

BENJAMIN FRANKLIN:

tolse lo scettro ai tiranni e i fulmini dal cielo (1706-1790)

Benjamin Franklin nasce il 17 gennaio 1706 a Boston. All'età di otto anni il padre lo mette in collegio per fare di lui un uomo di chiesa, ma Benjamin dopo due anni interrompe gli studi regolari e torna a casa per lavorare nell'impresa paterna, una fabbrica artigianale di sapone. A dodici anni passa a lavorare nella tipografia del fratello a Filadelfia, dedicando tutto il tempo libero alla lettura dei testi che venivano stampati. Nel 1724 si reca a Londra per approfondire le tecniche tipografiche, dedicando sempre alla lettura di tutti i testi che gli capitano tra le mani. Ritornato dopo due anni a Filadelfia, si dedica con successo ad attività commerciali in proprio, diventando anche editore e giornalista del "The Pennsylvania Gazette". Nel 1751 viene eletto deputato all'Assemblea della Pennsylvania e diviene uno dei maggiori artefici dell'indipendenza Americana. Nel 1787 firma la Costituzione degli Stati Uniti d'America.

La sua attività scientifica si svolge in un breve periodo di tempo, dal 1746 al 1751; in questo periodo si dedica quasi esclusivamente allo studio dei fenomeni elettrici, raggiungendo risultati fondamentali per lo sviluppo di tale disciplina.

Muore a Filadelfia il 17 aprile 1790.

L'elettrologia comincia ad assumere una prima sistemazione disciplinare intorno al 1660 con l'invenzione da parte di Otto von Guericke (1602-1686) della prima macchina elettrostatica a strofinio.

Nel 1745 un incauto avvocato di Leida di nome Caneaus cercando di elettrizzare l'acqua contenuta in una bottiglia di vetro tenendola in mano, invece che su un supporto isolante, toccò inavvertitamente con l'altra mano il primo conduttore della macchina elettrostatica, ricevendo una tremenda scossa elettrica, che lo lasciò tramortito a terra.

Era stato realizzato il primo "condensatore di elettricità", comunemente chiamato bottiglia o caraffa di Leida.

Si deve a Benjamin Franklin una nuova teoria, detta dell'unicità del fluido elettrico, in grado di spiegare i vari fenomeni elettrici e in particolare ciò che accade nella bottiglia di Leida.

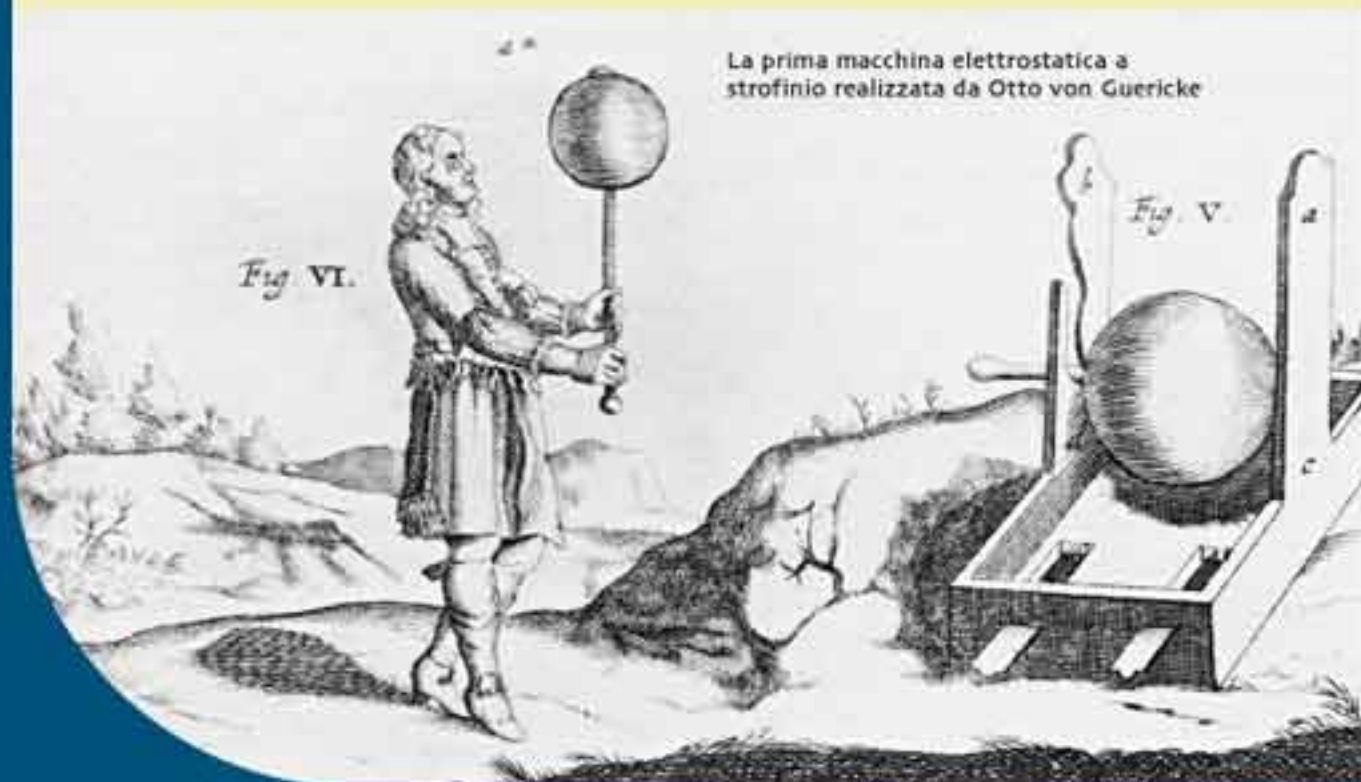
Secondo Franklin, infatti, esiste un unico fluido elettrico (che nel caso dei conduttori possiamo identificare oggi con gli elettroni liberi) distribuito in tutti i corpi. Se un corpo contiene più fluido del normale esso è elettrizzato positivamente (+); se contiene meno fluido elettrico del normale è elettrizzato negativamente (-).

Strofinando tra loro due corpi, parte del fluido elettrico passa da un corpo all'altro; uno si carica più e l'altro meno e le cariche elettriche su entrambi i corpi hanno la stessa intensità.

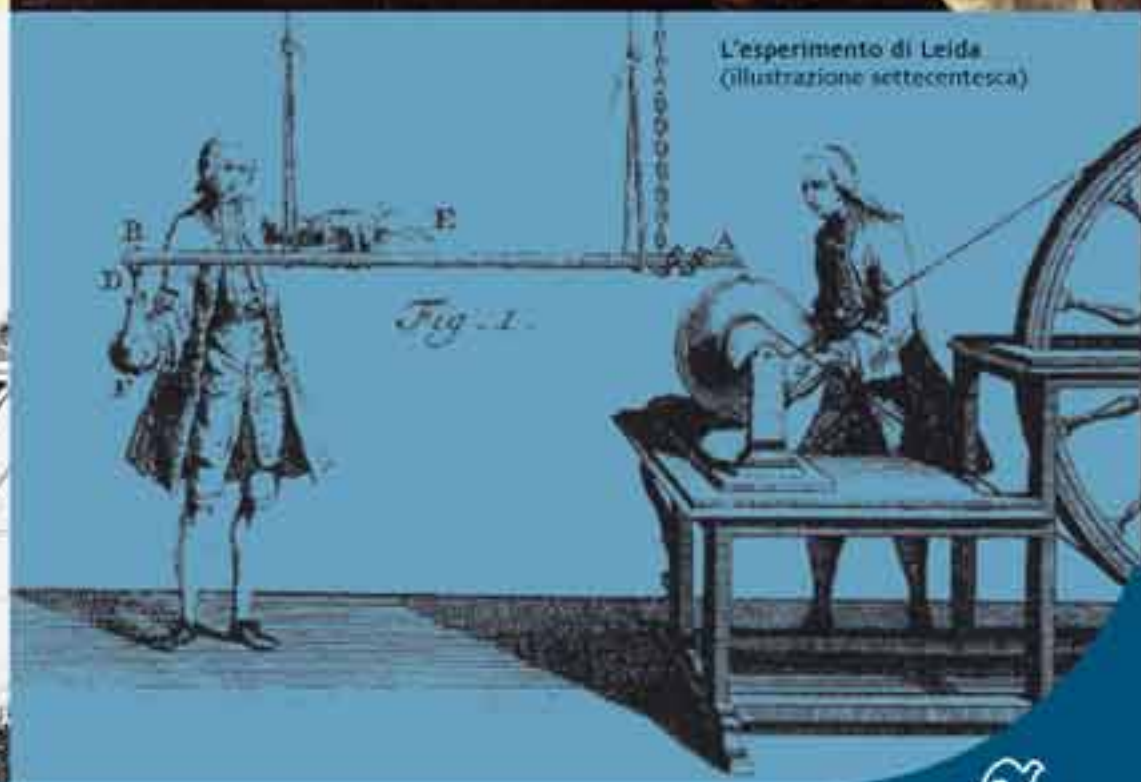
A Franklin si deve inoltre la scoperta del potere emissivo delle punte che ha portato alla realizzazione del parafulmine.



B. Franklin, colui che tolse lo scettro ai tiranni e il fulmine dal cielo (quadro di B. West)



La prima macchina elettrostatica a strofinio realizzata da Otto von Guericke



L'esperimento di Leida (illustrazione settecentesca)

MICHAEL FARADAY:

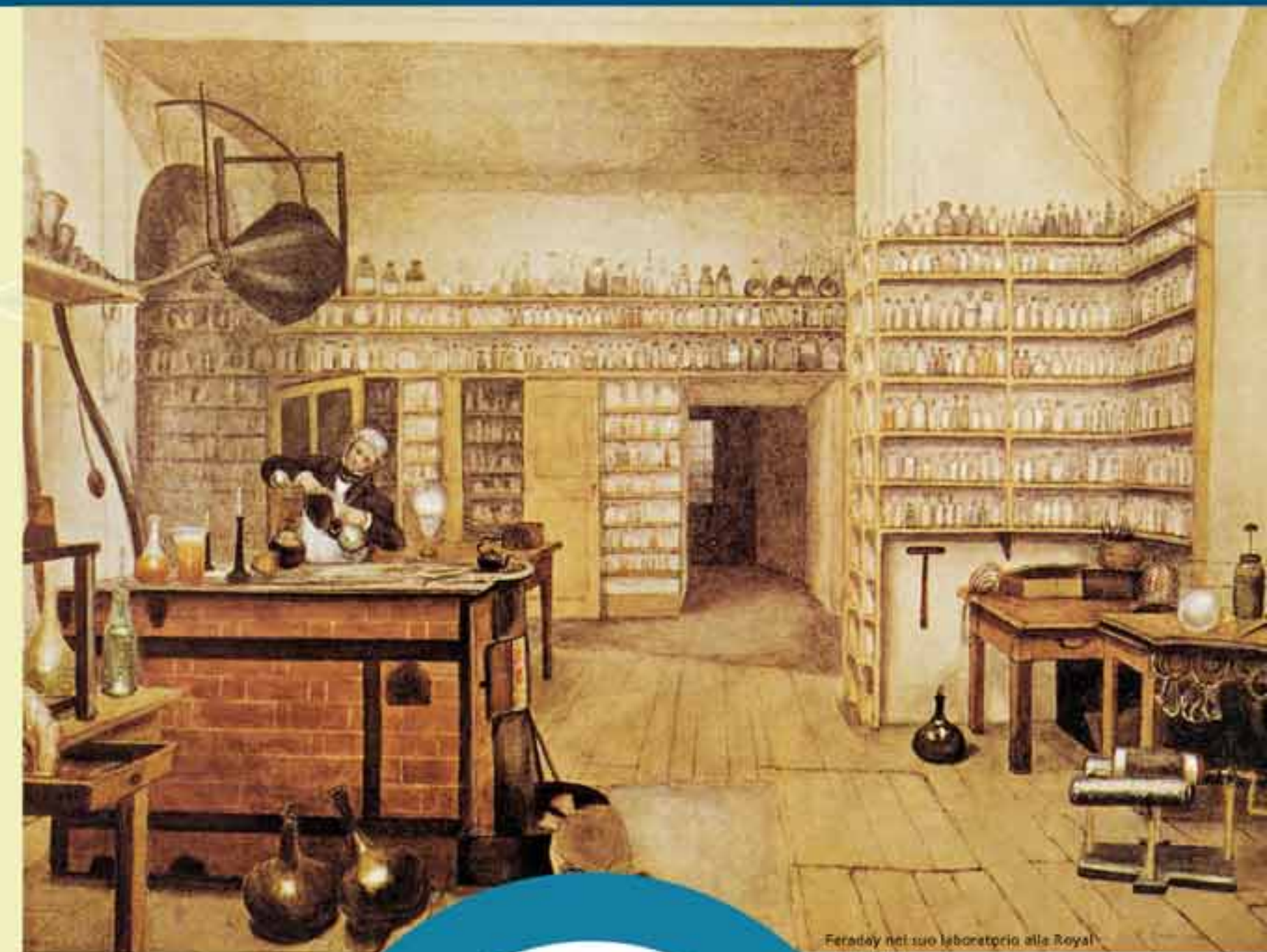
nasce il concetto di Campo (1791 - 1867)

Michael Faraday, nato a Newington in Inghilterra, figlio di un fabbro, riceve un'educazione sommaria e viene avviato alla professione di rilegatore. Tuttavia, appassionato di scienza, legge parecchi libri di argomento scientifico e in particolare di elettricità. A ventuno anni segue una serie di conferenze tenute dal chimico sir Humphrey Davy a cui spedisce un resoconto manoscritto, cogliendo l'occasione per chiedergli un impiego. Viene assunto dalla Royal Institution come assistente di laboratorio. Nel 1813 accompagna Davy in un viaggio in cui conosce i più grandi scienziati europei. Successivamente, per la sua abilità e le sue scoperte, diviene membro della Royal Society (1824), direttore del laboratorio (1825) e professore di chimica (1833) presso la stessa Royal Institution. Risale al 1831 la scoperta più importante di Faraday: l'induzione elettromagnetica. Il resoconto di questo esperimento e di molti altri è riportato nell'opera *Ricerche sperimentali di elettricità* (1839-1855). Nel 1857 enuncia le leggi dell'elettrolisi dei metalli. Muore nel 1867.

Nel campo dell'elettricità, avendo come punto di partenza gli esperimenti di Oersted (una corrente elettrica è in grado di far ruotare un ago magnetico) e di Ampère (correnti elettriche parallele si attraggono e si respingono secondo una certa legge), sebbene non sia in grado di capire il formalismo teorico di quest'ultimo, Faraday giunge a intuire e sperimentare il legame tra elettricità e magnetismo.

In virtù della convinzione che tale legame sia solido e presenti molte sfaccettature ancora ignote, giunge alla scoperta che un magnete in movimento può generare una corrente in un circuito (induzione elettromagnetica); per primo, inoltre, dimostra il legame tra i fenomeni elettromagnetici e quelli luminosi, rilevando che il piano di polarizzazione della luce viene ruotato in presenza di campo magnetico (magneto-ottica). È importante anche il suo contributo nel campo della chimica, dove si distingue per le sue ricerche sull'elettrolisi.

Faraday, considerato il più grande fisico sperimentale dell'Ottocento, merita di essere ricordato anche per la genesi di concetti importantissimi della fisica teorica. Infatti lo scienziato inglese è stato il primo a parlare di "campo", un'idea che gli sorge dalla considerazione delle "linee di forza", linee



Faraday nel suo laboratorio alla Royal Institution

"che sarebbero tracciate dalla limatura di ferro [distribuita intorno al magnete o al circuito], ovvero linee rispetto alle quali un sottile ago magnetico si dirigerebbe tangenzialmente".

Il magnete altera lo spazio circostante creando un campo e questo campo a sua volta è responsabile di forze: nasce con Faraday (e poi con Maxwell) un paradigma meccanico alternativo a quello newtoniano dell'azione a distanza.



Michael Faraday

JAMES CLERK MAXWELL:

La sintesi dell'elettromagnetismo (1831 -

James Clerk Maxwell

riceve da bambino un'istruzione privata nella cittadina di Glenlair, apprendendo al suo precettore piuttosto lento nell'apprendere. Tuttavia a dieci anni entra nella scuola dell'Accademia di Edimburgo e a quindici anni, un anno prima di entrare all'Università, manda il suo primo articolo alla Royal Society della città scozzese. Nel 1850 lascia l'Università di Edimburgo per quella di Cambridge. Il suo precettore W. Hopkins nota la sua forte inclinazione verso la geometria e la sua abilità nel trovare soluzioni a problemi matematici con metodi sintetici. Afferma: "sembrava che fosse impossibile per lui pensare erroneamente su qualsiasi questione di fisica, ma in analisi sembrava più debole".

Si laurea nel 1854 e l'anno successivo diviene membro del Trinity College. In seguito ottiene incarichi come professore di filosofia naturale prima ad Aberdeen e poi a Londra.

Nel 1856 Maxwell è nominato professore di fisica presso il Marischal college di Aberdeen in Scozia e nel 1860 viene assunto al King's college di Londra dove rimane fino al 1865.

Nel 1865 lascia però l'insegnamento e torna a Glenlair, per dedicarsi a tempo pieno alle sue ricerche.

Nel 1870 diviene il primo insegnante di fisica sperimentale presso l'appena fondato Cavendish Laboratory di Cambridge dove rimane fino al 1879, anno della sua morte.

Le tappe fondamentali della teoria sul campo elettromagnetico sono segnate da tre articoli scritti tra il 1855 e il 1865. Maxwell spera fin dal principio di poter realizzare un "modello fisico" in linea con l'approccio geometrico di Faraday.

Nel 1855 viene pubblicato *On Faraday's lines of force* nel quale Maxwell "completa" il modello geometrico di Faraday proponendo un teoria del campo elettrico e del campo magnetico basata su un'analogia con l'idrodinamica.

Nel suo secondo lavoro (1861) ipotizza l'esistenza di un mezzo elastico che permetta di riprodurre le forze elettromagnetiche: l'intenzione non è quella di dare un'interpretazione letterale dello spazio ma di fornire un aiuto all'immaginazione. Maxwell ottiene così due risultati fondamentali: introduce le "correnti di spostamento" completando così le sue equazioni; la proprietà del mezzo di sostenere vibrazioni trasversali permette di calcolare la velocità di propagazione della perturbazione elettromagnetica. Maxwell arriva così alla seguente conclusione:

"La velocità del movimento ondulatorio trasverso nel nostro mezzo ipotetico, calcolata dagli esperimenti di Kohlrausch e Weber, concorda in modo così perfetto con la velocità della luce calcolata dagli esperimenti ottici di Fizeau che ci sarebbe difficile non inferire che la luce consista nei moti ondulatori trasversi dello stesso mezzo che è la causa dei fenomeni elettrici e magnetici".

Il modo con cui Maxwell costruisce la teoria nel suo terzo lavoro è del tutto diverso dai precedenti e rivoluzionario rispetto agli schemi e alle procedure del tempo: abbandona completamente ogni tipo di modello e riesce a realizzare una teoria unificata attraverso la formalizzazione matematica. Nel 1865 pubblica il trattato *"A dynamical theory of the electromagnetic field"*.

È lo stesso Maxwell a spiegare nell'introduzione il significato del titolo (e dell'opera):

"[...] La teoria che propongo può quindi essere chiamata una teoria del campo elettromagnetico, perché ha a che fare con lo spazio nelle vicinanze dei corpi elettrici o magnetici, e può essere chiamata una teoria dinamica, perché assume che in quello spazio vi sia materia in movimento dalla quale vengano prodotti i fenomeni

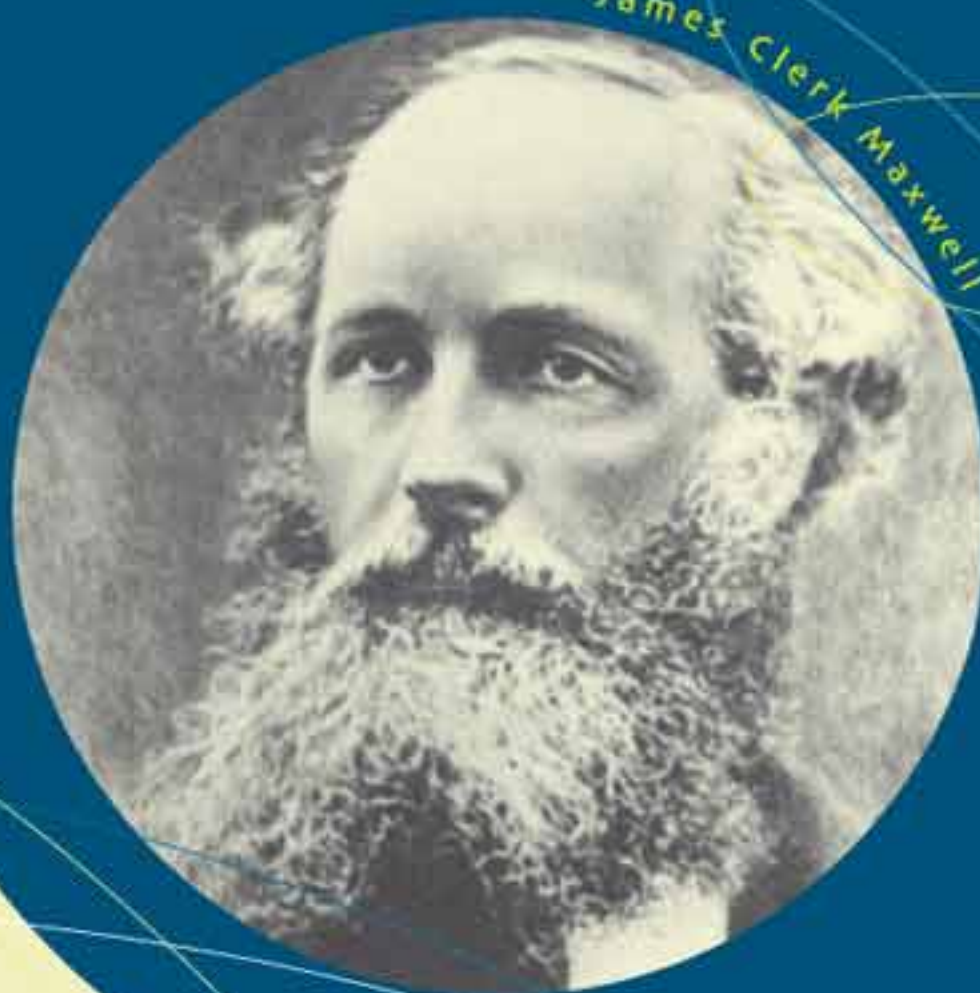
elettromagnetici [...]

Nella terza parte del lavoro la teoria è sintetizzata in venti equazioni differenziali; da queste equazioni Maxwell ottiene la prima espressione delle equazioni d'onda che descrivono la propagazione della luce, traducendo in termini matematici il legame fenomenologico stabilito da lui in partenza. Maxwell afferma che modelli e interpretazioni diventano irrilevanti una volta che si siano trovate le leggi generali che permettono di ordinare un certo ambito fenomenologico e introduce in modo definitivo nella fisica il concetto di **campo**, che già Faraday aveva intuito.

Maxwell fornisce per primo l'inquadramento teorico matematico di un'ampia classe di fenomeni, basandosi su un modello

"elastico" dello spazio vuoto ("etere") al quale attribuisce una realtà che non sarà però condivisa dai successori. Le equazioni matematiche dell'elettromagnetismo, le celebri equazioni di Maxwell riportate nel suo trattato, sopravvivranno invece a tutte le successive scoperte della fisica, fino ai giorni nostri.

La grande intuizione di Maxwell consiste nell'aver compreso la simmetria esistente in natura tra fenomeni elettrici e magnetici: Faraday aveva mostrato che un campo magnetico variabile produce elettricità; Maxwell ipotizza, pur in assenza di riscontri sperimentali, che un campo elettrico variabile produca un campo magnetico. Questa simmetria porta alla teoria delle onde elettromagnetiche e all'unificazione dei fenomeni luminosi con quelli elettromagnetici; la luce è essa stessa un'onda



James Clerk Maxwell



Le equazioni di Maxwell

"Colui che vuol vivere con piacere e libertà deve avere sempre presente davanti ai suoi occhi il lavoro del giorno. Non il lavoro di ieri, altrimenti finisce col disperarsi, non quello di domani, altrimenti rischia di diventare un visionario, non quello che termina con l'oggi, che è un lavoro terreno, ma neppure soltanto quello che perdura nell'eternità, perché tramite questo egli non può dar forma alle sue azioni. Felice è l'uomo che può riconoscere nel lavoro dell'Oggi una porzione legata al lavoro di una vita, e un'incarnazione del lavoro dell'Eternità. La sua fiducia ha fondamenti immutabili, perché egli è stato fatto per prendere parte all'infinito. Egli strenuamente costruisce giorno per giorno le sue imprese, poiché il presente gli è dato perché se ne appropri. In tal modo l'Uomo dovrebbe essere una personificazione del processo divino della natura, e mostrare chiaramente l'unione dell'infinito con il finito, non umiliando la sua esistenza temporale, ricordando che in essa soltanto l'azione individuale è possibile, non escludendo dalla sua vista ciò che è eterno, sapendo che il tempo è un mistero che l'uomo non può sopportare di contemplare fino al momento in cui la Verità eterna non l'abbia illuminato".

Legge di Gauss per il campo elettrico:

$$\Phi_e(\vec{E}) = \int_V \vec{E} \cdot \vec{n} \, d\omega = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \nabla \cdot \vec{E} = \rho$$

Legge di Gauss per il campo magnetico:

$$\Phi_m(\vec{B}) = \int_V \vec{B} \cdot \vec{n} \, d\omega = 0 \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0$$

Legge di Faraday dell'induzione elettromagnetica:

$$\int_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot \vec{n} \, d\omega \quad \nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Teorema della circuitazione di Ampère:

$$\int_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \int_S \vec{J} \cdot \vec{n} \, d\omega \quad \nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}$$



Maxwell



GUGLIELMO MARCONI:

la trasmissione via etere (1874-1937)

Guglielmo Marconi, riceve un'istruzione privata, prima di frequentare l'Università di Bologna, sua città natale. Fin da ragazzo è appassionato di fisica, chimica e in particolare di elettricità. Nel 1894 comincia a interessarsi alla scoperta, fatta da Hertz sei anni prima, delle onde elettromagnetiche ("onde hertziane"). Si convince che tali onde possano essere utilizzate per la comunicazione e, ben presto, realizza un apparato con cui trasmettere segnali codificati per distanze superiori al chilometro. Poiché il governo italiano rifiuta di brevettare la sua invenzione, Marconi si trasferisce in Inghilterra, dove, nel 1897, fonda la **Marconi's Wireless Telegraph Company**.

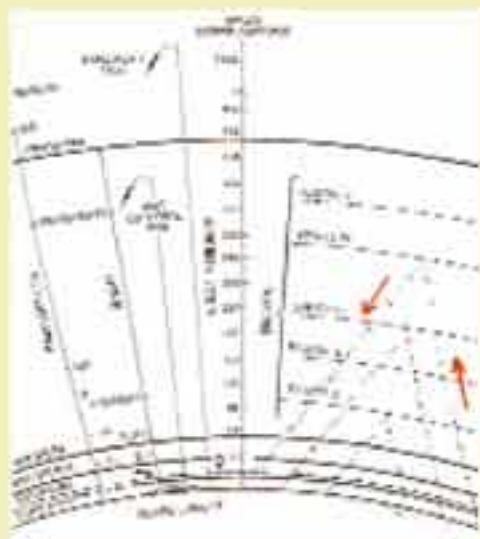
Una serie inarrestabile di progressi lo porteranno a realizzare l'impresa più spettacolare: nel 1901, Marconi produce la prima comunicazione **radio-telegrafica** transatlantica, da Poldhu Cove in Cornovaglia a St. Johns di Terranova. Nel 1909 riceve il premio Nobel per la Fisica. Nel 1921 tiene a battesimo la **radio-telegrafia**, ovvero l'odierna trasmissione radio via etere. Per i suoi meriti scientifici, nel 1929 il governo italiano lo nomina marchese (il regime fascista farà di Marconi un vero e proprio simbolo nazionale).

Quando nel 1888 Hertz dimostra che le onde elettromagnetiche non sono una semplice creazione teorica di Maxwell, bensì possono essere generate e rivelate, pochi scienziati pensano a una loro possibile applicazione per le comunicazioni a grande distanza. È infatti noto che le onde hertziane si propagano in linea retta e non sono pertanto in grado di seguire la curvatura terrestre.

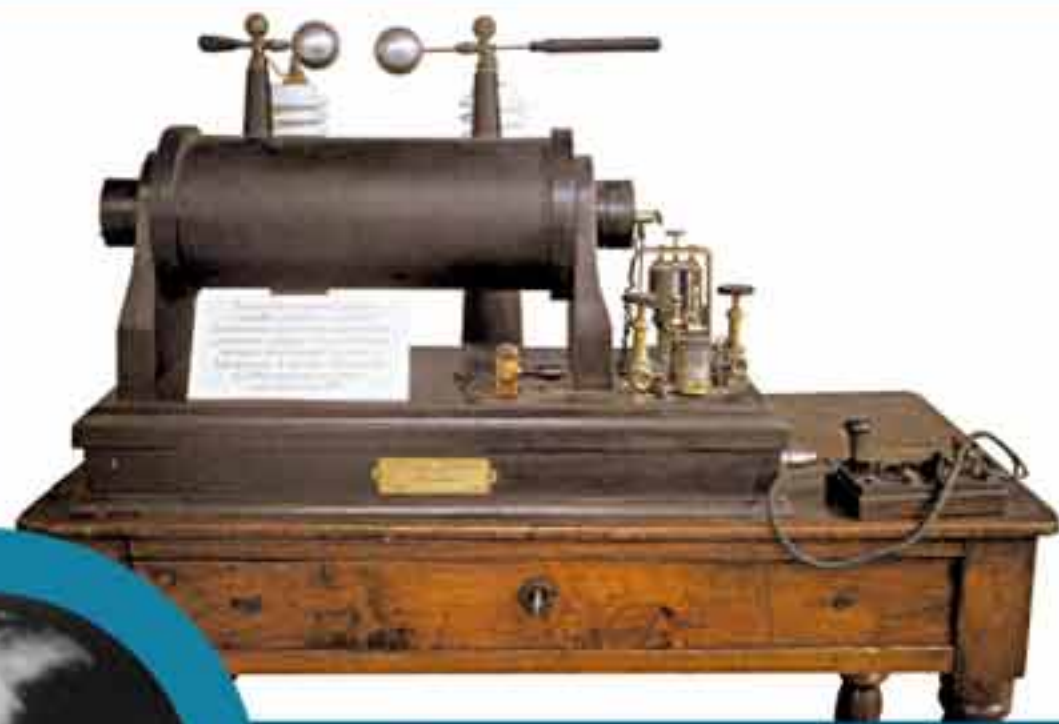
Marconi, come Faraday, ha una formazione matematica insufficiente, bilanciata però da una grande fiducia nella sua intuizione che, in questo caso, è supportata anche da una certa fortuna: risulta che lo strato superiore dell'atmosfera contiene ioni elettricamente carichi, in grado di fungere da specchio riflettente per le onde radio, che vengono così rimandate a terra anziché sfuggire nello spazio! Il ruolo di Marconi nell'evoluzione della fisica è generalmente sottovalutato, proprio perché si riconosce che la sua invenzione è frutto di un'idea sbagliata (le onde si propagherebbero secondo la curvatura terrestre) che, in virtù di un protagonista inaspettato (la ionosfera), si è rivelata efficace. **Ma Fortuna audaces iuvat** e Marconi ha guadagnato la sua fortuna con il coraggio di uscire dalla via maestra, sfidando la comunità scientifica mondiale, armato inizialmente del solo ottimismo e dell'entusiasmo necessario per ottenere i fondi indispensabili per realizzare il suo progetto.



Marconi al lavoro



Propagazione delle onde elettromagnetiche e nell'atmosfera



Trasmittitore radiotelegrafico di Marconi



Guglielmo





Wilhelm ROENTGEN, Antoine BECQUEREL, Maria e Pierre CURIE

La scoperta della Radioattività

Alla fine del 1895 il fisico **Wilhelm Roentgen (1845-1923)**, mentre è alle prese con lo studio dei raggi catodici, scopre l'emissione di una radiazione molto energetica, in grado di impressionare una lastra fotografica anche attraverso oggetti o parti del corpo: i raggi X.

Dopo tale scoperta, molti scienziati sono spinti allo studio di queste nuove e così penetranti radiazioni.

Uno di essi è il fisico francese **Antoine-Henri Becquerel (1852 - 1908)**, il cui padre, Alexandre Edmond (1820 - 1891), il fisico che per primo aveva fotografato lo spettro solare, si era interessato in modo particolare della fluorescenza, il fenomeno per cui certe sostanze, dopo essere state esposte ai raggi ultravioletti presenti nella luce solare, emettono radiazione visibile.

Becquerel padre aveva, in particolare, studiato il solfato di potassio-uranile, un composto la cui molecola contiene un atomo di uranio. Henri si chiese se le radiazioni fluorescenti emesse da questa sostanza contenessero raggi X. Per scoprirlo, occorreva esporre il solfato alla luce solare (in modo che i raggi ultravioletti eccitassero la fluorescenza), collocando il composto su una lastra fotografica avvolta in carta nera. Poiché la luce solare non poteva penetrare attraverso la carta nera, non avrebbe impressionato la lastra, ma se la fluorescenza eccitata da tale luce avesse contenuto raggi X, questi avrebbero attraversato la carta, impressionando la lastra. Becquerel tenta l'esperimento nel 1896, con esito positivo. *Sembrava proprio che vi fossero raggi X nella fluorescenza.*

Becquerel riesce addirittura a far attraversare dai presunti raggi X dei sottili fogli di alluminio e di rame, risolvendo così apparentemente la questione, poiché nessuna radiazione nota, al di fuori dei raggi X, sarebbe stata in grado di fare altrettanto.

Ma poi, per un grosso colpo di "fortuna", sopraggiunge un periodo di brutto tempo. Aspettando il ritorno delle giornate di sole, Becquerel ripone in un cassetto le sue lastre, cosparse di qualche pizzico di solfato. Dopo diversi giorni, impaziente, decide di sviluppare comunque le lastre, pensando che forse,

anche in assenza di luce solare diretta, era stata prodotta qualche traccia di raggi X.

Quando vede le immagini sviluppate, ha la sorpresa di notare che la lastra fotografica era rimasta intensamente annerita da una forte radiazione. Ne doveva essere responsabile qualcosa di diverso dalla luce solare o dalla fluorescenza. Becquerel decide (e ben presto gli esperimenti gli avrebbero dato ragione) che questo qualcosa era l'**uranio** contenuto nel solfato di potassio-uranile.

La scoperta elettrizza ulteriormente gli scienziati, già fortemente stimolati dalla recente scoperta dei raggi X.

Uno degli scienziati che intraprende subito lo studio della strana radiazione emessa dall'uranio è una giovane chimica di origine polacca, **Maria Skłodowska (1867 - 1934)**, che aveva sposato l'anno prima **Pierre Curie (1859 - 1906)**.

Questi, in collaborazione con il fratello Jacques, aveva anche scoperto che certi cristalli, sottoposti a pressione, acquistano una carica elettrica positiva da una parte e negativa dall'altra. Questo fenomeno viene chiamato *piezoelettricità* (dal verbo greco che significa "esercitare una pressione"). Marie Curie pensa che si possa misurare la radiazione emessa dall'uranio attraverso la piezoelettricità.

Il suo metodo funziona così bene che Pierre Curie abbandona immediatamente il proprio lavoro e per il resto della vita affianca la moglie Marie nelle ricerche sulla radioattività.

Marie, dopo aver proposto il termine **radioattività** per descrivere la capacità dell'uranio di emettere radiazioni, prosegue i suoi esperimenti dimostrando la presenza del fenomeno in una seconda sostanza radioattiva: il **torio**.

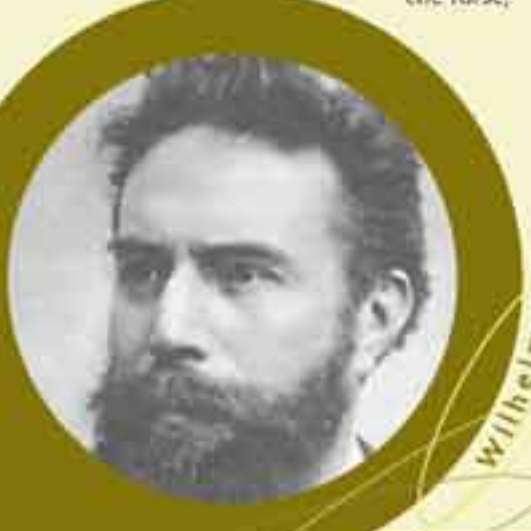
In rapida successione anche altri scienziati fanno importanti scoperte in questo campo. La radiazione emessa dalle sostanze radioattive si dimostra ancor più penetrante ed energetica dei raggi X: si tratta dei raggi **gamma**. Si trova che gli elementi radioattivi emettono anche altri tipi di radiazione, che permetteranno di avere informazioni sulla struttura interna dell'atomo.

Il fatto che ha avuto maggiore importanza per la discussione sulla struttura della materia è stata la scoperta che

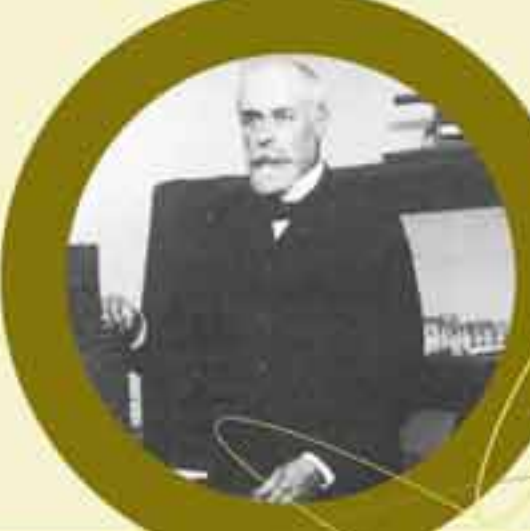
gli elementi radioattivi, nell'emettere la radiazione, si trasformano in elementi diversi (una versione moderna della trasmutazione alchemica).

Marie Curie è la prima a imbattersi, quasi per caso, nelle implicazioni che tale fenomeno comportava. Nel valutare la percentuale di uranio contenuto nella pechblenda, i Curie scoprono con sorpresa che alcuni campioni mostrano un'attività maggiore di quella dell'uranio puro. Ciò implicava che nella pechblenda fossero presenti in quantità minime anche altri elementi, che dovevano presentare una radioattività molto alta.

I coniugi Curie, sempre più entusiasti delle loro ricerche, si procurano grandi quantità di pechblenda, installano un'officina in una baracca e, pur in condizioni proibitive per mancanza di mezzi, procedono a ricercare le tracce dei nuovi elementi. Nel luglio del 1898 isolano una piccolissima quantità di polvere nera con una radioattività pari a 400 volte quella di una quantità analoga di uranio. Essa conteneva un nuovo elemento, le cui proprietà chimiche erano simili a quelle del tellurio: probabilmente si doveva allora trovare sotto tale elemento nella tavola periodica. (Più tardi gli sarà assegnato il numero atomico 84.) I Curie lo chiamano **polonio**, in onore della patria di Marie. Il polonio, però, rendeva ragione solo di una parte della radioattività. Segue un ulteriore lavoro e, nel dicembre 1898, i Curie ottengono un preparato ancora più radioattivo del polonio, contenente un altro nuovo elemento, con proprietà simili a quelle del bario. (Esso sarà poi sistemato sotto il bario, con numero atomico 88.) I Curie lo chiamano **radio**, appunto a causa della sua intensa radioattività. Nei quattro anni successivi essi riescono a raccogliere una quantità di radio che permette loro l'osservazione diretta di tale elemento. Marie Curie presenta il resoconto del suo lavoro come tesi di dottorato. Ciò le procura due premi Nobel: nel 1903 i coniugi Curie, insieme a Becquerel, dividono il premio Nobel per la fisica, per i loro studi sulla radioattività; nel 1911 Marie riceve il premio Nobel per la chimica per la scoperta del polonio e del radio.



Wilhelm



Antoine



Marie Curie



Pierre Curie



ERNEST RUTHERFORD: un modello "planetario" dell'atomo (1871-1937)

Ernest Rutherford nasce in Nuova Zelanda da una famiglia di coloni scozzesi.

Segnalatosi per le sue doti scientifiche ottiene diverse borse di studio. Grazie a una di queste nel 1895 lascia la Nuova Zelanda e si reca a Cambridge, dove diventa assistente di J.J. Thomson.

Ottiene in seguito una cattedra a Montreal e nel 1907 a Manchester.

Nel 1908 gli viene assegnato il premio Nobel per la chimica per il suo studio sulla natura delle particelle α . Tuttavia è negli anni successivi che Rutherford compie le sue ricerche più importanti, come la struttura dell'atomo, che hanno portato a una svolta nella storia della fisica.

Rutherford, studiando la radiazione emessa dai materiali radioattivi, scopre che le particelle α sono atomi di elio ionizzati.

Nel 1911, bombardando una sottile lamina d'oro con particelle α , scopre che alcune di queste subiscono deviazioni della traiettoria anche di 90 gradi.

Alcune settimane più tardi, Rutherford annuncia ai suoi collaboratori di avere risolto il problema delle particelle α deviate sotto grandi angoli e di sapere anche come è fatto l'atomo. Anni dopo descrivendo l'esperimento in un'intervista paragona l'accaduto a un proiettile sparato contro un foglio di carta e rimbalzato indietro.

C'erano allora diversi modelli di atomo tra cui prevaleva il modello dovuto a Thomson.

In un modello alla Thomson una particella α , essendo carica positivamente, non potrebbe essere deviata né attraversando un atomo, né passando in prossimità di esso, poiché il campo elettrico medio generato dall'atomo è nullo.

L'esperimento di Rutherford non può quindi trovare alcuna spiegazione se si assume valido il modello di atomo alla Thomson.

Rutherford ipotizza invece che tutta la carica positiva e la massa dell'atomo siano concentrate in un volume molto piccolo, detto **nucleo**, intorno a cui orbitano gli elettroni, allo stesso modo dei pianeti intorno al Sole.

La traiettoria di una particella carica positivamente passante vicino al nucleo è quindi deviata anche di angoli piuttosto grandi a causa della forza coulombiana repulsiva. Essendo tale forza decrescente con il quadrato della distanza, le particelle che passano lontano dal nucleo non subiscono deviazioni sensibili.

Questo modello aveva tuttavia un evidente baco: gli elettroni, essendo soggetti ad accelerazione centripeta, dovrebbero perdere energia con continuità (irraggiare) e cadere infine sul nucleo.

Ciò porterebbe ad avere, contrariamente all'evidenza, atomi instabili.

Proprio questo baco sarà il punto di partenza di Niels Bohr per formulare il suo modello atomico quantizzato.

L'esperimento di Rutherford è di importanza capitale nella storia della fisica perché ha suggerito un nuovo metodo per indagare il mondo atomico e subatomico: l'uso di fenomeni d'urto (scattering).

La maggior parte delle informazioni che oggi possediamo sulle particelle elementari sono state ricavate in questo modo: nei grandi acceleratori vengono fatti collidere fasci di particelle con energie sempre più elevate.

Nel 1913 Rutherford è interessato allo studio delle traiettorie delle particelle α attraverso diversi materiali, con lo scopo di misurarne l'energia.

Aumentando la distanza tra la sorgente di particelle α e lo strumento rivelatore (scintillatore), oltre un determinato valore ci si aspetterebbe la diminuzione e quindi la scomparsa del segnale ricevuto, dovuta all'assorbimento da parte del materiale attraversato.

Effettuando questo esperimento con azoto Rutherford vede invece diminuire il numero di scintillazioni, ma non azzerarsi. Le particelle rivelate non possono quindi essere α , ma particelle capaci di effettuare un percorso più lungo, come per esempio nuclei di idrogeno.

Dopo tre anni di lavoro Rutherford è costretto ad ammettere: **"l'atomo di azoto si disintegra sotto l'azione delle violente forze prodotte dall'urto con una particella α veloce e l'atomo di idrogeno che viene liberato era parte costituente del nucleo di azoto"**.

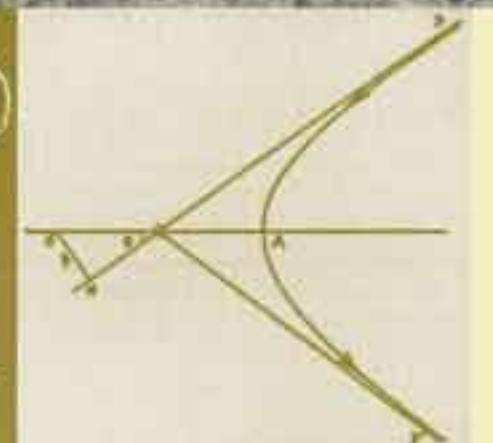
Rutherford intuisce quindi che gli atomi possono trasformarsi mediante la disintegrazione del nucleo. I fenomeni di radioattività, che in quel periodo interessavano la comunità scientifica, in base all'osservazione di Rutherford, potevano essere ricondotti alla disintegrazione spontanea di alcuni elementi.

La radioattività appare come una nuova pietra filosofale: gli elementi possono trasformarsi uno nell'altro.

Una pagina delle note di Rutherford con la prima idea della struttura dell'atomo. A destra il plum pudding; cioè il modello di atomo di Thomson.



Rutherford e Bohr



Deflessione delle particelle



MAX PLANCK:

il corpo nero (1858 - 1947)

Max Karl Ernst Ludwig Planck nasce a Kiel, in Germania, nel 1858. Frequenta l'Università di Monaco dove ha come professori Kirchhoff e Helmholtz. Insegna fisica teorica a Kiel e a Berlino. Nei suoi primi lavori si occupa di termodinamica e meccanica statistica. Nel 1900 pubblica la deduzione della relazione tra energia e frequenza del corpo nero basata sul concetto rivoluzionario di quantizzazione dell'energia. Nel 1918 gli viene conferito il Nobel per i suoi studi sulla teoria dei quanti.

"Nel progresso della fisica sembra spesso che ci sia un destino preassegnato e che i grandi scienziati abbiano solamente anticipato qualcosa, ma che in mancanza di uno, un altro ci sarebbe arrivato ben presto. Ci sono pochissime eccezioni, una delle maggiori è la scoperta del quanto d'azione h ". (E.Segrè)

Alla fine dell'Ottocento risulta del tutto aperto il problema della spiegazione della radiazione elettromagnetica emessa da una cavità in equilibrio termodinamico (Con questa espressione si intende che in ogni intervallo di lunghezza d'onda il corpo assorbe ed emette la stessa quantità di energia per unità di tempo e di

superficie). Sappiamo infatti che tutti i corpi riscaldati emettono onde elettromagnetiche di diversa lunghezza d'onda a seconda della loro temperatura e composizione.

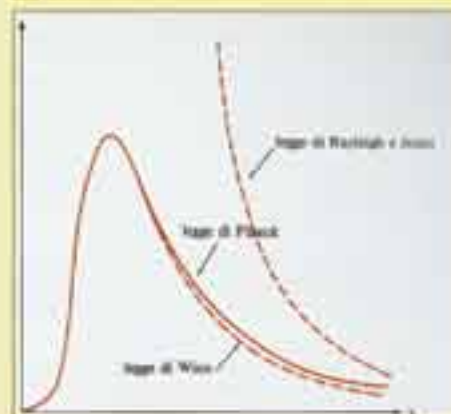
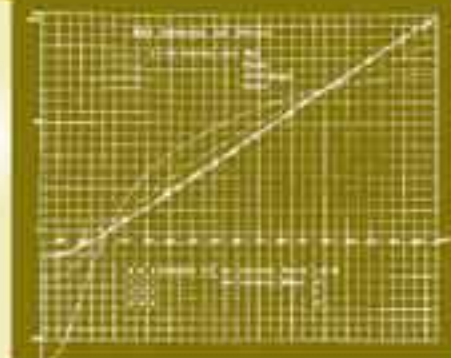
Un corpo che assorbe tutta la radiazione incidente a tutte le frequenze si chiama **corpo nero**. Lo spettro della radiazione che esso emette ha la forma caratteristica indicata in figura.

Wien, Stefan, e Boltzmann contribuirono al tentativo di trovare una spiegazione analitica del fenomeno della radiazione termica di corpo nero. Scopirono che l'energia emessa da un corpo varia con la quarta potenza della sua temperatura $W \propto T^4$. Per spiegare questo fenomeno Lord Rayleigh e Sir J. Jeans pensarono di utilizzare il metodo statistico della termodinamica che aveva ottenuto già molti successi. In particolare pensarono di applicare il teorema di equipartizione dell'energia alla radiazione termica. In termodinamica tale teorema afferma che l'energia totale contenuta in un sistema costituito da un gran numero di particelle che interagiscono tra loro attraverso urti reciproci, si ripartisce ugualmente tra tutte le particelle. Nel caso della radiazione termica emessa dai corpi

riscaldati, il principio dell'equipartizione potrebbe essere tradotto così: *l'energia raggiante totale disponibile viene ugualmente distribuita fra tutte le possibili frequenze di vibrazione*. Ma questo ha conseguenze catastrofiche! Infatti nel caso dei gas, il numero di molecole presenti, seppur enorme, è pur sempre finito mentre il numero di vibrazioni elettromagnetiche possibili è infinito. Quindi il teorema di equipartizione porterebbe ad affermare che, spettando a ogni modo vibrazionale una parte di energia, si debba avere una quantità infinita di energia. In questi casi si parla di **catastrofe ultravioletta**. In particolare questo problema è evidente quando si cerca di dare una spiegazione teorica allo spettro del corpo nero. In termini classici tutte le spiegazioni non risultavano essere concordi coi risultati sperimentali; infatti non si verifica alcuna catastrofe ultravioletta.

"La spiegazione dello spettro del corpo nero fu data da Max Planck, un fisico classico al cento per cento. [...] Fu proprio lui a dare origine a quella che si chiama fisica moderna" (G. Gamow).

Grafico di Planck in cui egli evidenzia la conformità con i risultati sperimentali con la sua teoria del corpo nero.



L'equipartizione dell'energia. Prendiamo una quantità di gas alla temperatura T_0 . Cosa succede se immettiamo nel contenitore altro gas a temperatura $T_1 > T_0$? La temperatura del gas è legata all'energia cinetica delle singole molecole che lo costituiscono e quindi alla loro velocità. Le molecole a temperatura T_1 saranno quindi più veloci delle altre. Col tempo però esse cominceranno ad urtare le molecole del gas nel contenitore. Durante l'urto parte dell'energia della molecola più veloce viene ceduta a quella più lenta. Conclusione: dopo un certo tempo le molecole avranno in media tutte la stessa velocità e questo significa che il gas avrà raggiunto una condizione di equilibrio a temperatura T con $T_0 < T < T_1$.



V Conferenza Solvay, 1927: Planck è il secondo in prima fila. Sempre in prima fila, Marie Curie è la terza. Einstein è quarto. In seconda fila si riconosce Dirac, il quinto in piedi, Schrodinger è il sedici, Pauli l'ottavo e Heisenberg il nono.

