

ATTI  
DELLA  
**SOCIETÀ ITALIANA PER IL PROGRESSO DELLE SCIENZE**

*pubblicati per cura*

del Segretario Prof. LUCIO SILLA

VENTUNESIMA RIUNIONE  
ROMA - 9-15 Ottobre 1932-X

**VOLUME II**

Rapporti e Comunicazioni di Classe A



**ROMA**  
SOCIETÀ ITALIANA PER IL PROGRESSO DELLE SCIENZE  
Via del Collegio Romano 26

—  
1933  
XI

## Le nuove esperienze sulla disintegrazione degli atomi

Prof. Sen. O. M. CORBINO

Se si considera l'atomo nella sua integrale composizione, se lo si pensa cioè costituito da un nucleo avente una carica elettrica positiva e da una atmosfera di elettroni distribuiti intorno al nucleo e aventi complessivamente una carica negativa capace di neutralizzare quella positiva centrale, il fenomeno della disintegrazione dell'atomo e della sua modificazione è assai comune in natura. Già in ogni molecola di un composto qualunque l'atomo è disintegrato, poichè gli elettroni più esterni degli atomi che la compongono non sono nel loro numero normale; per esempio, nella molecola del cloruro d'argento l'atomo del metallo ha perduto il suo elettrone più esterno che è andato a far parte del sistema elettronico del cloro; per tanto ogni atomo ha avuto modificata la sua composizione. Casi diversi di disintegrazione, sempre nel campo dell'atmosfera elettronica, ma negli strati più profondi di questa, si verificano in alcuni fenomeni fisici. Ad esempio, se un elettrone animato da grande velocità, o un'onda luminosa di alta frequenza, investono l'atomo, uno degli elettroni degli strati profondi di questo può essere espulso dall'atomo; si tratta però di un processo transitorio, seguito da un riassetamento degli elettroni nella loro configurazione normale, con la contemporanea emissione di radiazioni luminose. Ma nei casi ora citati di disintegrazione, questa non si verifica che nella regione elettronica; ed è soltanto transitoria quando impegna gli elettroni profondi, mentre se è permanente, come nelle combinazioni chimiche, impegna solo gli elettroni esterni. In tutti questi processi, che comprendono l'intera chimica e tutta la fisica nota fino alla scoperta della radioattività, il nucleo atomico rimane immutato; ed esso appare soltanto investito del compito di sostenere quella carica elettrica positiva dalla cui entità dipendono il numero degli elettroni che lo circondano e la configurazione assunta dai loro insieme. Solo dopo la scoperta della radioattività la fisica fu messa in presenza di fenomeni nei quali il nucleo ha parte preponderante, dimostrandosi capace di frantumarsi spontaneamente con emissione di frammenti animati da grandissima velocità, mentre il residuo costituisce un elemento chimico di specie diversa, e na-

turalmente di peso atomico minore. I proiettili espulsi che vennero osservati sono: o nuclei di elio (particelle alfa) o elettroni (particelle beta). Ma tali scomposizioni del nucleo sono, come ho detto, spontanee; e non subiscono la minima influenza dall'intervento di agenti fisici esterni. Esse si verificano solo in numero assai limitato di elementi chimici, come l'uranio, il radio, il torio ecc.: la grandissima parte degli elementi più comuni è invece caratterizzata da un'assoluta stabilità nucleare. Così si credeva, almeno, fino a quando Rutherford fece la grande scoperta che anche i nuclei stabili di alcuni elementi leggeri potevano essere scomposti per l'urto violento di quei proiettili alfa che vengono emessi nelle esplosioni spontanee degli elementi radioattivi. Apparve fin d'allora possibile riuscire a frantumare i nuclei degli elementi bombardandoli con altri nuclei, ai quali si potessero comunicare velocità ed energie sufficientemente elevate. Ora noi possediamo un mezzo per comunicare grandi velocità a corpuscoli materiali, se questi sono provvisti di una carica elettrica; basta invero sottoporli all'azione di un campo elettrico molto intenso. Se, per esempio, un corpuscolo avente la carica  $e$  è sottoposto tra due piatti metallici al campo dovuto a una differenza di potenziale  $V$  fra i due piatti medesimi, esso acquisterà l'energia  $Ve$ , che si convertirà in forza viva del corpuscolo, il quale trasporterà questa forza viva nel suo movimento. Poiché la forza viva del proiettile è uguale al prodotto del potenziale  $V$  per la carica  $e$ , la si suole misurare in una unità chiamata elettrone-volt, che corrisponde all'energia acquistata da un elettrone sotto il dislivello elettrico di un volt, così come il chilogrammetro è l'energia acquistata da un chilogrammo cadente da un dislivello di un metro. I proiettili di Rutherford, e precisamente le particelle alfa emesse dal radio, hanno un'energia corrispondente a ben 7 milioni di elettrone-volt. Si riconosce da questo come debba essere difficile comunicare artificialmente a un nucleo di elio, avente la carica di due elettroni, un'energia pari a quella delle particelle alfa; occorrerebbero invero dei campi acceleratori di 3 milioni e mezzo di volt, mentre coi mezzi più potenti comunemente disponibili nei laboratori si oltrepassano di poco i 200.000 volt.

Si osservi d'altra parte che, mentre è così difficile comunicare ai proiettili artificiali l'energia dei proiettili naturali di Rutherford, anche l'azione di questi si era mostrata assai poco efficace; poiché solo un numero piccolissimo dei proiettili lanciati aveva avuto l'effetto desiderato di colpire un nucleo e frantumarlo. Se ciò

nonostante il Rutherford riuscì a dimostrare l'avvenuta disintegrazione, questo si deve al metodo di eccezionale sensibilità da lui adoperato per rivelare il ricercato fenomeno; esistono invero dei procedimenti che permettono di constatare e registrare la formazione anche di un solo frammento derivante dalla rottura del nucleo. Poiché il frammento espulso è animato da grandissima velocità, e quindi provveduto di grande energia, malgrado la sua piccolezza, tale energia è sufficiente per determinare un lampo di luce quando il frammento colpisce un punto di uno schermo coperto di sostanza fosforescente, ovvero di produrre un filamento sottile di nebbia quando il frammento attraversa un ambiente dove si trovi del vapore d'acqua soprassaturo. Con questi procedimenti riesce pertanto possibile di constatare l'avvenuta rottura anche di un solo atomo fra i miliardi di miliardi che costituiscono il pezzetto di materia bombardata.

Ci si può chiedere quali sono le cause per cui a molti milioni di proiettili adoperati corrisponde solo qualche urto seguito da rottura. Le cause sono parecchie. Una prima è costituita dall'enorme piccolezza del proiettile e del nucleo da colpire. Per formarsene un'idea si osservi che se si ingrandisse un pallino di piombo, fino a fargli assumere le dimensioni del globo terrestre, ogni atomo di piombo diverrebbe grande come un'automobile, ed il nucleo di esso ci apparirebbe grande appena come un granello di sabbia. Ora perchè l'urto del nucleo si verifichi occorre che il proiettile lo incontri geometricamente; che se invece esso penetra dentro l'atomo, senza però esser diretto esattamente verso il nucleo, allora non soltanto viene a mancare l'urto diretto col nucleo, ma, nel traversare lo sciame degli elettroni da cui esso è circondato, il proiettile perde un po' della sua velocità, così da dissipare inutilmente la sua energia in un breve tragitto nella materia che attraversa. Ad esempio il proiettile alfa del radio perde interamente la sua energia traversando le atmosfere elettroniche degli atomi contenuti in circa 7 cm. di aria; ma basta un percorso di circa un centesimo di millimetro in un metallo allo stato solido per produrre lo stesso effetto. Si ha in ciò una limitazione enorme dell'efficacia dei proiettili; poichè, se essi possedessero un illimitato potere penetrante nella materia, finirebbero col colpire prima o poi il nucleo di un atomo; invece, se questo evento di per sè pochissimo probabile non si verifica per fortunata combinazione entro qualche centesimo di millimetro della sostanza colpita, il proiettile perde la sua forza balistica senza aver prodotto alcun effetto utile.

A questa prima causa di limitazione della efficacia dei proiettili se ne aggiunge una seconda di maggiore importanza. La particella alfa ha, come si sa, una carica elettrica positiva pari a quella di due elettroni; il nucleo da colpire è anch'esso fortemente carico di elettricità positiva, tanto maggiormente quanto più è elevato il peso atomico dell'elemento; si esercita pertanto tra il proiettile ed il nucleo, a misura che essi si avvicinano, una forza ripulsiva che diventa grandissima quando la distanza tra i due centri si fa piccolissima. Questa forza ripulsiva si può calcolare per la legge di Coulomb; come anche si può determinare alle varie distanze del nucleo bersaglio l'effetto ritardatore che ne risulta sul proiettile e la sua progressiva diminuzione di energia cinetica. Con questo semplice calcolo si è giunti al risultato singolare che, anche con le più rapide particelle alfa e con i meno carichi nuclei-bersaglio, il proiettile dovrebbe esaurire la sua forza viva molto prima di aver raggiunto la superficie del nucleo; e per tanto l'urto non dovrebbe mai verificarsi ed il proiettile dovrebbe tornare indietro, come avverrebbe di un proiettile lanciato verticalmente con energia insufficiente contro un aeroplano situato ad altezza eccessiva. Che l'urto possa ciò malgrado avvenire, come è dimostrato dall'esito felice delle esperienze di Rutherford, costituisce un paradosso meccanico che solo la nuova meccanica ondulatoria è riuscita a giustificare. Secondo questa nuova dottrina, che ha già al suo attivo la spiegazione completa e coerente di tutti i fenomeni della fisica atomica dovuti all'atmosfera elettronica, qualunque particella elettrica o materiale che sia di estrema piccolezza è assimilabile ad un gruppetto di onde, circoscritte in uno spazio piccolissimo, e che nel movimento è capace di produrre i fenomeni tipici delle onde, quali l'interferenza e la diffrazione. Se ne deduce che la meccanica classica non è più rispettata nel moto di simili particelle, così come le onde luminose nei fenomeni d'interferenza e di diffrazione non seguono più le leggi dell'ottica geometrica. Si deve al giovane fisico teorico russo Gamow l'applicazione di questa nuova meccanica allo studio del fenomeno dell'urto di un proiettile alfa contro un altro nucleo atomico. Ne risultò la singolare conseguenza che anche quei proiettili, i quali secondo la meccanica classica non potrebbero raggiungere il bersaglio per la forza ripulsiva di questo, hanno invece una certa probabilità, sia pure piccolissima, di colpirlo. Questa probabilità viene espressa con una formula che contiene, come è naturale, la carica elettrica del nucleo bersaglio,

quella del proiettile e la sua energia balistica. Il risultato positivo di Rutherford viene così pienamente spiegato.

La teoria di Gamow ebbe l'efficacia di imprimere un orientamento diverso alle ricerche iniziate in diversi laboratori per produrre la disintegrazione artificiale degli atomi. Occorreva procurarsi, come si è detto, dei campi elettrici acceleratori di milioni di volt e farli agire su corpuscoli carichi di elettricità per trasformarli in proiettili animati dalla maggiore velocità raggiungibile. Per questo furono sviluppati in diversi centri di studio metodi adatti a creare altissime differenze di potenziale, colla speranza di raggiungere o superare i tre milioni e mezzo di elettrone-volt posseduti dai proiettili alfa emessi spontaneamente dal radio. Ma la formula di Gamow permise di prevedere che anche con campi elettrici circa dieci volte meno intensi si sarebbero potuti ottenere gli stessi effetti sostituendo al proiettile alfa, che è un nucleo di elio, un proiettile come il nucleo di idrogeno, cioè il protone, avente carica metà e massa quattro volte più piccola del precedente. Questo rappresenta uno dei casi non infrequenti in cui una ricerca teorica può costituire impulso e guida efficacissima alla indagine sperimentale.

Le esperienze furono avviate con grande slancio, specialmente in due laboratori; e già nel febbraio di quest'anno furono pubblicati, quasi contemporaneamente, due lavori illustranti i procedimenti seguiti per ottenere protoni animati dalle velocità corrispondenti a 800.000 ed a 1.000.000 di volt. I fisici Cockroft e Walton, nel laboratorio di Rutherford, svilupparono un metodo per il quale partendo da una tensione alternativa di 200.000 volt e ricorrendo a una combinazione ingegnosa di condensatori e di lampade termioniche capaci di resistere a quella tensione, si otteneva la esaltazione progressiva della tensione primitiva e la sua trasformazione in tensione continua di 800.000 volt. Contemporaneamente Lawrence e Livingston, in California, sviluppavano un metodo estremamente originale e che si presenta come suscettibile di più ampi sviluppi. Esso consiste nel sottomettere un fascio di protoni creati in un ordinario tubo da scarica all'azione simultanea di un campo elettrico alternato e di un campo elettrico costante. Quest'ultimo imprime ai protoni in movimento un moto circolare; ma ad ogni mezzo giro agisce su di essi il campo alternato, disposto in modo che quando il protone lo attraversa, il campo elettrico ne accelera il movimento. Questo effetto acceleratore a scatti fa sì che il moto

del protone, deviato circolarmente dal campo magnetico, si sviluppa secondo una spirale molto fitta, di cui il raggio va crescendo a misura che aumenta la velocità del protone; ma il tempo impiegato dal protone ad ogni mezzo giro è costante, e perciò il campo elettrico alternato con frequenza costante e agente agli estremi di un diametro della spirale sorprende il protone costantemente nella fase in cui esso campo elettrico è massimo, e agisce nel senso di accelerare il moto. Non è possibile descrivere in questa sede i particolari tecnici coi quali venne realizzato questo ingegnosissimo principio; basterà dire che i due fisici americani riuscirono a far compiere circa 150 giri al fascio di protoni, integrando ad ogni mezzo giro gli effetti acceleratori di un campo elettrico alternato ad alta frequenza; e così fu possibile con soli 4000 volt del campo acceleratore alternato ottenere un fascio di protoni aventi tutti la stessa velocità corrispondente a oltre 1.000.000 di volt. Il numero dei protoni messi in movimento era però circa mille volte minore di quello ottenuto dai fisici inglesi.

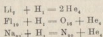
Dopo la comunicazione dei dispositivi atti a procurarsi i proiettili necessari ai bombardamenti dei nuclei si attendevano con viva curiosità i risultati dovuti a questo bombardamento. Gli inglesi furono i primi a pubblicare il risultato delle loro esperienze, ciò che avvenne nel mese di giugno scorso; il fascio di protoni, accelerati a una tensione che poteva raggiungere 700.000 volt, fu avviato in uno spazio vuoto d'aria e lanciato contro una laminetta di litio disposta a 45 gradi dalla direzione del fascio protonico. In presenza della laminetta e in direzione perpendicolare a quella del fascio incidente fu disposto uno schermo di sostanza fosforescente che doveva segnalare l'arrivo di eventuali frammenti dell'atomo colpito. Precauzioni erano prese per evitare che sullo schermo giungessero i proiettili primari eventualmente riflessi o dispersi nell'urto. Così procedendo, ed elevando progressivamente la velocità dei protoni, già a 125.000 volt cominciarono a constatarsi le prime scintillazioni nello schermo. Una accurata indagine dell'origine di queste scintillazioni rivelò che esse erano dovute a particelle alfa create nel litio per virtù del bombardamento e che venivano emesse ciascuna coll'energia di circa 8.000.000 di volt. Il numero di particelle alfa espulse aumentava all'aumentare del campo acceleratore dei protoni. La dimostrazione che l'atomo di litio bombardato da un protone di conveniente velocità espelle una particella alfa può quindi considerarsi definitiva; essa del resto è stata

confermata pienamente dai risultati analoghi ottenuti tre mesi più tardi dai due fisici americani.

Ma non meno importanti sono i risultati quantitativi ottenuti da Cockcroft e Walton. Il nucleo del litio ha un peso atomico di circa 7; coll'aggiunta del protone che pesa 1, viene espulsa una particella alfa che pesa circa 4, e questa viene lanciata con grandissima velocità; ma il residuo dell'atomo del litio viene anch'esso a pesare 4 e dovrà quindi anch'esso, nel processo esplosivo, essere lanciato nel senso opposto, costituendo una seconda particella alfa. In altre parole il processo descritto si deve ridurre a questo: l'atomo di litio assorbe un protone ed esplose, dando luogo a due particelle alfa. Effettivamente i due fisici inglesi poterono dimostrare che ad ogni espulsione di una particella alfa da una parte della lamina di litio ne corrisponde una dalla parte opposta, e con eguale velocità iniziale. Ma vi è di più; la misura esatta del peso atomico del nucleo di litio aveva già dato il valore 7,0106; penetra in esso un protone che pesa esattamente 1,0072; si ha così un peso totale di 8,0178. Ma le due particelle alfa espulse hanno un peso noto eguale a 8,0022. Appare dunque che nel processo si è perduto un po' di materia e precisamente 0,0154; siamo cioè in presenza di una reazione nella quale il principio della conservazione della materia non è osservato. Ma siamo anche in presenza di una reazione che sviluppa un'assai grande quantità di energia, che viene comunicata come energia cinetica ai due frammenti alfa dell'atomo esploso. Ora per una singolare conseguenza della teoria della relatività di Einstein, la materia e l'energia sono trasformabili l'una nell'altra con un coefficiente di trasformazione ben determinato; precisamente, nel caso che ci occupa, la materia sparita avente il peso 0,0154, convertendosi in energia cinetica dei frammenti del nucleo, avrebbe dovuto comunicare ad essi l'energia di 7,5 milioni di elettrone-volt a ciascuno di essi. Effettivamente come abbiamo visto ognuna delle particelle alfa è espulsa coll'energia di 8.000.000 di elettrone-volt. Così queste esperienze oltre a produrre la prima disintegrazione artificiale dell'atomo hanno dato un'impressionante verifica quantitativa della formula di Einstein.

Ma i due fisici inglesi, incoraggiati dal successo al quale aveva tanto contribuito il clima scientifico del laboratorio di Rutherford, dove si era iniziata e perfezionata la tecnica più adatta per lo studio di tali problemi, proseguirono le loro ricerche sostituendo al litio altre sostanze. Dei molti elementi cimentati diedero esito

positivo solo alcuni e specialmente quelli il cui peso atomico è formato di un multiplo di quattro con un resto di tre; era naturale che proprio questi elementi, come il litio, fossero i più adatti ad assorbire il protone di peso uno, che unendosi al resto tre del peso atomico dà origine alla particella alfa espulsa. Così si mostrano particolarmente attivi, sempre in misura minore del litio, il fluoro (peso at. 19) ed il sodio (peso at. 23). Le reazioni osservate sono le seguenti:



Ma ancora più importante è il risultato ottenuto con l'uranio. E' questo un elemento radioattivo il cui nucleo si scompone spontaneamente emettendo particelle alfa. Nessun agente fisico si era mai mostrato capace di accelerare o di rallentare il ritmo naturale di scomposizione dell'uranio; nemmeno l'urto da parte dei raggi alfa più veloci coi quali Rutherford era riuscito a rompere il nucleo di elementi stabili come l'azoto e l'alluminio. Quello che i proiettili alfa non riescono a fare si realizza invece coi proiettili protoni, anche a soli 300.000 volt; essi cioè riescono ad *accelerare* la decomposizione dell'uranio, così da quadruplicare il numero di nuclei che si scompongono in un certo tempo. Tale risultato è della più grande importanza; esso conferma la grande efficacia balistica dei protoni, quale fu prevista dalla teoria di Gamow.

Se si considera il rendimento constatato nelle esperienze di Cockcroft e Walton esso è elevatissimo per ciascun proiettile che riesce a produrre una esplosione; invero, quando l'esperienza avviene a 125.000 volt, ognuno di essi apporta l'energia di 125.000 elettrone-volt, mentre i due proiettili alfa generati con l'urto possiedono l'energia di circa 16 milioni di elettrone-volt. La cosa non può sorprendere, poichè il protone determina una vera esplosione nel nucleo colpito, e sono le energie interne del nucleo che vengono rese disponibili. Ma se si pone mente allo scarsissimo numero di proiettili aventi effetto utile, il rendimento globale della reazione è bassissimo. Invero, sotto la tensione di 500.000 volt, per ogni 100 milioni di proiettili lanciati uno soltanto, in media, riesce a rompere un nucleo di litio. Solo per la singolare sensibilità dei metodi di scintillamento o di quelli della camera a vapore sopra-

saturo di Wilson, che permettono di percepire la formazione anche di un singolo frammento di atomo disgregato, si è potuto mettere in evidenza l'avvenuto fenomeno. Che se invece si fosse dovuta riconoscere la formazione dell'elio raccogliendo il prodotto in quantità sufficiente a un'analisi chimica o spettroscopica, per esempio se si fosse preteso di raccogliere appena un millimetro cubo di elio, l'esperienza dei due fisici inglesi avrebbe dovuto prolungarsi per ben 6 milioni di anni. Come si vede siamo assai lontani dalla possibilità di disgregare i nuclei atomici in una scala paragonabile agli ordinari processi chimici e ancora più lontani dal produrre la trasformazione degli elementi in quantità degne di considerazione agli effetti pratici. Si può dire soltanto che siamo venuti in possesso di un procedimento che ci consente di aggredire il nucleo e scomporlo, fornendoci delle informazioni preziose sulla sua costituzione, e aprendo così l'adito alla possibilità che altri metodi di attacco più redditizi siano suggeriti da una più concreta conoscenza delle leggi della fisica nucleare. Così è stato di recente scoperto un nuovo costituente della materia che entra nella composizione del nucleo degli elementi: il neutrone, che ha la massa del protone ma è privo di carica elettrica. Un proiettile come il neutrone non può essere posto in movimento da un campo elettrico, perchè non è elettrizzato; ma quando è in movimento penetra profondamente nella materia, perchè non subisce l'azione di freno dovuta all'atmosfera elettronica degli atomi; e perciò proseguendo indisturbato nel suo movimento finisce con l'incontrare nel suo percorso qualche nucleo. Avvicinandosi a questo, l'urto non sarà più ostacolato dalla mutua repulsione elettrica, come avviene per il protone o per la particella alfa, e perciò è da prevedere che un getto di neutroni veloci avrà una grande efficacia nel disgregare la materia in cui si propaga. In realtà da alcune esperienze recenti di Feather risulterebbe che un flusso di neutroni è capace di decomporre per urto meccanico l'azoto e l'ossigeno, e che non uno ogni cento milioni, come per il protone, ma almeno uno su due dà luogo a un effetto utile. Ma poichè i neutroni in moto si ottengono per ora solo quando un nucleo esplose per bombardamento con particella alfa, occorre attualmente insistere sui procedimenti sopra descritti. Si tratta di procedimenti i quali, come si può osservare dalla descrizione e dalle fotografie degli apparecchi che si son dovuti mettere insieme, non sono nè semplici nè di poco costo. Ma la complicazione e il costo di questo strumentario sono ben poca cosa di fronte a ciò che si

ricontra in tanti prodotti della tecnica moderna, come per esempio, in un sottomarino. Certo fra qualche secolo formerà oggetto di grande stupore il constatare che la Scienza abbia apportato così grandi frutti all'Umanità nonostante la tenuità dei mezzi che in tutto il Mondo essa ha avuto a disposizione. Si pensi che con una spesa non rilevante e l'opera di un organizzatore come Kamerling Onnes, fu potuto costruire quel laboratorio criogenico di Leida che ha dato una imperitura gloria scientifica alla nazione olandese. Con pochi mezzi e con accurata scelta degli uomini che dovrebbero adoperarli, il nostro Paese potrebbe assicurarsi un primato non meno desiderabile di tanti altri che già va acquistando. Il momento è propizio; già si manifesta con segni infallibili il risveglio di latenti energie individuali per virtù del nuovo clima spirituale che domina la Nazione, mentre tutte le energie disponibili si piegano con ammirabile disciplina all'efficace coordinamento di una guida illuminata e possente. Un gesto di volontà sarà bastevole perchè l'Italia conquisti quella situazione di prevalenza scientifica che fu sempre il più ambito vanto e il più forte presidio delle Nazioni nelle fasi di alto potenziamento: dalla Francia di Napoleone alla Germania di Bismarck.

Io spero di poter parlare ancora avanti a voi nel secondo Decennale; e mi auguro di potervi raccontare risultati ancora più interessanti e che siano ottenuti da italiani.