della fisica nucleare. Nello stesso anno viene scoperto anche il positrone (una particella che ha tutte le caratteristiche dell'elettrone ma carica positiva). Nello stesso periodo Wolfgang Pauli, uno dei grandi padri fondatori della meccanica quantistica, avanza un'ipotesi molto audace per spiegare le anomalie legate alla presenza degli elettroni nucleari, in particolare l'apparente non conservazione dell'energia nel decadimento beta. La sua ipotesi consiste nel supporre che in tale decadimento insieme all'elettrone fosse emessa anche un'altra particella, di massa molto piccola, da lui chiamata «neutrone», che portava via l'energia mancante. In realtà, come abbiamo già detto, il neutrone è una particella pesante e sarà Fermi a rinominare la particella ipotizzata da Pauli «neutrino».

Nel 1933 si svolge il settimo Congresso Solvay, dedicato proprio alla struttura del nucleo. È un'occasione che riunisce i maggiori studiosi del settore. Enrico Fermi è tra i partecipanti. Il congresso è denso di avvenimenti, di comunicazioni e su Fermi esercita un'influenza molto importante. A pochi mesi dal suo ritorno lo scienziato italiano elabora una teoria che costituisce un punto di svolta. Fermi ne è consapevole: dirà infatti che la teoria del decadimento beta è il suo capolavoro, quello per cui sarà ricordato dalla posterità. E sarà proprio così, perché se volessimo individuare il punto di avvio della fisica nucleare e della fisica delle particelle, così come oggi la conosciamo, dovremmo riferire proprio alla teoria di Fermi del 1933. Si tratta di una teoria molto astratta, tant'è vero che «Nature», la prima rivista a cui Fermi spedisce il suo lavoro, rifiuta la pubblicazione perché le ipotesi sono troppo astratte per essere reali. Fermi manderà lo stesso articolo sia a una rivista italiana sia a una rivista tedesca, che lo pubblicheranno, e con il tempo le sue idee verranno universalmente accettate.

In sostanza, l'idea rivoluzionaria di Fermi consiste nel demolire il principio di preesistenza: gli elettroni che costituiscono i raggi beta non si trovano dentro il nucleo, che è composto soltanto da protoni e neutroni, ma vengono creati, insieme ai neutrini, nel momento della loro espulsione. Il formalismo matematico usato da Fermi è molto avanzato (seconda quantizzazione); insomma, senza entrare troppo nello specifico, diciamo che è il formalismo più appropriato che si ha a disposizione in quel periodo per trattare fenomeni di creazione e distruzione di particelle.

A un passo dalla fissione nucleare

Per il gruppo dei ragazzi di via Panisperna il 1934 è un anno di particolare importanza. In Francia i coniugi Irène Curie e Frédéric Joliot scoprono la radioattività eccitata, cioè la proprietà posseduta da alcuni elementi di diventare radioattivi quando vengono colpiti da particelle alfa. Enrico Fermi vede subito in questa scoperta una nuova possibilità: pensa immediatamente che se le particelle alfa producono la radioattività eccitata, cioè rendono radioattivi degli elementi leggeri, sicuramente lo stesso avverrà, e ancora meglio, con i neutroni. Infatti i neutroni, che non hanno carica elettrica, possono entrare più agevolmente nel nucleo e non sono respinti da questo come invece accade con le particelle alfa dotate di carica positiva. È lo stesso Fermi a ottenere i primi risultati positivi provocando la radioattività dell'alluminio e del fluoro. Il progetto di un'analisi sistematica su tutti gli elementi degli effetti prodotti dai neutroni dà inizio, per il gruppo dei ragazzi di via Panisperna, a un periodo di intensa attività.

Nell'estate del 1934, le delicate misure con gli ultimi elementi della tavola periodica, quelli più pesanti, come il torio e l'uranio, mostrano un risultato sorprendente. La sorpresa è che, bombardando con neutroni l'uranio, vengono individuate tracce di nuovi elementi radioattivi. Come è noto, gli elementi radioattivi non possono essere individuati così come si fa con gli elementi chimici ordinari; la natura di un elemento radioattivo è svelata da caratteristiche come il tipo di particelle che emette, la sua vita media, il percorso in aria delle particelle emesse prima che esse vengano assorbite. Sono insomma le caratteristiche della radioattività a identificare un radioelemento. Analizzando le caratteristiche della radiazione emessa dall'uranio irradiato da neutroni, il gruppo dei giovani scienziati raccolto intorno a Fermi pensa che debbano esistere due nuovi elementi radioattivi, che vengono battezzati «esperio» e «ausonio». Si può notare qui l'acceso nazionalismo, ricordiamo che siamo in piena epoca fascista: Esperia era il nome con cui gli antichi greci chiamavano la penisola italiana e ausoni era il nome con cui, sempre gli antichi greci, chiamavano gli abitanti dell'Italia meridionale. Orso Mario Corbino dà notizia alla stampa di questa scoperta, e i toni sono trionfalistici, quasi a celebrare il primato della cultura italiana fascista. Enrico Fermi ne è molto irritato perché non è convinto della certezza dei dati empirici che ha raccolto, li ritiene ancora provvisori. E in effetti aveva ragione: i due elementi non esistono, anche se questa sarà una delle motivazioni per l'assegnazione del premio Nobel; quello che era stato osservato era una fissione nucleare, ma nessuno se ne era reso conto.

Questa è la grande occasione mancata di Enrico Fermi.

L'errore è ancora più grave se si pensa che Ida Noddack, una chimica tedesca, spedisce un estratto di un suo lavoro a Fermi in cui suggerisce che i due nuovi elementi in realtà non esistono, ma sono il segno di un nuovo tipo di reazione nucleare dovuta alla scissione del nucleo di uranio. Il suggerimento di Ida Noddack non viene preso in considerazione e si procede ignorando che dietro i risultati di quell'esperimento si celava una delle più rivoluzionarie scoperte del Novecento.

Negli anni Cinquanta viene costruito a Chicago l'Istituto di fisica nucleare. Fermi è lì con grandi progetti scientifici. Nell'ingresso del nuovo istituto vi è una statua che rappresenta un uomo curvo. Alla domanda di un collaboratore di Fermi che gli chiede cosa rappresenti quella statua, Fermi risponde: «*Rappresenta uno scienziato che non è riuscito a scoprire la fissione*».

I neutroni lenti

Alla fine dell'estate del 1934 un altro giovane fisico, Bruno Pontecorvo, si unisce al gruppo di via Panisperna. Il suo compito è quello di eseguire, insieme a Edoardo Amaldi, misure più precise della radioattività provocata dai neutroni. I risultati sembrano incomprensibili: in certe situazioni l'attività delle sostanze irradiate dipende dal supporto su cui sono appoggiate. Gli effetti cambiano moltissimo se le sostanze sono poste su un tavolo di legno o su una lastra di marmo. Questi comportamenti così singolari inducono Fermi a compiere un'indagine più approfondita, analizzando, per esempio, l'assorbimento dei neutroni da parte di un cuneo di piombo interposto tra la sorgente e il materiale da irradiare.

La mattina del 22 ottobre Fermi è solo in laboratorio. Il «Papa» sta per iniziare le misure quando, d'impulso, invece del cuneo di piombo decide di interporre tra la sorgente e il materiale un blocco di paraffina (una sostanza ricca di idrogeno). Gli effetti sono sorprendenti, del tutto inattesi: le misure registrano un deciso aumento della radioattività indotta rispetto all'attività misurata in assenza di paraffina.

La verifica dell'ipotesi che è proprio la presenza della paraffina a determinare l'effetto è immediata: basta mettere al suo posto un paio di altre sostanze per constatare che la paraffina è l'unica a produrre l'effetto osservato. La spiegazione che Fermi fornisce è immediata: sono i nuclei d'idrogeno contenuti nella paraffina che, attraverso urti elastici, rallentano i neutroni. Questi, così rallentati, aumentano la loro efficacia nel produrre la radioattività; poiché sono più facilmente

catturabili dai nuclei degli elementi bersaglio. L'ipotesi è ulteriormente verificata nel pomeriggio dello stesso giorno. L'esperimento è condotto utilizzando come filtro per i neutroni l'acqua contenuta nella vasca con i pesci rossi del giardino dell'istituto, e la sera stessa Fermi, Amaldi, Pontecorvo, Rasetti e Segrè firmano la lettera per la «Ricerca Scientifica» in cui danno notizia della straordinaria scoperta.

Possiamo infine chiederci cosa indusse Fermi, la mattina di quel 22 ottobre, a sostituire il piombo con la paraffina. Rispondere a questa domanda non è facile. Vi è tuttavia una testimonianza molto importante di Subrahmanyan Chandrasekhar, celebre astro fisico teorico indiano, che descrive così il ricordo di Fermi a questo proposito: *«Le racconterò come feci la scoperta che credo sia la più importante della mia carriera. Stavamo lavorando molto intensamente sui neutroni e i risultati che ottenevamo erano incomprensibili. Un giorno andando al laboratorio pensai che avrei dovuto osservare l'effetto di assorbimento dei neutroni da parte del piombo, ma invece di usare un pezzo di piombo qualunque ne feci preparare uno lavorato con precisione. Sembrava ci fosse qualcosa che non mi andava bene nell'esperienza progettata e cercavo delle scuse per rimandarne l'esecuzione. Quando, finalmente, stavo per cominciare le misure, mi dissi: "no, quello che voglio qui non è un pezzo di piombo, ma uno di paraffina". Fu proprio un'ispirazione improvvisa, senza una ragione premeditata. Ne presi subito un pezzo, che trovai lì per lì, e lo misi dove sarebbe dovuto andare il piombo».*

Espatrio: una scelta obbligata

A partire dal 1935 il gruppo di via Panisperna comincia a sgretolarsi: i giovani ricercatori ottengono sistemazioni definitive e vanno via da Roma, dove rimangono in pratica solo Enrico Fermi e Edoardo Amaldi. In quegli anni hanno luogo anche altri avvenimenti che rendono il percorso di Enrico Fermi particolarmente arduo: nel 1937 muore improvvisamente Orso Mario Corbino e subito dopo Guglielmo Marconi. Vengono così a mancare due grandi sostenitori di Fermi, che perde quegli appoggi politici che lo avevano garantito fino a quel momento. Sintomo di questo cambiamento di clima è la nomina, al posto di Fermi, del professor Lo Surdo, un fisico sperimentale, alla carica di direttore dell'Istituto di fisica. Inoltre Fermi si rende conto che, al punto in cui si è arrivati, per mantenere il primato della fisica italiana nel campo dei neutroni non è più sufficiente usare gli strumenti avuti a disposizione fino a quel momento, ma sono necessari finanziamenti per costruire un acceleratore, che altri centri di ricerca nel mondo hanno già a disposizione. E sulla base di queste considerazioni che nel 1937 Enrico Fermi fa domanda per avere fondi da destinare alla costruzione dell'Istituto nazionale di radioattività. Questa domanda viene respinta e Fermi si trova nella condizione di non poter più svolgere al meglio, come avrebbe desiderato, le sue ricerche.

Nello stesso periodo vengono promulgate le leggi razziali, e la moglie di Fermi è ebrea.

Tutti questi avvenimenti portano Fermi a decidere di espatriare in America. L'occasione è offerta dall'assegnazione del premio Nobel, per ricevere il quale Fermi parte il 6 dicembre con tutta la famiglia per Stoccolma. Giunto nella capitale svedese, il giorno della cerimonia per il conferimento del premio non farà il saluto fascista al re di Svezia. Poco dopo si imbarcherà su un transatlantico per approdare direttamente in America, dove inizierà una nuova stagione della sua vita e delle sue ricerche.

La fissione nucleare

Negli stessi giorni in cui Enrico Fermi sta viaggiando dalla Svezia all'America, Lise Meitner e Otto Frisch, interpretando correttamente alcuni importanti risultati sperimentali di Fritz Strassmann e Otto Hahn, danno notizia della scoperta della fissione nucleare.

Che cos'è la fissione nucleare?

Immaginiamo di bombardare un nucleo atomico e che questo nucleo si spezzi in due parti: se pesassimo i due frammenti nucleari sommando le loro masse otterremmo una massa totale minore di quella del nucleo originale; la differenza di massa si è trasformata nell'energia liberata nel processo di fissione, secondo la celebre equazione di Einstein che lega la massa all'energia, $E = mc^2$, dove c è la velocità della luce (come si vede, una piccolissima massa può dare luogo a una quantità enorme di energia). Il fatto essenziale è però che in un processo di fissione vengono liberati anche dei neutroni; per Fermi e per molti fisici questo è un indizio di grande importanza: se si bombarda un nucleo con un neutrone e questo si rompe, supponiamo in due parti, liberando energia e anche due neutroni, questi possono colpire altri due nuclei atomici, liberare energia e produrre quattro neutroni; a loro volta questi quattro neutroni possono colpire altri quattro nuclei, liberare energia e altri otto neutroni e così via. Si tratta, in altre parole, di un meccanismo in grado di innescare una reazione a catena. I fisici colgono subito le potenzialità di un'applicazione pratica e addirittura di un'applicazione bellica: è evidente che, se si riesce a fissionare una certa massa di materiale, la quantità di energia liberata sarebbe enorme.

Si racconta che un giorno Enrico Fermi, parlando con un collaboratore di fronte alla finestra del suo studio all'università, avesse avvicinato le mani come a racchiudere una piccola quantità di sostanza dicendo: «*basta così poco per distruggere tutto quello che abbiamo davanti*».

Venti di guerra

Dopo la notizia della fissione nucleare, Enrico Fermi inizia una brevissima collaborazione con Leo Szilard, un fisico ungherese molto attivo, che porta a un unico, ma molto importante contributo; è un lavoro che dimostra come il numero di neutroni prodotti in una reazione di fissione sia maggiore del numero di neutroni che si perdono: questo sancisce la realizzabilità della reazione a catena. Leo Szilard capisce subito le implicazioni di questa scoperta e si attiva immediatamente, chiedendo a un suo collega, Eugene Wigner, un altro fisico ungherese, di aiutarlo a tentare di convincere Einstein a scrivere una lettera al presidente degli Stati Uniti, Franklin Delano Roosevelt, affinché venga finanziato un progetto volto alla costruzione di una nuova arma fondata sul principio della fissione prima che a farlo siano i tedeschi. Einstein scrive la lettera a Roosevelt nel 1939, e il presidente avvia subito un progetto - il «Progetto uranio» - per studiare la fattibilità della costruzione di una nuova arma. A far crollare ogni riserva sulla necessità di tale progetto è l'attacco dell'aviazione giapponese a Pearl Harbour il 7 dicembre 1941, a cui fa seguito la dichiarazione di guerra di Hitler e Mussolini agli Stati Uniti. L'ingresso in guerra dell'America segna una energica accelerazione del Progetto uranio, con un impegno di risorse umane e finanziarie senza precedenti nella storia.

A dirigere il progetto viene posto il celebre fisico Arthur Compton, direttore del dipartimento di fisica dell'università di Chicago. Su sua disposizione, all'inizio del 1942 i diversi gruppi americani che fino a quel momento avevano preso parte al progetto confluiscono a Chicago nel cosiddetto Metallurgical Laboratory, un nome che maschera il vero scopo di una così massiccia concentrazione di risorse: realizzare, attraverso la pila atomica, la prima reazione a catena controllata.

La data in cui si inizia effettivamente a costruire la pila è il 16 novembre 1942. Il luogo è il campo di squash posto nel settore occidentale, sotto le tribune, dello Stagg Field, il campo sportivo dell'università di Chicago. La ricerca è affidata a due gruppi coordinati da Fermi. I gruppi lavorano quasi ininterrottamente e in meno di un mese, il 2 dicembre, la pila è completata. Nella mattina di quel giorno iniziano le procedure di accensione, guidate da Fermi, alla presenza di circa quaranta scienziati. È un momento molto emozionante. La pila viene fatta funzionare per circa mezz'ora; poi, dopo essere stata spenta, si stappa un fiasco di Chianti che viene firmato da tutti i componenti dell'esperimento per festeggiare l'evento.

Al termine della giornata, mentre gli scienziati lasciano il settore occidentale dello Stagg Field e un gruppo di tecnici rimette a posto ogni cosa, Arthur Compton telefona a James B. Conant, rettore dell'università di Harvard. Per motivi di sicurezza il loro è un messaggio in codice. Non usano parole cifrate stabilite in precedenza, ma una frase che riflette il vero stato d'animo di quel momento. «*Jim, ti interesserà sapere che il navigatore italiano è appena sbarcato nel Nuovo Mondo*» dice Compton. «*Come si sono comportati gli indigeni?*» chiede Conant. «*Molto amichevolmente*» risponde Compton.

L'esperienza americana

Con la costruzione della prima pila atomica il progetto di realizzare una nuova arma fondata sulla fissione nucleare diventa una meta raggiungibile. È quasi la realizzazione di una profezia di Enrico Fermi; nel 1923, infatti, viene pubblicata in Italia la traduzione di un libro di August Kopff sulla relatività ristretta con alcuni contributi di fisici italiani. A Enrico Fermi, a quell'epoca un giovane di poco più di vent'anni, viene chiesto di trattare il problema delle masse nella teoria della relatività. Fermi sottolinea come i grandi dibattiti sollevati dalla teoria della relatività riguardino soprattutto il mutamento nelle concezioni di spazio e di tempo, mai nessuno fino ad allora si era invece soffermato sul fatto che l'effetto più sconvolgente della teoria della relatività fosse quello della conversione della massa in energia. Secondo l'equazione di Einstein, infatti, massa ed energia sono trasformabili l'una nell'altra e la costante che dà questa trasformazione è il quadrato della velocità della luce, un numero molto grande, quindi una piccola massa può essere trasformata in una quantità enorme di energia. Con parole di Enrico Fermi: «*La relazione tra massa ed energia ci porta a delle cifre grandiose. Per esempio se si riuscisse a mettere in libertà l'energia contenuta in un grammo di materia si otterrebbe un'energia maggiore di quella sviluppata in tre anni di lavoro ininterrotto da un motore di mille cavalli (inutili i commenti!). [...] Si dirà con ragione che non appare possibile che, almeno in un prossimo avvenire, si trovi il modo di mettere in libertà queste spaventose quantità di energia, cosa del resto che non si può che augurarsi, perché l'esplosione di una così spaventosa quantità di energia avrebbe come primo effetto di ridurre in pezzi il fisico che avesse la disgrazia di trovar il modo di produrla*».

Comunque vi è un atteggiamento molto diverso tra la considerazione della pila atomica di Fermi e quella del governo degli Stati Uniti: per Fermi la pila atomica è uno strumento di studio; per il governo degli Stati Uniti, invece, la pila atomica permette di ottenere, per esempio, un elemento altamente fissionabile come il plutonio, che potrebbe essere usato per la costruzione della bomba.

Los Alamos è la località in cui si decide di costruire la bomba atomica; la direzione è affidata a Robert Oppenheimer, un fisico teorico di grande spessore, e l'organizzazione del lavoro nel laboratorio rappresenta l'esempio di un nuovo modo di concepire la fisica. A Los Alamos il lavoro è organizzato in diverse sezioni: sviluppo degli esplosivi, fisica teorica, fisica nucleare, chimica ecc.; a Fermi è affidata la direzione della sezione dei «*perfezionamenti definitivi*», ma il suo vero compito è risolvere tutti i problemi che gli altri non riescono a risolvere; è, come diranno i suoi collaboratori, una sorta di oracolo, insieme a Johann von Neumann, un altro dei grandi scienziati che lavorano al Progetto Manhattan, il nome in codice di questo gigantesco sforzo che coinvolge migliaia di persone e numerose industrie.

Un'esplosione devastante

I lavori a Los Alamos iniziano nel 1943 e alla fine della primavera del 1945 si è pronti per la prova sul campo del primo prototipo di bomba atomica. Il fatto è che a maggio, con la morte di Hitler, termina la guerra con la Germania e quindi, si pone il problema se proseguire o no nella costruzione o, ormai, nella sperimentazione della bomba atomica. Leo Szilard, che era stato uno dei sostenitori della sua costruzione, riflette molto su questo aspetto e decide di presentare una

petizione per convincere il presidente degli Stati Uniti - a Roosevelt, nel frattempo, è succeduto Truman - a sospendere il progetto o magari fare una dimostrazione degli effetti della bomba atomica di fronte agli ambasciatori del Giappone, con cui gli Stati Uniti erano ancora in guerra. Viene anche dato mandato a un fisico di valutare l'opportunità dell'utilizzo di questa nuova terribile arma; il fisico si chiama James Franck e il rapporto che lui compila è noto come «rapporto Franck». Le sue conclusioni sono negative. Enrico Fermi si dissocia da questa presa di posizione: secondo lui la bomba va usata, tanto è vero che non firmerà nemmeno la petizione di Szilard.

Il 16 luglio tutto è pronto per l'esperimento Trinity; si sceglie una landa deserta, ad Alamogordo, dove viene costruito un traliccio su cui è issato il primo prototipo di bomba atomica. Le varie stazioni di osservazione, in cui sono ospitati gli strumenti di rilevazione, sono poste a diversi chilometri di distanza. Enrico Fermi è tra gli osservatori. L'esplosione ha un impatto psicologico molto forte su tutti i fisici presenti, che vedono in prima persona la potenza di quello che hanno costruito. La descrizione che ne fa il ministro della guerra è esemplare, e vale la pena riportarne la parte conclusiva: «Fino ad allora l'uomo non aveva mai provocato un fenomeno di un potere tanto terribile. Gli effetti luminosi sono indescrivibili: tutta la zona venne illuminata da una luce abbagliante, di intensità molte volte superiore a quella solare. Essa era d'oro, porpora, viola, grigia e blu, illuminava ogni cosa, ogni crepaccio della vicina catena di monti, con una chiarezza e con una bellezza che non si possono descrivere, ma che occorre vedere per poterla immaginare. Era quella bellezza che sognano i grandi poeti, ma che non riescono a descriverla altro che in maniera povera e inadeguata. Trenta secondi più tardi si udì l'esplosione, la spinta dell'aria si fece sentire come una forza contro uomini e cose, seguita immediatamente da un boato lungo, intenso, terribile, che ci ricordò il giorno del giudizio e che ci fece sentire come noi, minuscoli esseri, bestemmiasimo a osare di intrometterci nelle forze fin qui riservate all'Onnipotente».

Dopo aver visto gli effetti dell'esperimento Trinity, Szilard prepara una seconda petizione, sottoscritta da più di settanta scienziati, che viene spedita a Truman, ma anche in questa occasione Fermi non è tra i firmatari.

Intanto «Little boy» e «Fat man» - erano questi i nomi in codice delle due bombe atomiche costruite dagli Stati Uniti - sono in viaggio per essere caricate sui B-29 e lanciate, il 6 e il 9 agosto, rispettivamente su Hiroshima e Nagasaki, provocando nell'immediato circa duecentomila morti, che aumenteranno significativamente nel corso degli anni successivi.

L'eredità di Los Alamos

La reazione di Fermi all'esplosione di Hiroshima e Nagasaki è testimoniata da una lettera che scrive a Edoardo Amaldi subito dopo che i requisiti di segretezza vennero meno: «*Dalla lettura dei giornali*» scrive Fermi «*di qualche settimana fa avrai probabilmente capito a quale genere di lavoro ci siamo dedicati in questi ultimi anni. È stato un lavoro di notevole interesse scientifico, e l'aver contribuito a troncare una guerra che minacciava di tirare avanti per anni è stato indubbiamente motivo di una certa soddisfazione*». Questo è il commento di Enrico Fermi, cioè «*un lavoro di notevole interesse scientifico*». Al termine dell'esperienza di Los Alamos, Enrico Fermi torna a Chicago dove inizia per lui una nuova stagione di ricerca. Amava dire «*non è mai troppo tardi per tentar l'ignoto*», e così in effetti sarà.

Nell'immediato dopoguerra, Fermi, che comincia a ottenere riconoscimenti di ogni tipo, darà luogo a una seconda scuola di fisica, la scuola di Chicago; accorreranno studenti da tutto il mondo per poter lavorare con lui. L'Istituto di fisica nucleare costruito a Chicago è dotato di un acceleratore di particelle molto importante con cui Fermi farà alcune scoperte, in particolare la prima risonanza nucleare, che hanno segnato una tappa fondamentale nella storia della fisica delle particelle. Fermi non si stancherà mai di collaborare con altri scienziati nei campi più diversi della

fisica: lavorerà con Subrahmanyam Chandrasekhar, un grande astrofisico, dando anche in questo caso contributi di rilievo.

A partire dagli anni Cinquanta il governo degli Stati Uniti pensa che la corsa agli armamenti debba essere portata avanti. Con Los Alamos era cambiato tutto: era cambiata l'idea di guerra, era cambiata l'idea di pace, la bomba atomica era diventata uno degli strumenti principali della diplomazia americana. Era cambiato anche il modo di fare scienza: non esistevano più i laboratori con pochi scienziati, si era passati dalle rarefatte atmosfere dei laboratori scientifici alle grandi organizzazioni industriali; Los Alamos era stato un esperimento che aveva fatto capire come l'attività scientifica potesse essere riorganizzata su basi diverse che coinvolgevano ingenti finanziamenti, e l'impiego di macchine e apparati sempre più imponenti: era iniziata quella che verrà poi chiamata «*Big Science*». E in questo clima che il governo degli Stati Uniti decide di portare avanti la corsa agli armamenti, dedicandosi alla realizzazione di quella che veniva chiamata «super-bomba», una bomba termonucleare, cioè una bomba capace di realizzare in piccolo le reazioni termonucleari che avvengono nelle stelle, acquisendo una potenza centinaia, migliaia di volte superiore a quella di una bomba a fissione. Enrico Fermi è consapevole che un'arma di questo tipo non può avere spazio in una guerra ordinaria (la ritiene, infatti, uno «strumento di genocidio»), quindi è assolutamente contrario alla realizzazione della bomba H. Tuttavia, il governo degli Stati Uniti chiede il suo aiuto e Fermi obbedisce: si trasferirà di nuovo a Los Alamos per diversi mesi e lì darà contributi fondamentali alla realizzazione della bomba all'idrogeno. È in quell'occasione che inizierà una collaborazione con altri personaggi di grande rilievo, come Stanislaw Ulam e John Pasta, dando avvio allo sviluppo di nuovi settori disciplinari.

Conclusione

Nell'ultimo periodo della sua vita Enrico Fermi compie due viaggi in Italia, il primo è del 1949, durante il quale tiene una serie di lezioni in cui affronta tutti i temi più importanti della fisica del periodo; il secondo è del 1954, alla scuola di fisica di Varenna, dove tiene alcune lezioni magistrali sulla fisica dei pioni e dove fa l'ultimo regalo all'Italia: suggerisce a Gilberto Bernardini e a Marcello Conversi di utilizzare i residui di alcuni finanziamenti per la costruzione di un calcolatore elettronico. Il suggerimento è immediatamente raccolto da Conversi che dà così avvio all'attività italiana sui calcolatori elettronici, prima a Pisa e a Bologna, poi a Roma.

Già durante il viaggio del 1954 Fermi comincia ad avvertire i primi disturbi; ritornerà in America e subirà un intervento esplorativo; il risultato non lascia speranza: si tratta di un cancro allo stomaco inoperabile, probabilmente anche, in questo caso, come per molti scienziati dell'epoca che si occupavano di fisica nucleare, causato dall'esposizione alla radioattività. Nel 1954 si chiude così la parabola di questo grande scienziato che, possiamo sostenere senza esagerare, essere stato secondo forse soltanto a Galileo Galilei.