

BREVE STORIA DELLE SCOPERTE SCIENTIFICHE

... e di alcuni loro autori

FUOCO	mezzo milione di anni fa	Homo erectus
SCURE	30.000 anni fa	Homo sapiens
CAPANNE IN OSSA DI MAMMUTH	20.000 anni fa	Homo sapiens
SLITTA	12.000 anni fa	Homo sapiens
ZATTERA, ARCO, FRECCHE E BOOMERANG	11.000 anni fa	Homo sapiens
MATTONI	5.500 a.C.	Popoli mesopotamici
VASELLAME IN CERAMICA	5.000 a.C.	Cinesi
RUOTA	5.000 a.C.	Popoli mesopotamici
BIRRA	5.000 a.C.	Sumeri
CHiodo DI LEGNO	3.500 a.C.	Sumeri
RUOTA	3.500 a.C.	Sumeri
BILANCIA	3.500 a.C.	Egizi
VELA	3.500 a.C.	Egizi
SCRITTURA	3.300 a.C.	Sumeri
CARRO CON RUOTE	3.300 a.C.	Popoli mesopotamici
ABACO	3.000 a.C.	Sumeri
CALENDARIO	3.000 a.C.	Babilonesi
CLESSIDRA AD ACQUA	3.000 a.C.	Egizi e popoli mesopotamici
TESSUTO DI COTONE	2.500 a.C.	Indiani
VINO	2.500 a.C.	Egizi
ARATRO TRAINATO DA ANIMALI	2.500 a.C.	Egizi
SETA	2.400 a.C.	Cinesi

La seta è una fibra tessile che si ricava dal filamento del bozzolo del “baco da seta”. La seta cinese era la più pregiata perché si otteneva da un filo continuo lungo anche fino a 900 metri.

Breve storia delle scoperte scientifiche

VETRO	2.000 a.C.	Egizi
BILANCIA	2.000 a.C.	Egizi e popoli mesopotamici
TELAIO	2.000 a.C.	Egizi e popoli mesopotamici
DIGHE IN TERRA BATTUTA	1.300 a.C.	Indiani e popoli mesopotamici
ARPA, LIRA, FLAUTO	1.300 a.C.	Egizi e popoli mesopotamici
CARAMELLE GOMMOSE	1.000 a.C.	Egizi
PROTESI DENTARIE	650 a.C.	Etruschi
MULINO AD ACQUA	250 a. C.	Popoli dell'Asia Minore
BUSSOLA	200 a.C.	Cinesi
CARTA	123 a.C.	Cinesi
GRU E INGRANAGGI	10 a.C.	Vitruvio, Italia
SELLA E STAFFA	350	Persiani

La sella è il sedile di cuoio su cui siede il cavaliere; viene appoggiata sul dorso del cavallo. Le staffe sono delle specie di anelli, appesi ai due lati della sella, in cui si inseriscono i piedi dei cavalieri. L'invenzione della staffa permise ai cavalieri di mantenersi più saldi in sella, soprattutto durante le battaglie.

MULINO A VENTO	650	Persiani
FORBICI	900	Cinesi
POLVERE DA SPARO	1161	Cinesi
OCCHIALI	1286	Italia
CANNONI	1346	Europa

Dove comincia la nostra storia della scienza? La facciamo cominciare nel momento in cui, attraverso l'arte della stampa, le conoscenze poterono essere diffuse a un maggior numero di persone.

STAMPA A CARATTERI MOBILI	1450	Johann Gutenberg, Germania
---------------------------	------	----------------------------

Grazie alla stampa a caratteri mobili, le parole da stampare venivano composte mettendo vicini gli uni agli altri dei tasselli (caratteri) recanti ognuno una lettera. Gli stessi tasselli, una volta stampata la pagina, potevano essere riutilizzati per fare altre pagine.

OROLOGI DA TASCHINO	1511	Piet Henlein, Olanda
TELAIO MECCANICO	1589	William Lee, Inghilterra

Il telaio meccanico era una macchina per tessere che intrecciava perpendicolarmente tra loro i fili di trama e di ordito.

MICROSCOPIO	1590	Zacharias Janssen, Olanda
TERMOSCOPIO AD ARIA	1615	Santorio Santorio, Italia

Il termometro ad aria fu il primo termometro utilizzato per misurare la temperatura del corpo. Si soffiava al suo interno e una scala graduata permetteva di leggere i valori della temperatura.

CANNOCCHIALE E BINOCOLO	1608	Johannes Lippershey, Olanda
TELESCOPIO RIFRATTORE	1609	Galileo Galilei, Italia

Il telescopio di Galileo veniva utilizzato per ingrandire, e quindi poter osservare, gli astri. Utilizza un sistema di lenti poste ai due estremi del tubo (oculare dove si poggia l'occhio, obbiettivo la parte opposta), è lungo e stretto e permette di vedere oggetti non troppo lontani dalla Terra. L'obbiettivo sfrutta il fenomeno della rifrazione della luce (da cui il nome di "rifrattore"), scompone e ricompone la radiazione luminosa, come succede ai raggi quando attraversano l'acqua.

BAROMETRO	1643	Evangelista Torricelli, Italia
-----------	------	--------------------------------

Il barometro è uno strumento che permette di misurare la pressione atmosferica, cioè la pressione esercitata dall'involucro gassoso che avvolge la Terra. Il valore della pressione atmosferica varia in base alla latitudine, all'altitudine, alla temperatura e all'umidità.

OROLOGIO A PENDOLO	1657	Christiaan Huygens, Olanda
PRIMO GIORNALE QUOTIDIANO	1660	Germania
TELESCOPIO RIFLETTORE	1668	Isaac Newton, Inghilterra

Il telescopio riflettore che utilizza uno specchio per riflettere la luce e inviarla nell'oculare. Dal momento che uno specchio può essere molto più grande di una lente e può riflettere molta luce, questo telescopio permette di vedere oggetti anche molto lontani dalla Terra, come galassie e nebulose.

Qui abbiamo citato la prima invenzione di Newton. Ma tanta e tale è stata la messe dei suoi risultati che sarà da qui opportuno seguirlo in tutta la sua biografia.

ISAAC NEWTON era nato a Woolsthorpe-by-Colsterworth, nel Lincolnshire, il 25 dicembre 1642, secondo il calendario giuliano, ma in Europa, dove era in vigore quello gregoriano, era già il 4 gennaio 1643. La sua era una famiglia di allevatori. Suo padre, anch'egli di nome Isaac, era morto tre mesi prima della sua nascita; tre anni dopo sua madre, Anna Ayscough, si risposava con un tal Barnabas Smith, di sessant'anni, lasciando il piccolo Isaac alle cure dei nonni materni. In quegli anni egli fu molto infelice: odiava il suo patrigno e pare che una volta sia giunto a minacciare di incendiare la sua casa. Si dice che Newton abbia riso una sola volta in vita sua: quando uno studente gli chiese se valesse la pena di studiare gli Elementi di Euclide. Nel 1653, quando Isaac aveva dieci anni, il

Breve storia delle scoperte scientifiche

patrigno morì lasciandogli un'eredità non indifferente con cui poté pagarsi l'istruzione alla King's School, a Grantham. Alloggiava presso la famiglia Clark, imparentata con i Newton. Sembrerebbe che Isaac avesse avuto una relazione sentimentale con Catherine Storer, figliastra del padrone di casa. Probabilmente non fu una cosa importante ma fu praticamente l'unica relazione sentimentale che Newton ebbe nella sua vita. Durante quel periodo aveva preso strane abitudini: costruiva meridiani, orologi ad acqua e modelli funzionanti di mulini. Alla fine del 1658, la madre lo costrinse a abbandonare gli studi e lo richiamò a casa per accudire i campi ma si rivelò un pessimo agricoltore. Alla fine il suo maestro convinse sua madre a fargli proseguire gli studi al Trinity College di Cambridge dove si trasferì nel 1661. A quel tempo gli insegnamenti del College erano basati su Aristotele, ma Newton preferiva filosofi più moderni come Cartesio, Galileo, Niccolò Copernico e Keplero.

Nel 1665, scoprì il teorema binomiale. Poco dopo il College fu chiuso per via della peste che si stava diffondendo nella zona partendo da Londra. Era la grande peste del 1666. Newton approfittò di questa interruzione per proseguire gli studi per conto suo; in un isolamento quasi assoluto, e a soli 22 anni scoprì le Identità di Newton, il metodo di Newton, approssimò le serie armonica tramite i logaritmi e iniziò a sviluppare il calcolo infinitesimale.

Si racconta che in quel 1666, *annus mirabilis*, egli fosse seduto sotto un melo nella sua tenuta a Woolsthorpe quando una mela gli cadde sulla testa. Ciò, sempre secondo la leggenda, lo fece pensare alla gravitazione e al perché la Luna non cadesse sulla terra come la mela. Iniziò a pensare dunque a una forza che diminuisse con l'inverso del quadrato della distanza, come l'intensità della luce. Newton però non tenne conto delle perturbazioni planetarie e di conseguenza i suoi calcoli sul moto della Luna non erano corretti. Deluso smise quindi di pensare alla gravitazione.

Divenne professore lucasiano di matematica nel 1669. A quei tempi tutti i *fellow* di Cambridge erano ordinati preti anglicani anche se questo non era esplicitamente richiesto. Facendo leva su questo, Newton si rivolse al Re Carlo II e non divenne sacerdote. Dal 1670 al 1672 si occupò di ottica: studiò la rifrazione della luce dimostrando che un prisma può scomporre la luce bianca in uno spettro di colori, e quindi una lente e un secondo prisma possono ricomporre lo spettro in luce bianca. Da questo lavoro concluse che ogni telescopio rifrattore avrebbe sofferto della dispersione della luce in colori, e inventò il telescopio riflettore per aggirare il problema. (Solo più avanti, quando divennero disponibili vetri con diverse proprietà rifrattive, divenne possibile costruire lenti acromatiche).

Nel 1671 la Royal Society lo chiamò per una dimostrazione del suo telescopio riflettore. Il loro interesse lo incoraggiò a pubblicare le note *On Colours*

(*Sui colori*) che più tardi arricchì nel suo lavoro *Opticks* (*Ottica*). Quando Robert Hooke criticò alcune delle sue idee, Newton ne fu così offeso che si ritirò dal dibattito pubblico e i due rimasero nemici fino alla morte di Hooke.

Nel suo *Hypothesis of Light* (*Ipotesi sulla luce*) del 1675, Newton postulò l'esistenza dell'etere per trasmettere le forze tra le particelle. Successivamente Henry More, un collega di Cambridge, ravvivò il suo interesse per l'alchimia tanto che rimpiazzò la teoria dell'etere con forze occulte basate sulle idee ermetiche, sull'attrazione e repulsione tra particelle.

Una volta disse, in una lettera a Hooke datata 5 febbraio 1676, «Se ho visto più lontano, è perché stavo sulle spalle di giganti»; benché questa frase, coniata nel Medioevo dalla Scuola di Chartres, appaia come segno di modestia, alcuni ritengono che fu pungente: Hooke infatti era un uomo di bassa statura.

Nel 1679, Newton ritornò alle sue idee sulla gravità, sulla meccanica classica, e sugli effetti di queste sulla determinazione delle orbite dei pianeti e sulle leggi di Keplero. Consultò su questo Robert Hooke e Flamsteed astronomo reale. Newton avrebbe probabilmente tenuto per sé le sue scoperte se Edmund Halley non gli avesse chiesto la risposta di un problema meccanico. Newton gli mostrò il suo manoscritto intitolato *De Motu Corporum* (1684) che conteneva le tre leggi del moto. Halley convinse Newton a pubblicare quelle carte ed egli, inserendo il manoscritto in un'opera più ampia, diede alle stampe i *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Principi matematici della filosofia naturale) comunemente chiamati *Principia*.

<i>Philosophiae Naturalis Principia Mathematica</i>	1687	
--	------	--

L'opera, pubblicata nel **1687** in tre volumi, è unanimemente considerata un capolavoro assoluto della storia della scienza e da molti è considerata la nascita della fisica moderna. Per la prima volta la meccanica era trattata in modo *sistematico* e *geometrico-matematico*, anche se per la sua formulazione con l'*analisi matematica* si dovettero attendere le opere di meccanica di Eulero e quelle dell'epoca illuminista.

Nei *Principi* Newton trattava lo spazio e il tempo come enti assoluti ma, come già aveva fatto Galilei, riconosceva in una certa misura la relatività del moto. Egli dice infatti che il moto assoluto si deve misurare rispettivamente a dei punti immobili ma che, come scrive nei *Principia*: «Non esistono luoghi immobili salvo quelli che dall'infinito e per l'infinito conservano, gli uni rispetto agli altri, determinate posizioni; e così rimangono sempre immobili e costituiscono lo spazio che chiamiamo immobile».

Questa ostica definizione è accentuata sia dal linguaggio dello scienziato, sia dalla grande difficoltà del problema.

Nel primo e nel secondo volume Newton dava alcune importanti definizioni (la massa viene definita come “quantità di materia” e così via) e

Breve storia delle scoperte scientifiche

continuava esponendo le tre fondamentali leggi del moto valide, seppur con qualche piccola modifica, anche oggi:

1. Primo principio (di inerzia) *Ogni corpo persevera nello stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, a meno che non sia costretto a cambiare da forze impresse a mutare questo stato* (principio di inerzia)
2. Secondo principio (variazione del moto) *Il cambiamento di moto è proporzionale alla forza motrice impressa e avviene secondo la linea retta lungo la quale la forza è stata impressa.*
3. Terzo principio (di azione e reazione) *A ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria.*

Nessuno prima di Newton aveva esposto questi principi in modo così chiaro e conciso. A queste leggi seguivano alcuni corollari come per esempio il parallelogramma delle forze, secondo il quale due *forze oblique* si sommano con una *risultante* che è pari alla diagonale del parallelogramma che ha per lati le due forze. Dopo ciò Newton inizia a descrivere il moto dei corpi, ad analizzare casi particolari e a enunciare teoremi sul movimento. Il tutto è trattato geometricamente senza far ricorso al calcolo infinitesimale la cui scoperta voleva ancora tenere segreta, né tanto meno al “metodo degli indivisibili” anche se riconosce esplicitamente che in questo modo potrebbero essere trattate in modo più semplice.

Il primo libro dei *Principia* è chiamato *Sul moto dei corpi* ed era dedicato allo studio della dinamica dei corpi liberi, immersi nel vuoto ed è formato da 14 sezioni. Sono trattati i problemi del moto di un punto materiale soggetto a una forza centripeta, che descrive nei diversi casi orbite circolari, ellittiche, paraboliche o iperboliche. Si tratta soprattutto di problemi astronomici legati alla determinazione del moto di pianeti attorno al Sole, dei satelliti attorno ai pianeti o del moto delle comete.

Nel secondo libro dei *Principia* viene trattato il moto di un corpo in un fluido resistente. Questo libro espone le leggi dell'*idrostatica* e dell'*idrodinamica* classica. Anche se in questa sezione Newton compie qualche errore, i risultati raggiunti sono notevoli. Per esempio Newton, grazie alla legge di Boyle, ottiene un valore, seppur impreciso, per la velocità del suono. Sono esposti nel 2° libro anche difficili teoremi dinamici sul *moto di un pianeta immerso in un fluido*. Il motivo di questi teoremi è dovuto al fatto che al tempo di Newton la fisica Cartesiana non prevedeva l'esistenza del vuoto e quindi si considerava che i pianeti e i satelliti si potessero muovere solo in un fluido esteso negli spazi celesti. Newton dovette quindi trattare questi teoremi nel 2° libro. Nel capitolo conclusivo poi Newton dimostrava che la fisica cartesiana era incompatibile con questi teoremi e con i risultati sperimentali desunti dalle osservazioni astronomiche. Dimostra quindi che la sua forza di

gravitazione universale è una forza che agisce a distanza e che si trasmette nel vuoto e che i pianeti non sono spinti dai *vortici* corporei, come invece riteneva Cartesio.

Nel terzo libro dei *Principia*, chiamato *Sul sistema del mondo* Newton esponeva la legge di gravitazione universale che agisce, secondo Newton, in ogni luogo e per ogni corpo. La forza di attrazione gravitazionale su un corpo di massa m , generata dal campo gravitazionale di un corpo di massa M , è data da: $\mathbf{F} = -GMm\mathbf{r}/r^3$ dove $\mathbf{r}$ è il vettore che congiunge i centri di massa (da M a m), e G è la costante di gravitazione universale che fu determinata sperimentalmente solo da Henry Cavendish nel 1798. Si precisa che Newton non pubblicò nel terzo libro la legge di gravitazione nella formula algebrica sopraindicata, ma la illustrò con una serie di teoremi o proposizioni relativi al moto dei pianeti. La formula sopraindicata sarà poi espressa nei trattati successivi, in particolare quelli compilati dal matematico svizzero-tedesco Leonhard Euler, dalla matematica francese Emilie du Chatelet e dai successivi trattati di Meccanica razionale e Astronomia. Sulle cause di questa attrazione Newton (almeno ufficialmente) non si pronunciò. Egli espresse la celebre frase «*Hypotheses non fingo*», la quale significa che affinché un'ipotesi sia considerata vera, è necessario soltanto che spieghi i fenomeni naturali.

La forma della legge di gravitazione universale non era nuova (era stata enunciata, per esempio, da Ismaël Boulliau nel 1645 e poi ripresa, tra gli altri, da Halley e Robert Hooke), ma Newton per primo dimostrò come, attraverso la legge di gravitazione universale, si possano calcolare le orbite dei pianeti (o di qualsiasi altro corpo), scoprendo così che esse possono essere anche paraboliche e iperboliche e che dall'ipotesi della gravitazione possono essere derivate le leggi di Keplero. Successivamente spiegava esaurientemente il moto delle comete.

In questo volume Newton compiva l'unificazione tra la fisica galileiana e l'astronomia di Keplero. Infatti lo scienziato inglese riconduceva a un'unica causa la legge di gravitazione universale, le leggi di Keplero e quelle della caduta dei gravi. Questo risultato aveva un'importanza cruciale in quanto Newton unificava i moti del cielo e della terra aprendo così la via a una moltitudine di applicazioni che sarebbero poi state sviluppate appieno da molti altri scienziati.

Newton inoltre condivise con Gottfried Wilhelm Leibniz la paternità dello sviluppo del **calcolo differenziale o infinitesimale**.

Newton fu il primo a dimostrare che la luce bianca è composta dalla somma (in frequenza) di tutti gli altri colori. Egli, infine, avanzò l'ipotesi che la luce fosse composta da particelle da cui nacque la teoria corpuscolare della luce in contrapposizione ai sostenitori della teoria ondulatoria della luce, patrocinata dall'astronomo olandese Christiaan Huygens e dall'inglese Young e corroborata alla fine dell'800 dai lavori di Maxwell e Hertz. La tesi di Newton avrebbe invece trovato conferme, circa due secoli dopo, con l'intuizione del "quanto d'azione" di

Breve storia delle scoperte scientifiche

Max Planck e i lavori di Einstein sull'interpretazione dell'effetto fotoelettrico e la conseguente introduzione del quanto di radiazione elettromagnetica, il fotone.

Newton sviluppò il calcolo infinitesimale indipendentemente da Leibniz, che però usò una notazione più precisa. È certo che Newton scoprì il calcolo dieci anni prima di Leibniz, ma pubblicò la sua scoperta molto dopo. Newton sostenne di non aver pubblicato il suo lavoro per timore di essere deriso. Dal 1699 alcuni membri della Royal Society accusarono Leibniz di plagio, e iniziò una violenta contesa su chi avesse inventato il calcolo. Questa disputa amareggiò le vite di entrambi i contendenti fino alla morte di Leibniz nel 1716. Anche dopo la sua morte Newton continuò a denigrare la memoria dell'avversario fino al punto che, secondo alcuni, sarebbe arrivato a compiacersi di avergli “spezzato il cuore”.

L'impegno di Newton per la scienza è chiaramente dimostrato da un particolare esperimento sull'ottica. Avendo l'idea che il colore fosse provocato dalla pressione sull'occhio, egli premette un ago da cucito intorno al suo occhio fino a quando poté dare dei colpetti al retro dello stesso, notando spassionatamente “cerchi bianchi, scuri e colorati fintanto che continuava ad agitarlo”.

Il successo e la psiche

Con i *Principia*, Newton venne riconosciuto internazionalmente e conquistò un circolo di ammiratori fra cui fu importante il matematico di origini svizzere Nicolas Fatio de Duillier, con il quale stabilì un'intensa relazione che durò fino al 1693. La fine di quest'amicizia portò Newton a un esaurimento nervoso.

Durante questo esaurimento Newton si avvicinò molto alla pazzia e scrisse lettere deliranti e accusatorie ad alcuni suoi amici, tra i quali anche Locke. Alcuni ritengono che all'origine di questo momentaneo esaurimento nervoso ci fossero i vapori di mercurio respirati negli esperimenti alchemici. Altri ritengono che ci siano correlazioni, comunque non dimostrate, tra i suoi forti esaurimenti nervosi e alcune sue importanti scoperte. Nel 1696 per risollevarlo da questa crisi Charles Montagu gli offrì un posto alla zecca reale.

Ultimi anni

Newton si trasferì a Londra per prendere il posto di guardiano della Zecca Reale nel 1696, poi fu cancelliere dello Scacchiere. Si fece carico del grande programma di nuova coniazione delle monete inglesi, seguendo il cammino di Master Lucas (e favorendo la nomina di Edmond Halley a sovrintendente della zecca di Chester).

Newton divenne direttore della Zecca alla morte di Lucas nel 1699. Questi incarichi erano intesi come sinecure, ma Newton li prese seriamente, esercitando il suo potere per riformare la moneta e punire i falsari. Egli si ritirò dai suoi incarichi a Cambridge nel 1701.

La riforma monetaria di Newton anticipò il *gold standard* che l'Inghilterra adotterà per prima nel 1717, seguita da altre nazioni nei secoli successivi, fino all'adozione statunitense ai primi del Novecento. Newton stabilì un cambio fisso fra la sterlina e l'oncia d'oro; inoltre, elaborò dei metodi per aumentare la produttività della zecca, con misure per un maggior controllo della quantità d'oro e argento nelle monete coniate. Riuscì in questo modo a chiudere le filiali provinciali della Banca d'Inghilterra e a tornare a una produzione centralizzata della moneta.

Nel 1697 gli arrivò una copia del problema della brachistocrona che Bernoulli aveva ideato come una sfida a tutti matematici d'Europa e in particolare a Newton. Egli risolse il problema in una notte e inviò la risposta al matematico svizzero non firmata. Bernoulli la riconobbe però immediatamente.

Newton fu anche un membro del Parlamento dal 1689 al 1690 e nel 1701, ma il suo solo intervento registrato fu per lamentarsi di una corrente d'aria fredda e la richiesta che venisse chiusa la finestra. Nel 1701 Newton pubblicò anonimamente una legge della termodinamica ora conosciuta come legge di Newton del raffreddamento nel *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

Nel 1703 Newton divenne presidente della Royal Society e un associato della Académie des Sciences. Nella sua posizione alla Royal Society, Newton si fece nemico di John Flamsteed, l'Astronomo reale, tentando di rubare il suo catalogo di osservazioni. Nel 1705 fu investito del titolo di cavaliere dalla Regina Anna. Newton non si sposò mai, né ebbe figli riconosciuti.

Morì a Kensington, Londra, il 31 marzo 1727 all'età di 84 anni e fu sepolto nell'Abbazia di Westminster. Voltaire, che era presente al funerale, disse che era stato sepolto come un re. Per lui Alexander Pope scrisse un famoso poemetto che inizia così:

(EN) «*Nature and nature's laws lay hid in night;
God said: «Let Newton be!», and all was light*»

(IT) «La natura e le leggi della natura
giacevano nascoste nella notte; Dio disse:
«Che Newton sia!», e luce fu»

Invece sulla tomba fu inciso l'epitaffio:

(LA) «*Sibi gratulentur mortales tale
tantumque exstitisse humani generis decus*»

(IT) «Si rallegrino i mortali perché è esistito
un tale e così grande onore del genere
umano»

Dopo la morte il corpo fu riesumato e fu trovata un'alta quantità di mercurio nei suoi capelli, probabilmente per via dei numerosi esperimenti di alchimia.

Newton era, a detta di molti, un uomo scorbutico e sgradevole. Era paranoico e temeva la povertà e le critiche degli altri. Era litigioso e si imbarcò in dispute accanite con molti suoi contemporanei come Hooke, Leibniz o Flamsteed.

Breve storia delle scoperte scientifiche

Temeva che le sue idee poco ortodosse sulla religione potessero causargli problemi e tenne segreti i suoi scritti filosofici. Non solo, egli non pubblicò nemmeno, o pubblicò molto tardi, gran parte dei suoi scritti scientifici. Probabilmente fece ciò per paura delle critiche, ma alcuni ritengono che fosse guidato da convinzioni molto vicine al pitagorismo e che considerasse il sapere come bene da condividere solo tra pochi eletti.

Newton dedicò molto tempo anche all'alchimia: in un'epoca in cui i principi della chimica non erano chiari egli cercava di indagare sulla natura delle sostanze rifacendosi a tradizioni ermetiche ed effettuando esperimenti successivamente relegati nella pseudoscienza. John Maynard Keynes, che acquisì molti degli scritti di Newton sull'alchimia, disse che «Newton non fu il primo dell'età della ragione: fu l'ultimo dei maghi.» L'interesse di Newton nell'alchimia non può essere isolato dai suoi contributi alla scienza. Se non avesse creduto nell'idea occulta dell'azione a distanza, attraverso il vuoto, probabilmente non avrebbe sviluppato la sua teoria sulla gravità. Lo scienziato trascorreva il settembre di ogni anno immerso nelle pratiche alchemiche, il cui metallo prediletto era il mercurio.

Newton iniziò a interessarsi di alchimia a seguito dello studio di Robert Boyle. Un altro dei punti di riferimento per la riflessione alchemica di Newton fu l'alchimista americano George Starkey, la cui opera principale, *l'Introitus*, fu studiata da Newton nella sua traduzione inglese del 1669, intitolata *Secrets Reveal'd*. Anche il circolo dei *chemical philosophers*, guidato da Samuel Hartlib e dallo stesso Starkey furono un catalizzatore della curiosità di Newton verso l'alchimia.

L'apice della riflessione alchemica di Newton viene raggiunto con il saggio intitolato *Praxis*, scritto nel 1693. Il trattato è suddiviso in una prima parte teorica di esplorazione della simbologia alchemica, seguito da una sezione dedicata all'attività pratica dell'alchimia. Quest'ultima parte dà il nome all'intero saggio.

Praxis non venne mai pubblicato in vita e dopo la sua composizione il coinvolgimento di Newton nell'alchimia andò scemando.

Da un manoscritto lasciato inedito sappiamo che Newton non considerava l'alchimia come qualcosa di diverso dalle scienze esatte. La sua volontà era di dedicarsi allo studio di processi come la crescita e la vegetazione per capire appunto lo spirito vegetativo che sta alla base della crescita, concetto questo molto legato agli studi alchemici.

Newton si interessò molto anche di religione. Un'analisi di tutti gli scritti di Newton rivela che di circa 3.600.000 parole solo 1.000.000 furono dedicate alle scienze, mentre circa 1.400.000 furono dedicate a soggetti religiosi. Negli anni sessanta del XVII secolo, Newton scrisse numerosi opuscoli religiosi sulla interpretazione letterale della Bibbia. Credeva che in vari punti il testo del libro fosse stato forzato e falsificato e si adoperò in ogni misura per riuscire a trovare il

significato originale del libro. La fede di Henry More nell'infinitezza dell'universo potrebbe aver influenzato le idee religiose di Newton. Studiando la Bibbia infatti Newton arrivò alla conclusione che il dogma trinitario fosse un'invenzione postuma. Un manoscritto che egli inviò a John Locke nel quale metteva in discussione l'esistenza della Trinità non fu mai pubblicato. In *An Historical Account of Two Notable Corruptions of Scripture*, pubblicata la prima volta nel 1754, ventisette anni dopo la sua morte, prese in esame tutte le prove testuali ottenibili da fonti antiche su due passi della Bibbia: I Giovanni 5:7 e I Timoteo 3:16 per dimostrare l'inesistenza scritturale della dottrina trinitaria. In un manoscritto redatto nel 1704 nel quale descrive i suoi tentativi di estrarre informazioni scientifiche dalla Bibbia, stimò che la fine del mondo sarebbe avvenuta nell'anno 2060.

Fu considerato un precursore del deismo settecentesco per la sua fede in un Dio creatore immobile e trascendente dell'universo. Tale idea informò il metodo newtoniano, in particolare per il postulato di semplicità e uniformità dell'universo. Newton credeva che le Scritture fossero opera divina ma considerava Dio come un demiurgo, un "orologiaio" dell'Universo, essere impalpabile che lo aveva messo in moto. Vedeva come prova dell'esistenza di questo Essere la complessità dei moti planetari. Scrisse in una lettera del 10 dicembre 1682 a Richard Bentley: «Non credo che ciò [l'Universo] si possa spiegare solo con cause naturali, e sono costretto a imputarlo alla saggezza e all'ingegnosità di un essere intelligente»

Odiava la Chiesa cattolica e si oppose a i provvedimenti filo-cattolici che Giacomo II volle imporre all'Università di Cambridge. Forse per i suoi interessi alchemici è stato più volte accostato a presunte organizzazioni segrete come la setta dei Rosacroce e il fantomatico Priorato di Sion (di cui si dice che sia stato anche grande maestro).

Era vegetariano e a questa sua scelta etica si ispirò la critica alle crudeltà sugli animali contenuta negli *Elementi della filosofia di Newton* (1737) di Voltaire.

I suoi lavori più tardi – *The Chronology of Ancient Kingdoms Amended* (1728) e *Observations Upon the Prophecies of Daniel and the Apocalypse of St. John* (1733) – furono pubblicati dopo la sua morte. Egli riteneva che le sue ricerche più impegnative fossero quelle dedicate agli studi della cronologia antica.

La disputa Leibniz-Newton sulla paternità del calcolo infinitesimale

In un carteggio con Leibniz del 1677 Newton rivelò, sotto forma cifrata il principio fondamentale del suo calcolo differenziale e Leibniz rispose spiegando i principi dei suoi lavori in questo campo.

La disputa ebbe inizio nel 1695 quando Wallis riferì a Newton che in Europa il calcolo era considerato un'invenzione del matematico tedesco. Successivamente durante il suo soggiorno a Londra, Leibniz fu accusato di aver plagiato Newton. Egli allora si appellò alla Royal Society nel 1704 chiedendo giustizia.

Breve storia delle scoperte scientifiche

Nel 1708 il fisico Keill, difese vigorosamente Newton in un articolo su un giornale. Per via dell'insistenza di Leibniz la Royal Society nominò una commissione incaricata di studiare la questione. Sembra che Newton, nella sua carica di presidente, abbia influito sulla scelta della commissione. Ovviamente dunque questa diede ragione a Newton sostenendo la sua paternità dell'invenzione del calcolo e accusando Leibniz di plagio. Probabilmente Newton stesso redasse il rapporto finale senza firmarlo. Nel 1712 venne pubblicato il carteggio di cinquant'anni prima riguardante il calcolo intitolato *Commercium epistolicum*.

Leibniz si scagliò violentemente contro Newton mettendo in discussione la paternità della teoria della gravitazione universale e la sua ortodossia religiosa, accusandolo di appartenere alla setta dei Rosacroce. Newton rispose a tono e la disputa coinvolse la maggior parte dei matematici del tempo trasformandosi in un vero e proprio caso diplomatico che tra l'altro ostacolò la diffusione delle teorie newtoniane nel continente. Ancora nel 1726, dieci anni dopo la morte di Leibniz, Newton eliminò dai *Principia* ogni accenno al fatto che i due avessero sviluppato indipendentemente il calcolo infinitesimale.

Oggi gli storici della scienza tendono a riconoscere a Newton una priorità nelle applicazioni fisico-meccaniche del calcolo, e a Leibniz una priorità sugli aspetti logico-matematici e sui simboli usati per derivate e integrali.

Gli studi storici e filologici hanno anche messo in evidenza il grande contributo dato all'invenzione del calcolo sia dai matematici precedenti Newton e Leibniz, sia i contributi essenziali dei matematici successivi, fra cui i Bernoulli, Eulero, e altri.

Nella parte giovanile della sua vita Newton si dedicò alla matematica pura (anche se essa gli serviva prevalentemente per risolvere problemi fisici). In questo campo si dedicò soprattutto all'analisi scoprendo alcune formule per il calcolo di pi greco e l'espansione in serie del logaritmo naturale, ossia le serie di Mercator e trovò un metodo per approssimare le serie armonica tramite i logaritmi. Scopri poi le identità di Newton e il metodo di Newton. Una delle sue scoperte più importanti (pubblicata per la prima volta da Wallis nella sua *Algebra* del 1685) fu il teorema binomiale: una formula che consente di elevare a una qualsiasi potenza un binomio.

Tuttavia Newton in matematica è noto soprattutto per l'invenzione, indipendentemente da Leibniz, del calcolo infinitesimale. Anche se questa scoperta era fondata su basi poco chiare e rigorose avrebbe avuto un'importanza fondamentale per lo sviluppo, non solo della matematica ma anche della fisica. Questa invenzione era stata preannunciata già da matematici come Wallis, Barrow, Fermat, Torricelli e Cavalieri, ma solo con Newton (e Leibniz) essa assunse la forma che rimase canonica negli sviluppi successivi.

Newton e Leibniz ripresero e svilupparono un metodo scoperto circa cinquanta anni prima da Fermat per trovare i massimi e i minimi di una funzione attraverso la sua derivata. A differenza di molti suoi contemporanei Newton applicò questo procedimento anche alle funzioni trascendenti, anche se il concetto di limite non era affatto definito all'epoca. Egli usava infatti nei suoi scritti privati termini ambigui come «flussione» o «infinitesimo». Newton si rese conto che «il problema delle tangenti» e quello «delle quadrature» erano uno l'inverso dell'altro ossia che la derivazione era l'inverso dell'integrazione. Per la verità passi importanti verso la dimostrazione di questo teorema (che non a caso è noto come teorema di Torricelli-Barrow) erano già stati compiuti, ma il contributo di Newton fu di grande importanza. Grazie alle sue scoperte Newton ottenne alcune serie che esprimevano varie funzioni come una somma infinita di termini; per esempio la serie di Mercator, come già accennato.

Newton studiò la dispersione ottica di un raggio di luce bianca che attraversa un prisma di vetro e si scompone nei vari colori. Si accorse per primo che cambiando la direzione dei raggi colorati con una lente, in modo che convergessero in un secondo prisma, si riotteneva la luce bianca. Invece isolando un raggio colorato e facendolo passare per un prisma esso rimaneva invariato. Newton concluse che la luce bianca era formata da tutti gli altri colori messi insieme.

Newton analizzò anche quelli che oggi sono detti anelli di Newton (descritti anche da Robert Hooke nella sua *Micrographia* del 1664) e concluse che gli aloni colorati che si vedevano nei telescopi di allora fossero dovuti alla rifrazione della luce bianca (fenomeno chiamato aberrazione cromatica).

Per ovviare a questo problema Newton costruì un telescopio riflettore che usa un grande specchio concavo per far convergere i raggi luminosi in un altro specchietto più piccolo inclinato di 45° così che esso li diriga nell'oculare. Per via dello specchio concavo l'immagine dell'oggetto è notevolmente ingrandita senza la benché minima aberrazione cromatica. Newton stesso costruì degli esemplari di questo telescopio che risultarono più piccoli e potenti degli altri telescopi di allora.

Più complesse furono le teorie che azzardò per spiegare i fenomeni luminosi secondo le quali nello spazio era diffusa una sostanza “finissima” chiamata etere. Secondo Newton la luce avrebbe riscaldato l'etere facendolo vibrare mentre esso avrebbe rifratto la luce. Newton aggiungeva che la luce avrebbe subito accelerazioni e decelerazioni per via delle variazioni di densità di questo mezzo. Tra l'altro alle variazioni di densità di questo presunto etere Newton, (pur non assumendo nessuna posizione pubblica) attribuiva la gravità, ma non era molto sicuro di questa supposizione.

In questa macchinosa teoria la luce appariva come un corpuscolo. Dopo che vari esperimenti ne accertarono la natura ondulatoria le sue ipotesi furono

Breve storia delle scoperte scientifiche

abbandonate e si preferirono quelle di Hooke e Huygens. Oggi tuttavia la meccanica quantistica parla di dualismo onda-particella anche se i fotoni hanno poco da spartire con i corpuscoli di Newton.

Il metodo newtoniano, fondamentale nell'evoluzione delle sue scoperte scientifiche, consisteva, secondo il pensatore, in due parti fondamentali, ovvero un procedimento analitico, che procede dagli effetti alle cause, a cui succede un procedimento sintetico, che consiste nell'assumere le cause generali individuate come ragione dei fenomeni che ne derivano. A questi due procedimenti Newton applica quattro regole fondamentali, da lui così definite:

- non dobbiamo ammettere spiegazioni superflue;
- a uguali fenomeni corrispondono uguali cause;
- le qualità uguali di corpi diversi debbono essere ritenute universali di tutti i corpi;
- proposizioni inferite per induzione in seguito a esperimenti, debbono essere considerate vere fino a prova contraria.

Questa ultima regola può essere ricollegata alla celebre affermazione di Newton, «Hypotheses non fingo», in base alla quale il filosofo si ripromette di rifiutare qualsiasi spiegazione della natura che prescinda da una solida verifica sperimentale.

La tradizione vuole che Newton fosse seduto sotto un albero di mele quando una mela cadde sulla sua testa e questo gli fece capire che la forza gravitazionale terrestre e celeste sono la stessa cosa. Questa in realtà è un'esagerazione di un episodio narrato da Newton stesso secondo il quale egli sedeva a una finestra della sua casa (Woolsthorpe Manor) e vide una mela cadere dall'albero. In ogni modo si ritiene che anche questa storia sia stata inventata dallo stesso Newton più avanti negli anni, per dimostrare quanto fosse abile a trarre ispirazione dagli eventi di tutti i giorni. Uno scrittore suo contemporaneo, William Stukeley, registrò nelle sue *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life* una conversazione con Newton a Kensington il 5 aprile 1726, nella quale Newton ricordava «quando per la prima volta, la nozione di forza di gravità si formò nella sua mente. Fu causato dalla caduta di una mela, mentre sedeva in contemplazione. Perché la mela cade sempre perpendicolarmente al terreno, pensò tra sé e sé. Perché non potrebbe cadere a lato o verso l'alto ma sempre verso il centro della Terra.» L'episodio divenne famoso quando fu ripreso da Voltaire nella quindicesima delle sue *Lettres philosophiques* (1734).

Le idee di Newton ebbero una rapida diffusione in Inghilterra anche grazie a persone come Edmund Halley. Così non fu per il continente europeo nel quale ebbero una storia più travagliata.

Soprattutto in Francia rimase a lungo molto diffusa la teoria cartesiana dei vortici che, rispetto a quella di Newton, aveva il vantaggio di essere comprensibile intuitivamente e senza matematica. Inoltre la gravità era giudicata dai cartesiani come una forza occulta e la sua accettazione non fu facile. Importante in questo campo fu la “propaganda” del filosofo illuminista Voltaire che, nel suo *Elementi della filosofia di Newton* e nelle sue *Lettere filosofiche*, si dimostrò un difensore di Newton; il successo di questi scritti contribuì non poco all'accettazione di queste teorie in Francia.

L'esperimento decisivo venne compiuto nel 1736. Dato che le teorie newtoniane prevedevano che la terra fosse schiacciata ai poli mentre quelle cartesiane prevedevano che fosse allungata, nel 1735 partirono due spedizioni per verificare la forma effettiva della terra, una era diretta in Perù e l'altra per la Scandinavia. Il risultato dell'esperimento fu inequivocabile: la terra è schiacciata ai poli come Newton aveva previsto. Poco dopo altri successi confermarono nuovamente la teoria newtoniana e fecero cadere definitivamente quella cartesiana. Per esempio l'apparizione della cometa di Halley nel 1759 come previsto da Halley in base alle teorie newtoniane. Poco dopo Francesco Algarotti pubblicò *Il newtonianesimo per le dame*, la prima opera divulgativa delle teorie di Newton.

La meccanica celeste divenne in seguito, grazie ai lavori di Eulero, D'Alembert, Joseph-Louis Lagrange e Laplace, straordinariamente precisa e quando nel 1846, grazie ai calcoli teorici di John Couch Adams e Urbain Le Verrier, l'astronomo Johann Galle riuscì a scoprire il pianeta Nettuno, raggiunse il suo apice.

Nell'immaginario popolare Newton divenne l'eroe intellettuale per eccellenza, colui che aveva ricondotto la Natura a puri principi razionali abbandonando cause occulte. Concezione questa sbagliata in quanto Newton fu anche un alchimista, ma che ebbe vasta importanza. Il filosofo tedesco Immanuel Kant fu influenzato dalla visione newtoniana del mondo. L'ammirazione per Newton è ben testimoniata dai vari omaggi che molti artisti gli fecero: il poemetto di Alexander Pope e il suo epitaffio, il quadro di William Blake che lo rappresenta come divino geometra e il progetto utopistico di Etienne-Louis Boullée del suo cenotafio (1784). Quest'ultimo ebbe a dire «O Newton, come con la vastità della tua sapienza e la sublimità del tuo genio hai determinato la forma della terra, così ho concepito l'idea di racchiuderti nella tua stessa scoperta.»

PIANOFORTE	1709	Bartolomeo Cristofori, Italia
MACCHINA A VAPORE	1712	Thomas Newcomen, Inghilterra

Breve storia delle scoperte scientifiche

La macchina a vapore ha una caldaia con dell'acqua che viene fatta scaldare fino a produrre vapore. La forza del vapore fa muovere dei meccanismi. La macchina inventata da Newcomen fu perfezionata da James Watt e divenne molto importante per la nascita delle industrie.

ELETTROFORO PERPETUO	1775	Alessandro Volta, Italia
----------------------	------	--------------------------

Nel 1775 **Alessandro Volta** mette a punto l'**elettroforo perpetuo** e ne dà notizia al chimico e filosofo inglese Joseph Priestley e al ministro plenipotenziario conte Carlo Giuseppe di Firmian, governatore generale della Lombardia. L'invenzione suscita ammirazione ed entusiasmo nel mondo scientifico. Viene nominato dal conte di Firmian professore stabile di fisica sperimentale nelle scuole di Como.

ALESSANDRO VOLTA era nato a Como nel 1745, nell'antico palazzo situato nell'attuale via Volta, da don Filippo e donna Maddalena dei conti Inzaghi, nel 1758 aveva intrapreso gli studi umanistici, di retorica e di filosofia presso la scuola dei gesuiti a Como. Nel 1761 era entrato nel Regio Seminario Benzi di Como, dove aveva concluso gli studi e stretto amicizia con il canonico Giulio Cesare Gattoni. Era stato quest'ultimo a incoraggiare la vocazione scientifica del giovane Volta, mettendogli a disposizione il proprio gabinetto di scienze naturali ospitato in una delle torri della cinta muraria comasca (poi nota come "Torre Gattoni"). Così i progetti dei familiari di avviarlo al sacerdozio o agli studi giuridici erano stati definitivamente abbandonati. Era però rimasta sempre forte in lui la fede cristiana: Alessandro Volta infatti era solito andare a messa quotidianamente e fu anche a lungo catechista presso la parrocchia di San Donnino a Como. Il 18 aprile 1769 Volta aveva pubblicato la sua prima memoria scientifica, *De vi attractiva ignis electrici ac phaenomenis inde pendentibus*, nella quale prende posizione nei confronti dell'interpretazione "ufficiale" dei fenomeni elettrici, sostenuta dal professore dell'Università di Torino Giovanni Battista Beccaria. Nel luglio 1771 aveva pubblicato la sua seconda memoria, *Novus ac simplicissimus electricorum tentaminum apparatus*, indirizzata all'abate Lazzaro Spallanzani, naturalista e professore dell'Università di Pavia.

Nel 1774 era stato nominato "reggente" delle Regie Scuole di Como.

Nel 1776 scopre presso Angera sul Lago Maggiore l' "aria infiammabile nativa delle paludi", che altro non è che l'attuale metano. La scoperta lo indusse a studi ed esperimenti con le "arie infiammabili". Osserverà lo stesso fenomeno più tardi a Pietramala, tra Bologna e Pistoia, (1780) e presso le rovine dell'antica Velleia, sulle colline di Piacenza, (1781).

Nel 1777 pubblica a Milano *Lettere sull'aria infiammabile nativa delle paludi*. Nell'ambito degli studi sulle "arie infiammabili", realizza la "pistola elettroflogopneumatica", una lucerna ad aria infiammabile (poi denominata

“lampada perpetua di Volta”) e una versione molto perfezionata dell’eudiometro (in precedenza inventato da Joseph Priestley). In una lettera al professor Carlo Barletti dell’Università di Pavia comunica la sua idea di segnalazione elettrica a distanza: utilizzando un circuito costituito, in andata, da fili di ferro sostenuti da pali e, al ritorno, da un corso d’acqua, una scarica elettrica prodotta a Como è in grado di provocare lo sparo di una pistola ad aria infiammabile collocata a Milano.

In quell’anno effettua il primo viaggio in Svizzera e in Savoia con l’amico Giambattista Giovio: a Lucerna ammira il grande modello in rilievo della Svizzera di Ludwig Pfyffer; a Ginevra incontra i naturalisti Horace-Bénédict de Saussure e Jean Sénéquier.

Nel 1778 nella lettera a de Saussure *Sulla capacità dei conduttori elettrici*, Volta introduce - accanto al concetto di “capacità elettrica” - quello fondamentale di “tensione elettrica” (oggi sostituito dal termine “differenza di potenziale”). È chiamato alla cattedra di Fisica sperimentale all’Università di Pavia. L’ateneo, per volontà dell’imperatrice Maria Teresa d’Austria, è in quegli anni interessato da un imponente piano di potenziamento e riforma, avviato a partire dal 1771, che ne farà la “Scuola centrale dello Stato”, ovvero del Sacro Romano Impero. Le lezioni di Volta sono tanto affollate da indurre il successivo imperatore Giuseppe II a ordinare la costruzione di un nuovo “teatro fisico”, oggi “Aula Volta”.

Nel 1780 inventa il “condensatore di elettricità”, apparato che serve a ricevere, accumulare, condensare in sé e rendere visibile anche le più deboli quantità di elettricità.

Nel 1781-1782 effettua un viaggio in Svizzera, Alsazia, Germania, Olanda, Belgio, Parigi e Londra. A Parigi incontra il grande naturalista Georges-Louis Leclerc de Buffon e gli scienziati Pierre Simon Laplace e Antoine-Laurent de Lavoisier. Alla Royal Society di Londra legge la dissertazione sul “condensatore”, che viene subito stampata in inglese con testo a fronte nelle *Philosophical Transactions*. La memoria, nella sua versione definitiva, contiene la relazione fondamentale tra carica elettrica, capacità e tensione ($Q=C \cdot V$): “la quantità [di fluido] è in ragione composta dell’intensità [cioè della tensione della capacità]”.

MONGOLFIERA	1783	Jacques-Étienne e Joseph-Michel Montgolfier, Francia
-------------	------	--

Nel 1784 Alessandro Volta effettua un viaggio oltre le Alpi con il collega Antonio Scarpa, professore di anatomia all’Università di Pavia. A Vienna è ricevuto dall’imperatore Giuseppe II.

Nel 1785 viene eletto dagli studenti rettore dell’Università di Pavia per l’anno accademico 1785-1786.

Breve storia delle scoperte scientifiche

Nel 1787 effettua un nuovo viaggio in Svizzera, a Ginevra, in cui offre a de Saussure un suo poemetto in cui celebra l'ascensione dell'amico naturalista sulla cima del Monte Bianco.

Nel 1787-1789, in una serie di *Lettere sulla metrologia elettrica* indirizzate al poeta e scienziato tedesco Georg Christoph Lichtenberg, Volta espone i suoi risultati nella definizione di misure elettriche standard e nella realizzazione di strumenti accurati di misurazione. Costruisce infatti la bilancia elettrometrica e alcuni elettrometri particolarmente sensibili e precisi (fra cui quello a pagliuzze e l'elettrometro condensatore) grazie ai quali riesce a stabilire il "grado fondamentale", cioè l'unità di tensione (ovvero di potenziale). Nelle stesse lettere Volta descrive esperienze e apparecchiature per la misurazione del gradiente elettrico dell'atmosfera.

La disputa con Galvani

Nel 1791 Luigi Galvani, professore di anatomia all'Istituto delle Scienze di Bologna, divulga con l'opuscolo *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* la teoria del fluido elettrico animale. Volta è ammesso alla Royal Society di Londra.

Nel 1792 inizia la disputa con Galvani e i suoi discepoli. Nella Memoria seconda sull'elettricità animale, Volta contrasta la teoria del "fluido elettrico animale" e conclude che negli esperimenti sulla contrazione dei muscoli della rana osservati da Galvani (in cui sono utilizzati archi metallici) "è la diversità dei metalli, che fa".

Nel 1793 pubblica, nella Memoria Della uniforme dilatazione dell'aria per ogni grado di calore, le leggi sull'uniforme dilatazione dell'aria atmosferica, la cui prima formulazione risale al 1791.

Il matrimonio

Nel 1794 Volta sposa la nobildonna comasca Maria Teresa Peregrini, da cui avrà tre figli: Zanino (1795-1869), Flaminio (1796-1814) e Luigi (nato nel 1798). Il matrimonio segue di tre anni la conclusione della tormentata relazione sentimentale con la cantante romana Marianna Paris alle cui nozze i familiari del Volta e lo stesso ministro plenipotenziario austriaco si oppongono. La Royal Society gli assegna la "medaglia Copley", per la sua Memoria intorno al condensatore e all'elettricità che si eccita col contatto di conduttori dissimili.

Volta mette a punto la fondamentale distinzione tra "conduttori metallici" (o di prima specie) e "conduttori umidi" (o di seconda specie). Galvani e i suoi discepoli Giovanni Aldini e Eusebio Valli contrappongono a Volta una serie di esperimenti che dimostrano il sussistere del "fluido elettrico" nelle rane anche usando archi monometallici oppure mettendo direttamente a contatto il nervo e il muscolo della rana.

Lo studio su gas e vapori saturi

Nel 1795 pubblica importanti risultati nell'ambito dello studio del comportamento dei vapori saturi, argomento di grande attualità sollevato dalla costruzione delle macchine a vapore allora utilizzate nell'industria. Tali leggi sulla tensione dei vapori risalgono in realtà a due anni prima.

Nel maggio 1796 i francesi entrano in Como. Su invito della municipalità, Volta rende omaggio al generale Napoleone Bonaparte in Milano. È accusato di favorire il trasferimento dell'Università da Pavia a Milano, accusa da cui si difende. Chiede di essere collocato a riposo, ma la richiesta viene respinta.

Gli studi con l'elettrometro condensatore

All'avvicinarsi dell'armata francese l'università di Pavia viene chiusa dagli austriaci. Volta indirizza a Friedrich Gren di Halle tre lettere *Sull'elettricità eccitata dal contatto dei conduttori dissimili*, in cui descrive le proprie esperienze sull'elettricità di contatto utilizzando uno strumento di sua invenzione, l'elettrometro condensatore, capace di rilevare anche le più piccole quantità di elettricità.

Nell'aprile 1798 l'Università di Pavia viene riaperta con il sostegno di Parigi. Luigi Galvani pubblica le *Memorie sull'elettricità animale*, dedicate allo Spallanzani, in cui ribadisce le proprie tesi. Volta risponde con le sue *Lettere del cittadino N.N. di Como*, indirizzate all'Aldini. La controversia con i galvaniani è ormai insanabile.

DETERMINAZIONE di G	1798	Henry Cavendish
---------------------	------	-----------------

Nel 1798 **Henry Cavendish** determina sperimentalmente la costante di gravitazione universale G e “pesa la Terra”.

Rientrati in Lombardia gli austro-russi nell'aprile 1799, l'Università di Pavia fu soppressa e i suoi professori dimessi (molti addirittura incarcerati o proscritti). Volta fece ritorno a Como, dove “sulla fine dell'anno 1799”, giunse al “gran passo”, “passo che mi ha condotto ben tosto alla costruzione del nuovo apparato scotente”: era l'invenzione della pila.

INVENZIONE DELLA PILA	1799	Alessandro Volta, Como
-----------------------	------	------------------------

In una comunicazione datata 20 marzo 1800 e indirizzata al presidente della Royal Society, sir Joseph Banks, Volta annuncia alla comunità scientifica l'invenzione della pila (o "apparato elettromotore" o "apparato a colonna"), da lui qui chiamata "organo elettrico artificiale" e paragonata all'organo elettrico del pesce Raja Torpedine. La comunicazione viene pubblicata sulle "Philosophical Transactions" con il titolo *On the Electricity excited by the mere Contact of conducting Substances of different Kinds*. Dopo la vittoria di Marengo sugli austriaci (14 giugno 1800), il primo console Napoleone Bonaparte riapre l'Università e reintegra i professori. Nel mese di giugno Napoleone conferma con decreto Volta professore di Fisica sperimentale nell'Università di Pavia e direttore del "Gabinetto di fisica".

Breve storia delle scoperte scientifiche

Nel settembre 1801, con il collega Luigi Valentino Brugnatelli, Volta si reca a Parigi per presentare al primo console gli omaggi dell'Università di Pavia e presentare la sua scoperta. Il 7 novembre, in una seduta plenaria dell'Institut de France, Volta presenta a Napoleone Bonaparte la pila e legge la sua *Memoria sull'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvaniano*. Al colmo dell'entusiasmo e dell'ammirazione, Napoleone propone che l'Accademia lo onori della medaglia d'oro (poi conferita nella sessione del 2 dicembre), lo nomina membro straniero dell'Institut e gli assegna una donazione e un vitalizio. Nel dicembre Volta e Brugnatelli vengono nominati membri del Congresso di Lione per la Repubblica Cisalpina.

Intanto, oltreoceano,

PRIMO BATTELLO A VAPORE	1801	Robert Fulton, USA
-------------------------	------	--------------------

Nel 1802 Volta viene nominato da Napoleone membro dell'Istituto lombardo di scienze e lettere. La prima sessione dell'Istituto è presieduta dallo stesso Volta. Nel 1805 Volta è nominato da Napoleone membro della Legion d'onore. Nel 1809 Alessandro Volta viene nominato senatore del Regno d'Italia da Napoleone e sempre Napoleone nel 1810 lo nomina conte del Regno d'Italia con titolo trasmissibile alla discendenza diretta per ordine di primogenitura. Nel 1814 gli muore il figlio prediletto Flaminio. Nel 1816 vengono pubblicate le *Opere di Volta* in cinque volumi, a cura di Vincenzo Antinori di Firenze.

Nel 1819 Volta si sarebbe ritirato a vita privata, dividendosi tra Como e la casa di campagna di Camnago (successivamente Camnago Volta, in suo onore), dove sarebbe morto il 5 marzo del 1827 all'età di 82 anni.

Ma nel frattempo un'altra grande teoria è apparsa nel mondo della Scienza.

TEORIA ATOMICA DI DALTON	1803	John Dalton, Inghilterra
--------------------------	------	--------------------------

JOHN DALTON (Eaglesfield, nei pressi di Cockermouth nel Cumberland, 6 settembre 1766 – Manchester, 27 luglio 1844) fu allievo di suo padre (che faceva il tessitore) e all'età di dodici anni insegnava già lui stesso a una scuola privata a Kendall. Più tardi, nel 1793, si trasferì a Manchester, dove restò per tutta la vita a fare l'insegnante di fisica e matematica e il ricercatore al New College. Appassionato di meteorologia, fu indotto a interessarsi delle proprietà dei gas; pubblicò i risultati dei suoi studi nel 1803.

Nel 1803, John Dalton per primo cercò di descrivere l'atomo e lo fece basandosi su due delle tre leggi fondamentali della chimica (la terza la formulò lui stesso nel 1808). Dalton, per creare il suo modello atomico, si basò su dei punti fissi; ognuno di essi sarà in accordo con le due leggi fondamentali (e ovviamente anche con quella che formulerà egli stesso). In particolare, i primi tre punti

implicano che in una reazione chimica gli atomi rimangono invariati in numero e in massa e ciò è in accordo con la legge di conservazione della massa di Lavoisier, mentre il punto quattro è in accordo con la legge delle proporzioni definite di Proust.

1. La materia è formata da atomi piccolissimi, indivisibili e indistruttibili.
2. Tutti gli atomi di uno stesso elemento sono identici e hanno uguale massa.
3. Gli atomi di un elemento non possono essere convertiti in atomi di altri elementi.
4. Gli atomi di un elemento si combinano, per formare un composto, solamente con numeri interi di atomi di altri elementi.
5. Gli atomi non possono essere né creati né distrutti, ma si trasferiscono interi da un composto ad un altro.

Dalton stesso enunciò la legge delle proporzioni multiple: “Quando un elemento si combina con la stessa massa di un altro elemento, per formare composti diversi, le masse del primo elemento stanno tra loro in rapporti semplici, esprimibili mediante numeri interi e piccoli.”

Probabilmente Dalton immaginò l'atomo come una microscopica sfera completamente piena e indivisibile ma, come in seguito dimostrarono le esperienze di Thomson e Rutherford, si scoprì che esso poteva essere scomposto (dividendo così il nucleo dagli elettroni) e che era quasi interamente vuoto (essendo la massa concentrata quasi del tutto nel nucleo).

Altri errori dello scienziato inglese furono il ritenere che i composti si producessero quantitativamente nel modo più semplice possibile (punto 4) e che gli elementi puri fossero composti da singoli atomi (mentre questo avviene solo per i gas nobili).

Dalton si interessò inoltre ai problemi della vista e descrisse il daltonismo, un difetto di cui egli stesso soffriva. In seguito divenne membro della Royal Society di Londra, la più grande società culturale inglese dell'epoca.

LOCOMOTIVA A VAPORE SU ROTAIA	1804	Richard Trevithick, Inghilterra
-------------------------------	------	---------------------------------

La locomotiva era una macchina che poteva correre su delle rotaie: le ruote erano messe in movimento dalla macchina a vapore inventata qualche anno prima.

Nel 1808 Dalton, basandosi sui propri esperimenti, nei quali faceva reagire la stessa quantità di carbonio con diverse quantità di ossigeno, formulò la terza (in ordine di tempo) legge fondamentale della chimica, la legge delle proporzioni multiple: *Se due elementi si combinano tra loro, formando composti diversi, le quantità di uno*

Breve storia delle scoperte scientifiche

di essi che si combinano con una quantità fissa dell'altro stanno fra loro in rapporti razionali, espressi da numeri interi e piccoli.

LEGGE DEI VOLUMI	1808	Gay-Lussac
------------------	------	------------

La legge dei volumi di Gay-Lussac del (1808) portò ad alcune contraddizioni con la teoria di Dalton che arrivò persino a rifiutare in blocco la legge del fisico francese.

La soluzione al problema fu trovata dal fisico italiano Avogadro grazie all'introduzione del concetto di molecola.

DRAISINA	1816	Karl Drais von Sauerbronn, Germania
----------	------	-------------------------------------

Era una specie di bicicletta senza pedali e senza catena, veniva spinta con i piedi.

SCAFANDRO	1819	Augustus Siebe
-----------	------	----------------

Augustus Siebe costruisce il primo scafandro. Lo scafandro è un'attrezzatura protettiva che consente all'uomo di immergersi sott'acqua anche a grandi profondità. È costituita da una tuta impermeabile, munita di casco metallico ermeticamente chiuso, all'interno dei quali, attraverso speciali tubi, viene immessa dell'aria per consentire all'uomo immerso (palombaro) di respirare.

LA CORRENTE PRODUCE UN CAMPO MAGNETICO	1820	Hans Christian Ørsted, Danimarca
---	------	----------------------------------

Nel 1820 il fisico e chimico danese Hans Christian Ørsted scoprì che l'ago della bussola devia dal polo nord magnetico se viene avvicinato a un cavo in cui passa corrente elettrica: elettricità e magnetismo erano dunque fenomeni collegati. In realtà, il fenomeno era già stato osservato dall'italiano Gian Domenico Romagnosi nel 1802, ma questi era stato miscreduto dalla comunità scientifica di allora.

L'annuncio della scoperta provocò grande interesse negli ambienti accademici, André-Marie Ampère ripeté l'esperimento e formulò il principio dell'elettromagnetismo in forma matematica.

HANS CHRISTIAN ØRSTED era nato il 14 agosto 1777 da Søren Christian Ørsted e Karen Hermansen. Suo padre era farmacista di Rudkøbing, sull'isola di Langeland. Il fratello Anders sarebbe diventato professore di diritto e importante politico.

Nel 1790 Hans aveva superato con il massimo dei voti l'esame di farmacia, e all'inizio dell'anno 1800 aveva iniziato a studiare i fenomeni di galvanizzazione. Nel 1801 aveva ottenuto una borsa di studio che gli aveva permesso di viaggiare in Germania e in Francia; nel corso di questo viaggio aveva conosciuto il fisico tedesco Johann Ritter, che l'avrebbe influenzato molto.

Tornato in patria nel 1806, Ørsted era diventato un professore all'università di Copenaghen, lì le sue prime ricerche si erano focalizzate sulle correnti elettriche e sull'acustica. Nel 1814 aveva sposato Brigitte Ballun, da cui ebbe cinque figlie e tre figli; nel 1815 era divenuto segretario della Accademia Danese delle Scienze e delle Lettere.

Ørsted compì anche studi sulla compressione dei gas e dei liquidi e sui materiali diamagnetici, scoprì la piperina, un alcaloide presente nel pepe, e produsse per la prima volta l'alluminio.

Nel 1824 fondò la Società per la Diffusione delle Scienze Naturali, ancora esistente ed attiva, che dal 1908 assegna la Medaglia Ørsted, un importante riconoscimento destinato a coloro che si distinguono nel campo della fisica.

Oltre alle sue opere scientifiche, scrisse anche opere di poesia e prosa: poco prima della sua morte pubblicò una serie di articoli con il titolo L'anima nella natura, in cui espresse i fondamenti della sua filosofia.

Alla morte, avvenuta il 9 marzo 1851, Hans Christian Ørsted fu sepolto nell'ala Nørrebro del cimitero di Copenaghen. L'unità di misura del campo magnetico nel Sistema CGS sarebbe stata chiamata "Oersted" in suo onore.

MIETITRICE MECCANICA	1831	Cyrus McCormick, USA
----------------------	------	----------------------

La mietitrice era trainata da cavalli e aveva dei meccanismi che le permettevano di tagliare il grano. In un'ora riusciva a compiere il lavoro che un uomo avrebbe svolto in 2 giorni.

TELEGRAFO A CINQUE AGHI	1837	William Cooke e Charles Wheatstone, Inghilterra
-------------------------	------	---

Il telegrafo serve a inviare dei messaggi scritti a distanza tramite dei cavi elettrici. Le lettere dell'alfabeto sono stampate su 5 o 6 quadranti, facendo passare la corrente si crea un campo magnetico, l'ago si muove e indica una determinata lettera.

DAGHERROTIPO	1839	Louis Daguerre, Francia
--------------	------	-------------------------

Il dagherrotipo è l'antenato della fotografia. È composto da una lastra di rame rivestita da un sottile strato di argento su cui rimane impressa l'immagine che arriva dall'obiettivo della macchina fotografica.

BICICLETTA A PEDALI	1839	Kirkpatrick Macmillan, Scozia
---------------------	------	-------------------------------

TELEGRAFO A FILO UNICO	1844	
------------------------	------	--

Breve storia delle scoperte scientifiche

Il telegrafo elettrico impiega un unico filo per trasmettere le lettere che sono rappresentate da una sequenza di linee e di punti prodotta da impulsi elettrici più o meno lunghi: ad esempio un impulso breve (bip) seguito da uno lungo (biiiiip) significa A.

ALFABETO MORSE	1844	Samuel Morse, USA
----------------	------	-------------------

Nel 1844 lo statunitense Samuel Morse inventò il suo celebre ALFABETO MORSE, che trasformava le lettere alfabetiche in sequenze di impulsi di diversa durata (punti e linee). Si usava con il telegrafo ma poteva essere usato anche con altri strumenti che permettessero di produrre suoni di diversa durata.

MACCHINA DA CUCIRE ELETTRICA	1851	Isaac Singer, USA
------------------------------	------	-------------------

DIRIGIBILE	1852	Henry Giffard, Francia
------------	------	------------------------

ASCENSORE	1854	Elisha Graves Otis, USA
-----------	------	-------------------------

TELEFONO	1856	Antonio Meucci, Italia
----------	------	------------------------

DINAMO	1859	Antonio Pacinotti, Italia
--------	------	---------------------------

La dinamo è una macchina che, facendo ruotare un magnete, produce una corrente elettrica.

PANTELEGRAFO (FAX)	1860	Giovanni Caselli, Italia
--------------------	------	--------------------------

Il pantelegrafo è l'antenato del fax, serviva a trasmettere a distanza un'immagine o un testo scritto utilizzando i fili del telegrafo. Poteva riprodurre qualunque segno effettuando una scansione per linee successive.

EQUAZIONI DI MAXWELL	1864	James Clerck Maxwell, Scozia
----------------------	------	------------------------------

Nel 1864 il trentatreenne fisico scozzese James Clerck Maxwell presentò alla Royal Society "*A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*" dove per la prima volta propose che la natura ondulatoria della luce fosse la causa dei fenomeni elettrici e magnetici. In esso erano contenute le sue quattro celebri equazioni differenziali (originariamente erano venti, ma poi ridotte a quattro) con le quali unificava i lavori sull'elettricità e il magnetismo di Michael Faraday e André-Marie Ampère: le equazioni descrivevano il campo elettrico e quello magnetico, e le loro interazioni con la materia. Le equazioni prevedevano l'esistenza di onde elettromagnetiche, ossia di oscillazioni del campo elettromagnetico. Tuttavia, egli era ancora legato alla teoria classica della propagazione della luce attraverso l'etere

luminifero, un mezzo ineffabile e sfuggente ad ogni misurazione sperimentale che avrebbe permeato lo spazio vuoto.

JAMES CLERCK MAXWELL era nato il 13 giugno 1831 a Edimburgo da John Clerk Maxwell e Frances Cay. Crebbe nella tenuta del padre nella campagna scozzese. Tutti gli indizi suggeriscono che Maxwell avesse un'instancabile curiosità fin da bambino. Sua madre Frances - rendendosi conto delle sue potenzialità - ebbe un ruolo influente nella sua educazione giovanile, ma sfortunatamente morì (probabilmente di cancro) nel 1839 quando Maxwell aveva solo otto anni. Dopo la morte della madre, il padre assunse un insegnante privato che impartisse a James la prime lezioni. Di questo giovane tutore è noto solo che i suoi metodi erano severissimi e non risparmiava punizioni corporali al ragazzo. James non reagì bene e il padre decise di mandarlo all'Accademia di Edimburgo. In quel luogo, Maxwell si trovò ben presto isolato per via della sua riservatezza e dei suoi modi strani oltre che per il suo accento scozzese. Fu soprannominato dai compagni di corso, "*Dafty*", che significa «sciocco». Maxwell comprendeva la geometria già in tenera età e riscoprì, ancora bambino, alcuni poliedri regolari. Nel 1846, a 14 anni, scrisse un articolo sulle ellissi dove studiava le curve a più fuochi ("*On the Description of Oval Curves, and those having a plurality of Foci*", 1846). Tuttavia, questo articolo, anche se notevole, non era molto profondo dal punto di vista matematico. Infatti, diversamente da altri grandi geni come Gauss, Pascal o Mozart, Maxwell non era un bambino prodigio.

A 16 anni, lasciò l'Accademia e si scrisse all'università di Edimburgo dove si distinse per le sue capacità. Poco tempo dopo, senza aver ancora ottenuto la laurea si spostò al Trinity College di Cambridge dove conobbe William Thomson, il futuro Lord Kelvin. Divenne membro del "*Club degli Apostoli*", il gruppo che riunisce i dodici migliori studenti del Trinity. Si laureò nel 1854 e rimase al college come insegnante fino al 1856. In questo periodo pubblicò due articoli che rivelarono le sue capacità: "*Sulle linee di forza di Faraday*" e "*Sull'equilibrio dei solidi elastici*".

Dal 1855 al 1872 pubblicò una serie di articoli connessi alla percezione del colore che gli valsero, nel 1860, la medaglia Rumford. Per queste ricerche, Maxwell inventò anche molti strumenti come il *disco di Maxwell*. Nel 1856, chiese il trasferimento al Marischal College, di Aberdeen per stare vicino al padre malato. Suo padre morì, ma Maxwell ebbe comunque la cattedra.

Nel 1859 vinse il premio Adams per un originale saggio ("*Sulla stabilità degli anelli di Saturno*") in cui dimostrava che la stabilità degli anelli poteva essere ottenuta solo se essi erano composti da pezzi di roccia orbitanti intorno al pianeta. Questo avvalorava la teoria secondo la quale il sistema solare si era formato da una nebulosa che aveva iniziato a ruotare su sé stessa.

Breve storia delle scoperte scientifiche

Nel 1859 sposò Katherine Mary Deward, figlia del rettore del college, ma questo non gli impedì di perdere il posto quando il Marischal College si fuse con il King's College di Aberdeen per costituire l'Università di Aberdeen. Fece domanda per avere una cattedra ad Edimburgo ma gli fu preferito l'amico Peter Tait. Riuscì, comunque, ad ottenere un posto al King's College di Londra.

Nel 1864 la pubblicazione delle sue quattro equazioni. Le principali linee guida del pensiero di Maxwell erano identificabili in:

1. ricerca dell'unità (unificazione);
2. rifiuto di ipotesi microscopiche;
3. enfasi sui risultati sperimentali.

Come metodo di indagine teorica, Maxwell premiava l'analogia perché, secondo lui, in grado di gettar luce sui campi della scienza meno noti, partendo dalle leggi che governano fenomeni meglio conosciuti. Ma questo metodo, sebbene efficace, dev'essere usato, per Maxwell, con consapevolezza per non vanificare gli sforzi e trasformare «*utili aiuti in fuochi fatui*» («*useful helps into Wills of the Wisp*», da *Essey for the Apostles on Analogies in Nature*).

Maxwell cercò - sulla base dei dati disponibili all'epoca - di misurare sperimentalmente la velocità di queste onde ottenendo il risultato di 310.740.000 m/s. Nel 1865 scriveva: «Questa velocità è così vicina a quella della luce che ho ragione di supporre che la luce stessa sia un'onda elettromagnetica». Maxwell era nel giusto e la scoperta delle altre onde elettromagnetiche fu uno dei trionfi assoluti della fisica ottocentesca. Nel 1865, abbandonò, per motivi ancora oggi misteriosi, la sua cattedra al King's College per ritirarsi nella sua tenuta di Glenlair, in Scozia.

Altro risultato notevole di Maxwell fu l'elaborazione di un **modello fisico-statistico per la teoria cinetica dei gas**. Proposta per la prima volta da Daniel Bernoulli, questa teoria era stata successivamente sviluppata da vari scienziati tra cui John Herapath, John James Waterston, James Prescott Joule e, soprattutto, Rudolf Clausius, ma ricevette uno sviluppo enorme dall'intuizione di Maxwell. Nel 1866, il fisico scozzese formulò - indipendentemente da Ludwig Boltzmann - la distribuzione di Maxwell-Boltzmann, una distribuzione di probabilità che può essere utilizzata per descrivere la distribuzione di velocità delle molecole di un dato volume di gas a una data temperatura. Questo approccio permise a Maxwell di generalizzare le leggi della termodinamica precedentemente stabilite e fornire una migliore spiegazione alle osservazioni sperimentali. Tale lavoro lo portò, in seguito, a condurre l'esperimento mentale del *diavolello di Maxwell*.

DINAMITE	1867	Alfred Nobel, Svezia
MACCHINA PER SCRIVERE	1868	Christopher Sholes, USA

MOTORE A SCOPPIO	1876	Nikolaus August Otto, Germania
------------------	------	--------------------------------

Il motore a scoppio è quello che usano le automobili a benzina. Si chiama “a scoppio” perché il movimento trae origine dall’esplosione di un miscuglio di aria e benzina provocata da una scintilla. Alcuni meccanismi collegati tra di loro trasformano il movimento verticale provocato dallo scoppio in una rotazione che si trasmette agli ingranaggi e infine alle ruote.

FRIGORIFERO	1876	Karl von Linde, Germania
FONOGRAFO	1877	Thomas Edison, USA

Il **fonografo** è l’antenato del giradischi. Il suono era inciso su un rullo di cera che un motore elettrico faceva ruotare. Una specie di ago passava nei solchi e riproduceva il suono.

SCOPERTA DEL CONO DI MACH	1877	Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach, Austria
---------------------------	------	--

Nel 1877 il 39enne fisico austriaco Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach pubblicò un articolo che descriveva il moto supersonico di un proiettile; dedusse e confermò sperimentalmente l’esistenza dell’effetto oggi conosciuto come cono di Mach. In suo onore il rapporto tra la velocità di un moto in un fluido e la velocità del suono in tale fluido prende oggi il nome di **numero di Mach**.

TRENO ELETTRICO	1879	Werner von Siemens, Germania
LAMPADINA	1879	Thomas Edison, USA
PELLICOLA FOTOGRAFICA	1880	George Eastman, USA

ESPERIMENTO DI MORLEY	1881	Morley
-----------------------	------	--------

La fisica nel XIX secolo postulava che le onde (luminose, sonore, etc.) dovessero avere un mezzo che consentisse la loro propagazione nello spazio. Nel caso della luce si era ipotizzata l’esistenza di un “etere luminifero” come mezzo di propagazione, anche al fine di conciliare le ultime conquiste dell’elettromagnetismo, riassunte nelle equazioni di Maxwell, con la relatività galileiana. Tali equazioni infatti risultavano avere forme diverse a seconda del sistema di riferimento inerziale scelto. Il nuovo etere luminifero era figlio di quello che i fisici del XVIII secolo ritenevano essere la sostanza che riempiva di sé l’universo: essi ritenevano che ogni corpo in movimento nell’universo producesse un vento d’etere che si muoveva alla stessa velocità del corpo in movimento ma con direzione opposta. Per esempio, la Terra si muove nell’universo a 30 km/s perciò ci dovrebbe essere un vento a 30 km/s che spazzerebbe la Terra in

Breve storia delle scoperte scientifiche

direzione opposta al proprio cammino. Qualsiasi cosa immersa nell'etere sarebbe influenzata dal vento, compresa la luce.

Nel 1881 Albert Abraham Michelson, che aveva insegnato fisica all'istituto di Cleveland in Ohio, decise di provare a misurare la velocità della luce in diverse direzioni per vedere se si trovava traccia del vento d'etere, usando a tale scopo uno strumento da lui stesso ideato che successivamente prese il nome di interferometro di Michelson. L'interferometro permette di suddividere un fascio di luce in due fasci che viaggiano seguendo cammini perpendicolari e vengono poi nuovamente fatti convergere su uno schermo, formandovi una figura di interferenza. Un eventuale vento d'etere avrebbe comportato una diversa velocità della luce nelle varie direzioni e, di conseguenza, uno scorrimento delle frange di interferenza al ruotare dell'apparato rispetto alla direzione del vento d'etere. Utilizzando questo dispositivo sperimentale Michelson effettuò nel 1881 un certo numero di misure, non rilevando lo spostamento minimo previsto delle frange di interferenza (i dati vennero pubblicati da Michelson nello stesso anno). Tuttavia il suo apparecchio prototipale non aveva la precisione sufficiente per escludere con certezza l'esistenza del movimento nell'etere.

Lo spettro dell'idrogeno secondo Balmer

All'inizio degli anni Ottanta del XIX secolo erano noti moltissimi spettri di emissione di luce proveniente dagli atomi: ovvero delle linee discrete e ben distinte poste a differenti frequenze. Una delle prime osservazioni interessanti avvenne nel 1884 quando Johann Balmer, insegnante svizzero, osservò che alcune righe dello spettro di emissione dell'idrogeno potevano essere calcolate utilizzando la formula:

Balmer suppose che tale formula fosse, in realtà, un caso particolare di una legge più generale, che venne trovata da Johannes Rydberg e Walter Ritz e nota come legge di Rydberg-Ritz:

con $n_1 > n_2$ ed R la costante di Rydberg.

Con questa legge fu possibile completare lo spettro osservato da Balmer e si riescono ad ottenere anche le serie di Lyman ($n_2=1$) e Paschen ($n_2=3$).

Furono fatti numerosi tentativi per spiegare teoricamente tali osservazioni sperimentali, ma il meglio che si riuscì a realizzare fu il modello di Thomson, lo scopritore dell'elettrone, che suppose che l'atomo fosse un corpo compatto contenente al suo interno sia la carica positiva, che quella negativa. Tale modello aveva, però, una pecca: poiché si basava solo sulla presenza delle forze elettriche,

non era in grado di spiegare come mai il sistema fosse all'equilibrio, né Thomson riuscì mai a determinare una frequenza tra quelle osservate.

MOTORE ELETTRICO	1885	Galileo Ferraris, Italia
MOTOCICLETTA	1885	Gottlieb Daimler, Germania
AUTOMOBILE	1885	Karl Benz, Germania

SCOPERTA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE	1885	Heinrich Rudolf Hertz, Germania
---------------------------------------	------	---------------------------------

Intorno alla metà degli anni Ottanta **Heinrich Rudolf Hertz** dimostrò l'esistenza delle onde elettromagnetiche con un apparato di sua costruzione, il dipolo hertziano, in grado di emettere onde radio. Per qualche tempo tali onde saranno chiamate "onde hertziane".

HEINRICH RUDOLF HERTZ era nato ad Amburgo il 22 febbraio 1857, in una famiglia di origini ebraiche convertitasi al Cristianesimo. Suo padre era consigliere della città e sua madre figlia di un medico. Durante la frequenza dell'università a Berlino aveva mostrato attitudine per le scienze e anche le lingue, imparando l'arabo e il sanscrito. Studiò scienze e ingegneria nelle città tedesche di Dresda, Monaco di Baviera e Berlino. Fu anche studente di Gustav Robert Kirchhoff ed Hermann von Helmholtz.

Laureatosi nel 1880 rimase un pupillo di Helmholtz fino al 1883 quando ottenne la posizione di lettore di fisica teorica all'università di Kiel. Nel 1885 ricevette la cattedra all'Università di Karlsruhe e nello stesso periodo compì la scoperta delle onde elettromagnetiche (per un certo tempo denominate *onde hertziane*).

In seguito all'esperimento eseguito da Michelson nel 1881 che escludeva l'esistenza dell'etere, egli riformulò le equazioni di Maxwell per tenere conto della novità. Con un esperimento egli dimostrò che dei segnali elettrici potevano essere inviati attraverso l'aria, come già predetto da James Clerk Maxwell e Michael Faraday e pose le basi per l'invenzione della radio. Egli scoprì inoltre l'effetto fotoelettrico (la cui spiegazione teorica fu successivamente elaborata da Albert Einstein) osservando che oggetti elettricamente carichi perdevano la carica se esposti alla luce ultravioletta.

Morì per granulomatosi di Wegener all'età di trentasei anni a Bonn, in Germania il 1 gennaio 1894.

In suo onore, nel sistema internazionale la frequenza è misurata in hertz.

NUOVO ESPERIMENTO ALLA RICERCA DELL'ETERE	1887	Michelson questa volta in collaborazione con Morley
---	------	---

Breve storia delle scoperte scientifiche

Essendo i margini di errore del primo esperimento troppo ampi per poter escludere la presenza del vento d'etere, Michelson decise di effettuare esperimenti più precisi e, nel 1887, si mise in contatto con Edward Morley, che offrì il suo seminterrato per il nuovo esperimento. A tale scopo venne utilizzato un interferometro montato su una lastra di pietra quadrata di 15 cm di lato e circa 5 cm di spessore. Per eliminare le vibrazioni la lastra veniva fatta galleggiare su mercurio liquido. Questo accorgimento permetteva di mantenere la lastra orizzontale e di farla girare attorno ad un perno centrale. Un sistema di specchi inviava il raggio di luce per un percorso di otto viaggi di andata e ritorno allo scopo di rendere il viaggio del raggio di luce più lungo possibile.

Anche con il nuovo esperimento non si trovò traccia di un vento d'etere in quanto la velocità della luce era indipendente dalla direzione e di poco inferiore a 300000 km/s. La cosa non accadde neanche ripetendo l'esperimento a distanza di tempo e di luogo.

Se si ipotizza che la Terra non sia ferma rispetto all'etere, fallisce la legge di composizione galileiana delle velocità nel caso della luce, poiché appunto la luce non viene "trascinata" da nessun mezzo fisico. Tre spiegazioni sono possibili al fallimento dell'esperienza di Michelson e Morley:

- a) la Terra è ferma rispetto all'etere;
- b) il braccio dell'interferometro nella direzione del moto dell'etere si accorcia (contrazione di Fitzgerald);
- c) la velocità della luce è la medesima in tutte le direzioni (sarà la posizione di Einstein).

LE STRANE INTUIZIONI DI HEAVISIDE

Oliver Heaviside (Londra, 18 maggio 1850–Torquay, 3 febbraio 1925) era un matematico, un fisico e un ingegnere. Adattò i numeri complessi allo studio dei circuiti elettrici, sviluppò tecniche per applicare la trasformata di Laplace alla risoluzione di equazioni differenziali, riformulò le equazioni di Maxwell in termini di forze magnetiche ed elettriche e di flusso, e coformulò indipendentemente il calcolo vettoriale.

Sebbene non fosse in buoni rapporti col mondo scientifico del tempo per buona parte della sua vita, Heaviside cambiò lo studio della matematica e della scienza degli anni a venire.

CONTRAZIONE DI FITZGERALD	1889	FitzGerald
---------------------------	------	------------

Nel 1889, dopo aver letto un articolo di Heaviside in cui si mostrava che i campi elettrico e magnetico erano deformati dal moto, FitzGerald dedusse che similmente, quando un corpo si muove attraverso lo spazio subisce una deformazione causata dal movimento, e questo può spiegare il risultato nullo

dell'esperimento di Michelson e Morley. FitzGerald suggerì la contrazione in una lettera del 1889 a *Science*.

CALCOLATRICE	1890	Herman Holerith, USA
--------------	------	----------------------

In occasione del censimento statunitense del 1890 la macchina tabulatrice di Herman Holerith fu pronta appena in tempo: aveva come base l'idea delle schede perforate di Charles Babbage, ma in questo caso le schede non specificavano il programma, bensì gli input e gli output. Ogni scheda rappresentava delle risposte (per esempio "maschio" poteva essere rappresentato da una perforazione e "femmina" dalla mancanza di perforazione), usando un particolare codice (chiamato "codice Hollerith"); la macchina era collegata ad un circuito elettrico, che veniva acceso o spento a seconda della presenza o meno dei buchi nelle schede (che avevano la stessa forma di una banconota da un dollaro, per agevolare i depositi). In particolare, una scheda era divisa in 288 zone che rappresentavano i dati anagrafici. Per decodificare queste informazioni, si sovrapponeva in ogni scheda un apparecchio con una batteria di aghi retrattili, che in assenza di perforazione venivano fermati dal cartoncino, altrimenti l'ago finiva in una vaschetta piena di mercurio, chiudendo il circuito. La corrente passava in un filo, azionando un relè, che faceva avanzare di uno scatto uno dei 40 contatori (i contatori servivano per registrare le diverse risposte di un utente).

HERMAN HOLLERITH era nato il 29 febbraio 1860, a Buffalo, da George e Franciska Hollerith, immigrati tedeschi. Dopo aver frequentato il *City College* di New York, Hollerith aveva continuato i suoi studi, iscrivendosi al corso di laurea di ingegneria mineraria presso la *School of Mines* della *Columbia University*. Dopo la laurea, era rimasto all'università come assistente del professore Trowbridge, il quale l'aveva condotto a lavorare al censimento americano – si stava ancora preparando quello del 1880 – e cercavano persone con una certa esperienza statistica: un ruolo perfetto per il giovane studente. Lì Hermann aveva conosciuto John S. Billings, che per primo gli aveva fatto balenare la necessità che venisse inventato un mezzo meccanico e automatizzato per contare gli innumerevoli dati del censimento. Dopo il censimento, Hollerith aveva lavorato come professore di ingegneria meccanica, presso il *Massachusetts Institute of Technology*; in seguito si era trasferito a St. Louis (nel Missouri), dove aveva sperimentato sistemi di frenatura ferroviaria. E fu in un viaggio sul treno verso Washington D.C., che Hollerith, guardando il controllore mentre osservava i biglietti dei passeggeri, ebbe l'intuizione che per risolvere il problema del censimento si dovevano usare schede perforate.

Nel 1884, Herman, tornato a *Washington DC*, lavorò per l'United States Patent and Trademark Office, mentre durante il suo tempo libero cominciò a

Breve storia delle scoperte scientifiche

costruire una macchina tabulatrice, sperando che fosse pronta in tempo per il censimento del 1890. L'invenzione di Herman dovette competere contro altre due (una delle quali era quella a gettoni proposta da Pidgin) ma Herman fu il vincitore, poiché il suo sistema era due volte più veloce.

Nel 1890, usando la sua invenzione come tesi, Herman vinse un dottorato di ricerca alla *Columbia University* e nello stesso anno sposò Lucia Talcott Hollerith. Herman avrebbe lavorato per il censimento fino al 1896, quando avrebbe fondato la propria azienda, la *Tabulating Machine Company* che, dopo varie fusioni e cambiamenti di nome, diventerà nel 1924, la *International Business Machines Corporation* (IBM).

Nel 1929, all'età di 69 anni, Hollerith sarebbe morto a seguito di cardiopatia.

ALIANTE	1891	Otto Lilienthal, Germania
---------	------	---------------------------

CONTRAZIONE DI LORENTZ	1892	Lorentz
------------------------	------	---------

La lettera di Fitzgerald a *Science* sulla contrazione delle lunghezze era rimasta inosservata tre anni finché Lorentz, nel 1892, mostrò come un simile effetto dovesse essere ottenuto basandosi sulla teoria elettromagnetica e sulla teoria elettronica della materia. Quando un corpo si muove attraverso lo spazio la sua dimensione parallela alla sua traiettoria si riduce di una quantità dipendente dalla velocità. Se la velocità del corpo è v e la velocità della luce è c , la contrazione è

nella proporzione $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} : 1$

Per la Terra che si muove a circa 30 km/s, la contrazione risulta essere circa di una parte su 200.000.000, che si traduce in circa 6 cm sul diametro della Terra. Questo piccolo cambiamento dà ragione del risultato negativo dell'esperimento di Michelson e Morley, causando che la sorgente della luce e lo specchio fossero più vicini quando questi erano disposti lungo la direzione del moto della Terra.

FUNZIONE GRADINO DI HEAVISIDE	1893	Oliver Heaviside, Inghilterra
-------------------------------	------	-------------------------------

Oliver Heaviside propone la sua *funzione gradino* usata ad esempio proprio nello studio dei circuiti, la cui derivata è la famosa *delta di Dirac*. Le proprietà così peculiari di questi strumenti matematici suscitarono uno scalpore tale che Heaviside fu espulso dalla Royal Society per *indegnità teorica*. Paul Dirac, appunto, mostrerà in seguito quanto pregevoli fossero invece quelle intuizioni

CINEMATOGRAFO	1895	Fratelli Lumiere, Francia
---------------	------	---------------------------

RADIOTELEGRAFO	1896	Guglielmo Marconi, Italia
----------------	------	---------------------------

Il radiotelegrafo è un telegrafo senza fili che trasmette i messaggi facendoli “trasportare” da particelle che viaggiano nello spazio sotto forma di onde. Le onde in questione si chiamano onde radio, sono dello stesso tipo dei raggi luminosi ma hanno una diversa lunghezza d’onda che le rende invisibili all’occhio umano. Le prime onde radio non trasmettevano la voce ma solo testi in codice Morse.

SCOPERTA DELL'ELETTRONE	1897	Joseph John Thomson, Scozia
-------------------------	------	-----------------------------

JOSEPH JOHN THOMSON era nato a Cheetham, nei pressi di Manchester, il 18 dicembre del 1856 da genitori scozzesi, Joseph James ed Emma Swindells, aveva studiato ingegneria all’*Owens College* (oggi parte dell’Università di Manchester), per poi andare al Trinity College di Cambridge. Nel 1884 era diventato *Cavendish Professor* in fisica all’Università di Cambridge. Quindi, nel 1890, aveva sposato Rose Paget: dal loro matrimonio erano nati due figli. Influenzato dagli studi di Maxwell e dalla scoperta dei raggi X, Thomson aveva dedotto che i raggi catodici erano composti da particelle di carica negativa, che aveva chiamato *corpuscoli*, e che sono oggi noti come **elettroni**. In precedenza (nel 1094) George Johnstone Stoney aveva presupposto l’elettrone come l’unità di carica in elettrochimica, ma Thomson comprese subito che in realtà esso era una particella subatomica, la prima ad essere scoperta. La sua scoperta gli portò una certa notorietà e gli avrebbe consentito di vincere il Nobel in fisica nel 1906: per ironia della sorte il figlio George Paget Thomson riceverà alcuni anni più tardi (nel 1937) lo stesso premio ma per aver dimostrato che l’elettrone è, di fatto, un’onda.

REGISTRATORE	1898	Valdemar Poulsen, Danimarca
MOTORE DIESEL	1900	Rudolf Diesel, Germania

Il motore diesel funziona come il motore a scoppio ma l’accensione della miscela di aria e carburante (gasolio, in questo caso) non avviene con una scintilla, ma attraverso la compressione. Più la miscela di aria e carburante è compressa più si riscalda finché si accende da sola.

PRIMO VOLO IN DIRIGIBILE	1900	Ferdinand von Zeppelin, Germania
ASPIRAPOLVERE	1901	Hubert Booth, Inghilterra
AEROPLANO	1903	Wilbur e Orville Wright, USA

IL MODELLO ATOMICO A PANETTONE	1904	Joseph John Thomson
--------------------------------	------	---------------------

Breve storia delle scoperte scientifiche

Nel 1904 Joseph John Thomson, che sette anni prima aveva scoperto l'elettrone, propose il **modello atomico di Thomson** anche detto **modello a panettone** (in inglese, *plum pudding model*) dell'atomo. In questo modello, l'atomo è costituito da una distribuzione di carica positiva diffusa all'interno della quale sono inserite le cariche negative. Nel complesso l'atomo è elettricamente neutro. Il nome “*a panettone*” deriva dal fatto che le cariche negative sono inserite all'interno della distribuzione di carica positiva come i canditi in un panettone, allo stesso modo in inglese il modello è conosciuto come modello “*plum pudding*” (il *plum pudding* è un dolce natalizio inglese). Altri nomi del modello sono “*biscotto con scaglie di cioccolato*” (*chocolate chip cookie model*) o modello “muffin ai mirtilli” (*blueberry muffin model*).

<i>Annus mirabilis</i>	1905	Albert Einstein, Germania
------------------------	------	---------------------------

Nel **1905** irrompe (per modo di dire, perché tutto avviene abbastanza silenziosamente) sulla scena mondiale della fisica il tedesco naturalizzato svizzero **ALBERT EINSTEIN**. Era nato a Ulma nel Württemberg, in Germania da famiglia ebraica. Il padre era proprietario di una piccola azienda che produceva macchinari elettrici. Albert aveva frequentato una scuola elementare cattolica e, su insistenza della madre, gli furono impartite lezioni di violino. All'età di cinque anni suo padre gli aveva mostrato una bussola tascabile e il bambino aveva realizzato che qualcosa nello spazio “vuoto” agiva sull'ago spostandolo in direzione del nord; in seguito avrebbe descritto quest'esperienza come una delle più rivelatrici della sua vita. Benché avesse sviluppato modelli e dispositivi meccanici per divertimento, il suo ingresso nel mondo della scienza ufficiale avvenne abbastanza tardi, forse a causa della dislessia. Più tardi egli stesso avrebbe attribuito lo sviluppo delle teorie della relatività a questa sua lentezza, dicendo che pensando allo spazio e al tempo più tardi della maggior parte dei bambini, fu in grado di applicarvi uno sviluppo intellettuale maggiore.

Disavventure scolastiche, secondo E. Segrè

“Albert [...] per quanto desse ai familiari segni di ingegno precoce, non si distinse a scuola. Giunto alle scuole medie, trovò disgustoso il sistema di insegnamento tedesco e entrò in conflitto coi professori che da parte loro lo maltrattavano. [...] Rovesci di fortuna fecero emigrare la famiglia a Milano e Einstein, lasciato a Monaco a finire i suoi studi, si dette per malato e raggiunse i suoi in Italia. [...] Poi cercò di essere ammesso al Politecnico di Zurigo, ma non avendo la regolare licenza media fu rifiutato e non riuscì nemmeno a superare gli esami di ammissione, per quanto eccellesse in matematica e fisica. Andò allora per un anno a fare studi di riparazione al Gymnasium di Aarau [...] Finalmente, entrato al Politecnico di Zurigo, ...” Emilio Segrè, *Personaggi e scoperte nella fisica contemporanea*, Edizioni scientifiche e tecniche (EST) Mondadori, 1997. ISSN 0303-2752

La circostanza che il suo profitto in matematica fosse scarso è contestata. Nell'agosto 1886 infatti Albert riferì alla madre l'ottimo profitto scolastico: "Teri Albert ha ricevuto la pagella, che era brillante; è nuovamente il primo della classe".

Einstein cominciò a studiare matematica insieme a un amico di famiglia, Max Talmud, che gli procurò testi scientifici come gli Elementi di Euclide ma anche filosofici come la Critica della ragion pura di Kant. All'età di dieci anni iniziò a frequentare il Luitpold Gymnasium ma si rivelò ben presto insofferente al rigido ambiente scolastico, seppur riportando comunque buoni voti sia in matematica che in latino.

Suo zio Jakob, inoltre, lo metteva spesso alla prova con problemi matematici che risolveva brillantemente "provando un profondo senso di felicità".

A causa dei continui problemi economici la famiglia Einstein doveva trasferirsi spesso, sin da quando il piccolo Albert non aveva nemmeno due mesi di vita; prima a Monaco, poi nel 1894 a Pavia, dove aveva scritto il suo primo articolo scientifico, e, due anni dopo a Berna, in Svizzera. Quando la sua famiglia si era trasferita a Milano, Einstein, quindicenne, era rimasto in Germania per proseguire gli studi ma presto li avrebbe abbandonati invece di diplomarsi per seguire la famiglia.

Il suo fallimento all'esame d'ingresso presso il *Politecnico di Zurigo* (autunno 1895), tentato nonostante non avesse l'età minima richiesta e non superato per insufficienza nelle materie letterarie, fu una dura battuta d'arresto; fu mandato dalla sua famiglia ad Aarau, in Svizzera, per concludere gli studi superiori, dove ricevette il diploma nel 1896. Qui, all'età di diciassette anni rinunciò definitivamente alla cittadinanza tedesca. Nell'ottobre dello stesso anno superò l'esame di ammissione al Politecnico di Zurigo e vi si iscrisse.

Nel 1898, Einstein incontrò e si innamorò di Mileva Marić, sua compagna di studi serba (che aveva conosciuto Nikola Tesla, al tempo studente di matematica). Mileva era l'unica donna ammessa a frequentare il Politecnico Federale svizzero e fu presentata da Tesla a Einstein. Einstein concluse i suoi studi al Politecnico nel luglio del 1900, superando gli esami finali del diploma con la votazione di 4,9/6 e risultando quarto su cinque dei candidati in matematica e fisica; fra essi vi era anche Mileva Marić, la quale conseguì il voto di 4/6 e venne bocciata. Egli fu altresì l'unico dei diplomati in quell'occasione a non ottenere un posto come assistente al Politecnico di Zurigo.

Nel 1900 gli fu garantito un diploma da insegnante dall'Eidgenössische Technische Hochschule e fu accettato come cittadino svizzero nel 1901. In questo periodo Einstein discuteva dei suoi interessi scientifici con un ristretto gruppo di amici, inclusa Mileva. Lui e Mileva ebbero una figlia, Lieserl, nata nel gennaio 1902 e che morì, presumibilmente di scarlattina, l'anno seguente.

Breve storia delle scoperte scientifiche

Quel parto illegittimo compromise gli studi della giovane e promettente Mileva, che pure volontariamente decise di sacrificarsi per la famiglia e la carriera accademica di Albert. Nel 1903, Albert e Mileva si sposarono in Municipio e in seguito Mileva diede alla luce altri due figli: Hans Albert (1904) e Eduard (1910).

Dopo il diploma Einstein trovò lavoro all'ufficio brevetti di Berna. Insieme al suo amico e collega di lavoro, Michele Besso, aveva un gruppo di discussione chiamato "Accademia Olimpia" dove Einstein discuteva con i suoi amici di scienza e filosofia.

Nel **1905**, nel giro di sette mesi, Einstein pubblicò sei lavori:

1. un articolo sull'effetto fotoelettrico, ultimato il 17 marzo, concernente l'estrazione di elettroni da un metallo colpito da quanti di luce (poi denominati fotoni nel 1926), ossia da radiazione elettromagnetica. Questo studio, che gli sarebbe valso il premio Nobel per la fisica nel 1921, diede una grande spinta alla meccanica quantistica, che come teoria stava prendendo forma proprio in quegli anni (il concetto di quanto era stato ipotizzato nel 1900 da Max Planck);
2. la tesi di dottorato sul tema "Nuova determinazione delle dimensioni molecolari", pubblicata il 30 aprile. Sarebbe diventato lo scritto di Einstein più citato nella letteratura scientifica degli anni settanta;
3. un articolo, datato 11 maggio, sul moto browniano, che costituiva uno sviluppo della sua tesi di dottorato;
4. una prima memoria, in data 30 giugno, dal titolo *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento) che aveva come oggetto l'interazione fra corpi carichi in movimento e il campo elettromagnetico vista da diversi osservatori in stati di moto differenti. La teoria esposta nell'articolo, nota successivamente con il nome di *Relatività ristretta* (o *speciale*), risolveva i contrasti tra teoria meccanica e teoria elettromagnetica della luce che avevano caratterizzato la fisica dell'Ottocento, con una revisione dei concetti di spazio e di tempo assoluti;
5. un'altra memoria sulla relatività ristretta, datata 27 settembre, che conteneva la nota formula $E=mc^2$;
6. un altro articolo sul moto browniano, pubblicato il 19 dicembre.

Ognuno di questi lavori avrebbe segnato il percorso dello sviluppo delle scienze fisiche.

LAVATRICE	1906	Alva Fischer, USA
ATOMO DI RUTHERFORD	1909	Ernest Rutherford,

L'esperimento di Rutherford del 1909 (anche detto **esperimento di Geiger e Marsden**), effettuato per sondare la struttura dell'atomo eseguito da Hans Wilhelm Geiger e Ernest Marsden sotto la direzione di Ernest Rutherford al laboratorio di fisica dell'Università di Manchester e concepito per provare la validità del modello atomico di Thomson, diede dei risultati contrastanti rispetto a quel modello e portò alla concezione del modello atomico di Rutherford o modello planetario dell'atomo.

Un fascio di particelle alfa generate dal decadimento radioattivo di radio fu diretto ortogonalmente ad un foglio sottile d'oro. Il foglio d'oro era circondato da un foglio circolare ricoperto di solfuro di Zinco (ZnS) usato come rivelatore: il solfuro di Zinco emette scintille luminose quando viene colpito da particelle alfa.

Secondo il modello di Thomson, allora maggioritario, le particelle alfa avrebbero dovuto attraversare il foglio d'oro venendo deflesse al più di pochi gradi, anche considerando la possibilità di diffusione multipla: misurando la deflessione delle particelle si potevano ricavare informazioni sulla distribuzione di carica elettrica all'interno dell'atomo. Tuttavia venne osservato che alcune particelle (1/8000) venivano riflesse ad angoli anche maggiori di 90° . Questo era un evento completamente imprevisto, come risulta dalle parole di Rutherford: «It was quite the most incredible event that has ever happened to me in my life. It was almost as incredible as if you fired a 15-inch shell at a piece of tissue paper and it came back and hit you. On consideration, I realized that this scattering backward must be the result of a single collision, and when I made calculations I saw that it was impossible to get anything of that order of magnitude unless you took a system in which the greater part of the mass of the atom was concentrated in a minute nucleus. It was then that I had the idea of an atom with a minute massive centre, carrying a charge.»

Rutherford interpretò i risultati sperimentali in un lavoro del 1911 intitolato *“The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom”* (La diffusione di particelle α e β e la struttura dell'atomo).

Nell'articolo Rutherford rigettò definitivamente il “modello a panettone” di Thomson dato che secondo quel modello né le particelle con carica negativa (ossia gli elettroni), né la distribuzione di carica positiva che doveva contenerli sarebbero stati in grado di produrre deflessioni così marcate.

Rutherford quindi propose che la carica positiva dell'atomo fosse concentrata in uno spazio con un volume molto minore delle dimensioni atomiche, in questo modo era possibile spiegare le deflessioni osservate. Questa concentrazione centrale di carica, successivamente denominata nucleo atomico, portava a concludere che la maggior parte del volume atomico fosse costituito da spazio vuoto. Infatti, dalla conservazione dell'energia cinetica, fu in grado di calcolare che

Breve storia delle scoperte scientifiche

il raggio della carica centrale negli atomi d'oro doveva essere più piccolo di $3.4 \times 10^{-14}\text{m}$, mentre l'atomo d'oro aveva un raggio noto di 1.5×10^{-10} . Nello stesso articolo Rutherford affermava che non era possibile escludere che delle particelle con carica positiva ruotassero anch'esse attorno al nucleo, insieme agli elettroni tuttavia dichiarava anche:

«For concreteness, consider the passage of a high speed Alpha particle through an atom having a positive central charge Ne , and surrounded by a compensating charge of N electrons.»

L'atomo planetario proposto da Rutherford a seguito di quest'esperimento contrastava però con quanto previsto dalle leggi dell'elettrodinamica classica: . soffriva, come dire, di una instabilità elettromagnetica e di una instabilità meccanica: poiché l'elettrone, nel suo moto intorno al nucleo positivo, è sottoposto a un'accelerazione, esso irraggia energia elettromagnetica della stessa frequenza del suo moto di rivoluzione, finendo così per perdere energia e quindi cadere sul nucleo con un moto a spirale. Nel caso di atomi più pesanti, attorno ai quali ruotino più elettroni, questi ultimi sarebbero stati soggetti a una repulsione elettrostatica che avrebbe reso inoltre meccanicamente instabili le loro orbite, cosicché, a prescindere dall'irraggiamento, una qualsiasi perturbazione esterna sarebbe stata sufficiente ad alterare pesantemente la distribuzione di elettroni negli atomi.

SPETTROMETRO DI MASSA	1912	J. J. Thomson , USA
-----------------------	------	---------------------

Nel 1912 Thomson realizzò il primo **spettrometro di massa** (allora chiamato parabola spettrografica), uno strumento che consentiva di determinare il rapporto tra la massa e la carica degli ioni e che da allora è diventato uno strumento molto utilizzato nella chimica.

In quello stesso anno l'**esperimento di von Laue** dimostrò che i raggi X, scoperti da Rontgen nel 1895, sono onde, dato che diffrangono se puntati contro bersagli di piccole dimensioni, ossia dei cristalli. Egli dimostrò altresì che i cristalli sono formati da raggruppamenti atomici disposti con regolarità a distanze reciproche confrontabili con la lunghezza d'onda dei raggi X.

ATOMO DI BOHR	1913	Niels Bohr, Danimarca
---------------	------	-----------------------

Nel 1913 fu Niels Bohr a risolvere le difficoltà del modello di Rutherford, spiegando anche lo spettro dell'atomo di idrogeno. **NIELS BOHR** era nato a Copenaghen il 7 ottobre 1885. Suo padre, Christian Bohr, era un fisiologo danese di religione luterana, docente alla facoltà di Fisiologia all'Università di Copenaghen e scopritore di un comportamento dell'emoglobina detto effetto Bohr, e sua madre, Ellen Adler Bohr, era una ricca borghese danese di origine ebraica assai

importante nell'ambiente bancario e parlamentare danese. Suo fratello, Harald Bohr, era un matematico e calciatore della nazionale danese, convocato alle Olimpiadi. Anche Niels era un calciatore dilettante, e giocò per un periodo insieme al fratello in una delle squadre di Copenaghen e venendo convocato, pur senza scendere in campo, per la Nazionale. Bohr si era laureato all'Università di Copenaghen nel 1911 e si era trasferito poi all'Università di Manchester, in Inghilterra, per studiare con Ernest Rutherford. Bohr propose un modello che, applicando all'atomo di Rutherford la quantizzazione dell'energia introdotta da Planck, riusciva a giustificare lo spettro dell'idrogeno.

La soluzione di Bohr si basava su tre postulati:

I) Il valore del modulo del momento angolare dell'elettrone che ruota intorno al nucleo deve essere un multiplo intero della costante di Planck, e di conseguenza l'energia di un elettrone dipende solo dal valore del numero quantico principale.

II) L'atomo irraggia energia solamente quando, per un qualche motivo, un elettrone effettua una transizione da uno stato stazionario ad un altro. La frequenza della radiazione è legata all'energia del livello di partenza e di quello di arrivo dalla relazione:

$$\nu = \frac{|E_f - E_i|}{h}$$

dove h è la costante di Planck, mentre E_i ed E_f sono le energie connesse alle orbite finale ed iniziale (è presente il modulo in quanto la frequenza ha significato fisico solo e soltanto se è un numero positivo, invece il $\Delta E = (E_f - E_i)$ può essere negativa, ed indica se viene emessa una radiazione o viene assorbita energia ("sotto forma di quanti") con frequenza derivata dalla suddetta formula); (secondo la teoria classica, invece, la frequenza della radiazione emessa avrebbe dovuto essere uguale a quella del moto periodico della particella carica). L'energia che l'atomo scambia con il campo elettromagnetico soddisfa dunque sia il principio della conservazione dell'energia, sia la relazione tra l'energia e la frequenza introdotta da Planck. Notiamo, però, che nel suo lavoro Bohr non chiamava in causa i quanti di luce di Einstein, dei quali sarebbe rimasto un deciso oppositore fino al 1924.

III) Nel modello semplice di Bohr, la carica del nucleo è $+Ze$, la carica dell'elettrone è e , l'energia potenziale a distanza r è:

$$U = -\frac{kZe^2}{r}$$

dove k è la costante di Coulomb. L'energia totale di un elettrone nell'ipotesi semplificativa che si muova su un'orbita circolare con velocità v è quindi:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + U = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{kZe^2}{r}$$

Breve storia delle scoperte scientifiche

Per ottenere il valore della velocità, e quindi quello dell'energia cinetica, basta eguagliare la relazione $F = ma$, dove per l'accelerazione si utilizza l'espressione per quella centripeta ($a = v^2/r$), con l'attrazione coulombiana:

$$\frac{kZe^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

e quindi l'energia cinetica risulta essere pari alla metà del valore assoluto dell'energia potenziale. L'energia totale risulta quindi essere pari a:

$$E = -\frac{1}{2} \frac{kZe^2}{r}$$

Sostituendo questa nella legge matematica del secondo postulato di Bohr, si ottiene un'espressione per le frequenze in funzione delle distanze finale ed iniziale dei livelli interessati dalla transizione:

$$\nu = \frac{1}{2} \frac{kZe^2}{r} \left(\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right)$$

Questa equazione deve essere consistente con la formula di Rydbergh-Ritz, sapendo che $\nu = c/\lambda$, con c velocità della luce.

I raggi delle orbite stabili, quindi, dovevano essere proporzionali ai quadrati di numeri interi. Una simile legge di proporzionalità poteva essere ottenuta ipotizzando che il momento angolare dell'elettrone in un'orbita stabile fosse pari a:

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} = n\hbar$$

Questo è il terzo postulato di Bohr, che, in pratica, quantizza il momento della quantità di moto della particella.

A questo punto è abbastanza semplice determinare il raggio dell'orbita (**raggio di Bohr**), combinando quest'ultima con la relazione tra energia cinetica e potenziale:

$$r = n^2 \frac{\hbar^2}{mkZe^2} = n^2 \frac{a_0}{Z}$$

ove $a_0 = \frac{\hbar^2}{(2\pi)^2 mke^2} =$

è il raggio di Bohr del livello fondamentale dell'atomo di idrogeno.

Inoltre, Bohr riuscì a calcolare anche il valore della R costante di Rydberg:

$$R = \frac{2m\pi^2 k^2 e^4}{ch^3}$$

che utilizzando i valori allora noti per le costanti, è in accordo con il valore ottenuto dalla spettroscopia.

Infine si possono scrivere tutti i valori possibili dell'energia di un elettrone in un atomo, scritti in funzione dell'energia fondamentale dell'atomo di idrogeno:

$$E_n = -Z^2 \frac{E_0}{n^2}$$

con

$$E_0 = \frac{2m\pi^2 k^2 e^4}{h^2}$$

che risulta di circa 13,6 eV. Questo vuol dire che, per estrarre un elettrone nello stato fondamentale dell'idrogeno, bisogna fornire al sistema un'energia pari a 13,6 eV. Tenendo conto del fatto che la massa del nucleo non è infinita (nel caso dell'idrogeno è circa duemila volte la massa dell'elettrone) e che quindi il nucleo stesso ruota intorno al centro di massa dell'atomo, si introduce una lieve dipendenza della costante di Rydberg dalla massa del nucleo, migliorando così l'accordo con i dati sperimentali.

Nel 1922 Bohr avrebbe ricevuto il Nobel per la sua scoperta.

La scoperta degli isotopi

Prima dello scoppio della Prima guerra mondiale, **Thomson** fece ancora un'altra grande scoperta: quella degli **isotopi**. Nel 1918 sarebbe diventato *Master* al Trinity College di Cambridge, dove sarebbe rimasto fino alla sua morte, avvenuta in 30 agosto del 1940. Il suo corpo verrà sepolto nell'Abbazia di Westminster, accanto ad Isaac Newton.

Esperimento di Frank e Hertz

Nel 1914 James Franck e Gustav L. Hertz dimostrarono che quando si fornisce energia agli atomi, non necessariamente tramite una radiazione elettromagnetica ma per esempio facendoli collidere con elettroni, essi assorbono e poi riemettono solo quantità di energia uguali alle differenze fra i loro livelli energetici

La relatività generale

Nel 1915 Einstein propose una teoria relativistica della gravitazione, indicata come *relatività generale*, che descriveva le proprietà dello spaziotempo a quattro dimensioni: secondo tale teoria la gravità altro non è che la manifestazione della curvatura dello spaziotempo. Einstein dedusse le equazioni del moto da quelle della relatività speciale valide localmente in sistemi inerziali; dedusse inoltre il modo in

Breve storia delle scoperte scientifiche

cui la materia curva lo spaziotempo imponendo l'equivalenza di ogni possibile sistema di riferimento (da cui il nome di *relatività generale*). In particolare, il potenziale gravitazionale newtoniano viene reinterpretato come l'approssimazione, per campo debole, della componente temporale del tensore metrico: da questo discende il fatto che il tempo scorre più lentamente in un campo gravitazionale più intenso.

Alla pubblicazione, la teoria della relatività generale venne accolta con scetticismo da parte degli scienziati, perché essa derivava da ragionamenti matematici e analisi razionali, non da esperimenti o osservazioni.

Nel 1917 mostrò il legame esistente tra la legge di Bohr e la formula di Planck dell'irraggiamento del corpo nero. Nello stesso anno introdusse la nozione di emissione stimolata, che sarebbe poi stata applicata alla concezione del laser.

SONAR	1918	Paul Langevin, Francia
-------	------	------------------------

LA MASSA CURVA LA LUCE	1919	Arthur Eddington
------------------------	------	------------------

Nel 1919 le predizioni fatte dalla teoria della relatività generale furono confermate dalle misurazioni dell'astrofisico Arthur Eddington effettuate durante un'eclissi solare, che verificarono che la luce emanata da una stella era deviata dalla gravità del Sole quando passava vicino a esso. Le osservazioni ebbero luogo il 29 maggio 1919 a Sobral, in Brasile, e nell'isola di Príncipe, nello Stato di São Tomé e Príncipe. «Max Planck non capiva nulla di fisica, perché durante l'eclissi del 1919 è rimasto in piedi tutta la notte per vedere se fosse stata confermata la curvatura della luce dovuta al campo gravitazionale. Se avesse capito la teoria, avrebbe fatto come me, e sarebbe andato a letto.» (Archivio Einstein)

Da allora esperimenti più precisi avrebbero confermato le predizioni della teoria della relatività generale, che oggi vengono usate nel normale funzionamento dei sistemi GPS.

Nel 1919 Lord Ernest Rutherford riuscì a disintegrare un atomo di azoto mediante bombardamento con particelle alfa, con emissione di un protone, e Chadwick si unì al programma di trasmutazione artificiale di altri elementi leggeri.

Chadwick era figlio di un proprietario di una lavanderia. Aveva frequentato le scuole superiori a Manchester e si era iscritto alla locale Università per studiare matematica, ma per un errore delle segreterie, dopo i colloqui di ammissione, era stato iscritto a fisica. Molto timido di carattere, non aveva segnalato l'errore e si era laureato in fisica nel 1911, per poi entrare nel gruppo di ricerca del prof. Ernest Rutherford, occupandosi di vari problemi sulla radioattività. Nel 1913, grazie ad

una borsa di studio, si era recato a Berlino per lavorare all'Imperiale Laboratorio Fisico Tecnico di Berlino-Charlottenburg con Hans Geiger. Allo scoppio della Prima Guerra Mondiale era stato internato come prigioniero civile a Ruhleben e, finita la guerra, nel 1919 era tornato in Inghilterra accettando un posto al Gonville and Caius College. Aveva ripreso così a lavorare sotto la direzione di Rutherford che si era nel frattempo trasferito al Cavendish Laboratory.

Nel 1920 Rutherford, ipotizzò l'esistenza di una particella neutra, con una massa pari all'incirca a quella del protone, che risulterebbe dalla cattura di un elettrone da parte di un protone. Tale ipotesi stimolò la ricerca di tale particella. Tuttavia il fatto che fosse neutra complicava la ricerca poiché quasi tutte le tecniche sperimentali misuravano particelle cariche.

FUNZIONE D'ONDA	1922	Arthur Holly Compton, USA
-----------------	------	------------------------------

Nel 1922 Il fisico statunitense Arthur Holly Compton osservò per la prima volta il fenomeno che poi prenderà il suo nome: lo **scattering Compton** o **diffusione Compton** o **effetto Compton**, un fenomeno di scattering interpretabile come l'urto tra un fotone e un elettrone. Il fenomeno divenne ben presto uno dei risultati sperimentali decisivi in favore della descrizione quantistica della radiazione elettromagnetica.

L'esperimento di Compton consisteva nell'invio di un fascio collimato di fotoni (raggi X con $\lambda = 0,0709$ nm) su un bersaglio di grafite, e nell'osservazione dello spettro dei fotoni diffusi e, quindi, della loro lunghezza d'onda (λ). Quello che vide il fisico statunitense fu che, oltre all'emissione di fotoni della stessa λ , vi erano anche raggi X di lunghezza d'onda maggiore (in media di 0,0731 nm), e quindi di frequenza (f) minore (meno energetici). Inoltre l'aumento assoluto della lunghezza d'onda della radiazione diffusa, per un qualsiasi angolo di diffusione, era indipendente dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente.

La diffusione di onde elettromagnetiche di lunghezza d'onda maggiore rispetto a quella iniziale non è spiegabile con la teoria classica dell'elettromagnetismo. Per spiegare questo effetto Compton riprese, quindi, la teoria quantistica della luce di Einstein, pensando ai fotoni come a particelle che, seppur prive di massa, sono dotate di una certa quantità di moto. Quindi i fotoni incidenti, urtando elasticamente contro gli elettroni presenti negli atomi del bersaglio, cedono loro parte della propria energia.

Dal punto di vista matematico, quindi, si impostano le equazioni di un urto tra un fotone, inteso come particella dotata di energia e di quantità di moto, e un elettrone. Detti φ e θ gli angoli di cui la direzione del fotone e quella dell'elettrone sono deflesse rispetto alla direzione della radiazione incidente e dette f e f_0 le

Breve storia delle scoperte scientifiche

frequenze iniziale e finale del fotone, si imposta un sistema di equazioni che tenga conto della conservazione della quantità di moto e della conservazione dell'energia.

LUNGHEZZA D'ONDA DI DE BROGLIE	1924	Louis De Broglie, Francia
-----------------------------------	------	---------------------------

Nel 1924 il francese Louis De Broglie, appena laureato, ebbe l'intuizione che la dualità onda-corpuscolo dovesse riflettere una legge universale della fisica e riguardare anche le particelle. Se le radiazioni luminose, che presentano così palesemente un carattere ondulatorio, possono talvolta comportarsi come corpuscoli, perché un elettrone o un protone, fino ad allora considerati sempre e soltanto elementi di materia, non dovrebbero comportarsi in determinate circostanze come delle onde? Per il fotone il momento p è uguale a h/λ . Inversamente è $\lambda = h/p$. De Broglie ipotizzò che la lunghezza d'onda associata a una particella materiale dipendesse dalla quantità di moto nella stessa forma. Essendo $p = mv$, egli mise in relazione, tramite la h di Planck, grandezze caratteristiche dei corpuscoli (m e v) con una grandezza peculiare delle onde (λ)

Nel 1925 Geiger impiegò il suo contatore anche per confermare l'effetto Compton.

FUNZIONE D'ONDA	1926	Erwin Schrödinger, Austria
-----------------	------	----------------------------

Le idee di De Broglie sulla natura ondulatoria della materia acquistarono un soddisfacente formalismo matematico nel 1926 per opera del viennese Erwin Schrödinger, in quel tempo professore di fisica teorica all'università di Zurigo

GLI ELETTRONI DIFFRANGONO	1927	Clinton J. Davisson e Lester H. Germer
---------------------------	------	---

Nel 1927 Clinton J. Davisson e Lester H. Germer verificarono, come aveva previsto De Broglie, che **gli elettroni si comportavano come i raggi X**. I due fisici statunitensi osservarono che, interagendo con un cristallo di nichel, un fascio di elettroni subiva diffrazione. Se la velocità degli elettroni veniva fatta variare, i massimi e i minimi di intensità della figura di diffrazione si spostavano e la lunghezza d'onda, determinata dalle posizioni delle frange attraverso la legge di Bragg, risultava sempre in accordo con l'equazione di De Broglie.

Il principio di indeterminazione di Heisemberg

Nel 1927 Werner Heisemberg postulò l'impossibilità concettuale di valutare senza alcun limite di precisione la posizione e, simultaneamente, la quantità di

moto di un oggetto, oppure di determinare con esattezza l'istante di tempo in cui un sistema si trova in un particolare stato e l'energia del sistema stesso. La posizione e la quantità di moto, l'energia e il tempo sono grandezze coniugate.

Nel 1928 Vladimir Zworykin, USA, inventò il TELEVISORE ELETTRONICO

Nel 1928 un fisico tedesco, Walter Bothe, e il suo studente, Herbert Becker, avviarono la ricerca della particella neutra di massa pari al protone prevista da Rutherford. Nel 1930 i due, bombardando berillio con particelle alfa emesse dal polonio, trovarono che produceva una radiazione neutra e penetrante, che essi interpretarono come fotoni gamma di alta energia.

Nel 1932, Irene Joliot-Curie e suo marito Frederic Joliot-Curie, decisero di usare la loro intensa sorgente di particelle alfa per meglio analizzare la penetrante radiazione di Bothe. Trovarono che questa radiazione emetteva protoni da un bersaglio di paraffina. Tale scoperta fu sorprendente perché i fotoni non avevano massa. Tuttavia i Joliot-Curies interpretarono i risultati come l'azione di fotoni sugli atomi di idrogeno nella paraffina. Introdussero un'analogia con l'effetto Compton, nel quale fotoni che colpiscono una superficie metallica emettono elettroni. La difficoltà era che l'elettrone era 1836 volte più leggero del protone e, pertanto, rimbalzava indietro molto più facilmente del protone più pesante dopo una collisione con un fotone gamma. Noi ora sappiamo che il fotone gamma non ha energia sufficiente per espellere un protone dalla paraffina.

Quando James Chadwick riferì a Lord Rutherford i risultati dei Joliot-Curie, Lord Rutherford esclamò «Non gli credo!»

Seguito della vita di Chadwick

Chadwick nel 1921 era stato eletto 'fellow' del Gonville and Caius College e, nel 1923, Assistente Direttore di Ricerca al Cavendish Laboratory; nel 1925 aveva sposato Aileen Steward-Brown, da cui avrebbe avuto due gemelle, e nel 1927 era stato nominato membro della Royal Society.

Chadwick immediatamente ripeté gli esperimenti dei coniugi Joliot-Curie al Cavendish Laboratory a Cambridge. Non solo bombardò gli atomi di idrogeno nella paraffina con le emissioni del berillio, ma usò pure elio, azoto e altri elementi come bersagli. Confrontando le energie di rinculo delle particelle cariche da diversi bersagli, dimostrò che il berillio emetteva componenti con una massa circa uguale a quella del protone. Chadwick interpretò tale radiazione come una particella neutra, di massa simile al protone, ottenuta dal nucleo nella reazione $11\text{B} + 4\text{He} \rightarrow 14\text{N} + 1\text{n}$, evidenziando l'esistenza del neutrone, già previsto da Rutherford.

Breve storia delle scoperte scientifiche

Chiamò tale particella **neutrone**. Osservò che il neutrone, non avendo carica elettrica, era preferibile al nucleo di elio per penetrare nei nuclei degli elementi pesanti, aprendo così la strada agli esperimenti di Fermi, Lise Meitner e altri sulla fissione nucleare.

All'inizio dubitava che fosse una particella elementare, ma piuttosto l'unione di un protone e di un elettrone. Fu Heisenberg che interpretò protone e neutrone come due stati di una particella, il 'nucleone'.

Per la scoperta del neutrone Chadwick avrebbe ottenuto la Medaglia Hughes della Royal Society, nel 1932, e il **Premio Nobel** del **1935** (lo stesso anno furono premiati per la chimica i coniugi Joliot-Curie). E sarebbe in seguito venuto a sapere che un elettrochimico tedesco, Hans Falkenhagen di Rostock (suocero del chimico norvegese, poi Premio Nobel, Lars Onsager), aveva forse scoperto il neutrone, ma non aveva pubblicato i suoi risultati.

Nel 1935 Chadwick fu chiamato alla cattedra di fisica all'Università di Liverpool. Lasciò Cambridge anche per i contrasti sorti con Rutherford, che si opponeva al progetto di costruzione di un ciclotrone, da lui sostenuto. A Liverpool riuscì nel suo intento e costruì il primo ciclotrone inglese, usando parte dei soldi del Premio Nobel. I contrasti con il vecchio amico Rutherford si acuirono e, quando visitò Cambridge, fu accusato di 'sperperare denaro nella costruzione di costosi acceleratori' ed anche di tentare di convincere i suoi assistenti Cockroft e Oliphant a trasferirsi a Liverpool.

Rutherford, incapace di serbare rancore a lungo, gli scrisse poi in toni più concilianti, ma morì improvvisamente nel 1937 e i due non ebbero più occasione di incontrarsi. Chadwick ricordò spesso la triste fine di una così grande e duratura amicizia.

Col nuovo ciclotrone si dedicò a studi di fisica medica e terapia dei tumori.

Allo scoppio della seconda guerra mondiale rischiò di trovarsi ancora bloccato in terre nemiche, si trovava infatti in vacanza di pesca in Svezia e non c'erano più voli per tornare in patria. Fortunatamente riuscì ad arrivare ad Amsterdam e da qui fino in Inghilterra.

Nel 1940 fu chiamato nella Commissione Maud, per studiare la fattibilità di un'arma nucleare, e si recò negli Stati Uniti e Canada insieme alla missione Tizard per collaborare con gli scienziati americani.

Tornato in patria concluse che non si sarebbe ottenuto nulla di concreto da queste ricerche fino alla fine della guerra, ma alla pubblicazione del 'rapporto Simon' che stabiliva la possibilità di isolare l'Uranio-235 *capì che la costruzione di una bomba nucleare non solo era possibile, ma anche inevitabile*, e da allora, come scrisse poi, *dovette iniziare a prendere sonniferi per dormire, era infatti l'unico rimedio*.

Dal 1943 al 1946 lavorò negli Stati Uniti come capo del gruppo inglese aggregato al *progetto Manhattan*, per la costruzione della bomba atomica.

Tornato in patria nel 1948, si ritirò dalla cattedra di Liverpool e dalla ricerca attiva per la sua elezione a Preside del Gonville and Caius College, carica che mantenne fino alle sue dimissioni nel 1959. Dal 1957 al 1962 fu membro della Commissione Britannica per l'Energia Atomica.

Nel 1952 sostenne il progetto della costruzione congiunta di un grande acceleratore europeo, che sostenesse la concorrenza americana, usando l'esperienza del sincro-ciclotrone di Liverpool, fino ad allora la più grande macchina fuori dagli USA.

Sostenne così l'entrata dell'Inghilterra nella nascita del CERN.

Pubblicò molti lavori sulla radioattività insieme a Rutherford e Ellis e congiuntamente anche il trattato *Radiations from Radioactive substances* (1930).

Fu nominato Sir nel 1945. Oltre ai premi già citati, ottenne la Medaglia Copley nel 1950 e la Medaglia Franklin nel 1951. Ottenne anche vari dottorati onorari ed era membro delle principali Accademie scientifiche tra le quali il Franklin Institute, l'Accademia Pontificia, l'American Philosophical Society e l'Institute of Physics.

Al pensionamento si stabilì in un cottage in Galles del Nord, per dedicarsi agli hobbies preferiti del giardinaggio e pesca, felice di ritornare vicino a Liverpool, ma nel 1969 tornò a Cambridge per vivere vicino alle figlie.

Nel 1935 Schrödinger propose il suo famoso **paradosso del gatto**, contemporaneamente vivo e morto.

NYLON	1935	William Carothers, USA
-------	------	------------------------

Il Nylon è una fibra tessile sintetica, cioè non ricavata dagli animali, come la lana, o dalle piante, come il cotone, ma prodotta dall'uomo mettendo insieme sostanze di diversa origine.

RADAR	1935	Robert Watson-Watt, Inghilterra
-------	------	---------------------------------

FOTOCOPIATRICE	1940	Chester Carlson, USA
----------------	------	----------------------

PRIMO LANCIO DI UN MISSILE	1942	Wernher Von Braun, Germania
----------------------------	------	-----------------------------

PENNA A SFERA	1943	Laszlo Biro, Ungheria- Argentina
---------------	------	----------------------------------

ELICOTTERO	1944	Igor Ivanovich Sikorsky, USA
------------	------	------------------------------

Breve storia delle scoperte scientifiche

FORNO A MICROONDE	1946	Percy Spencer, USA
-------------------	------	--------------------

VIDEOREGISTRATORE	1956	Società Ampex, USA
-------------------	------	--------------------

PRIMO SATELLITE ARTIFICIALE (Sputnik)	1957	Russia
---------------------------------------	------	--------

Un satellite artificiale è un veicolo spaziale che viene lanciato dall'uomo nello spazio per vari scopi e viaggia seguendo un'orbita prestabilita: oggi i satelliti artificiali vengono impiegati per le previsioni meteorologiche, per le trasmissioni televisive, ecc.

ECOGRAFO	1957	Ian Donald, Scozia
----------	------	--------------------

LASER	1960	Theodore Maiman, USA
-------	------	----------------------

PRIMO PROGRAMMA PER SCRIVERE TESTI SUL COMPUTER	1964	Società IBM, USA
---	------	------------------

FLOPPY DISK	1967	Società IBM
-------------	------	-------------

Il floppy disk è disco sottile e flessibile

su cui vengono memorizzati dei dati tramite un computer; viene protetto da un contenitore quadrato di plastica. Il primo floppy disk aveva le dimensioni di circa 20 cm di diametro, quelli utilizzati attualmente sono molto più piccoli, solo 9 cm

UOMO SULLA LUNA	1969	Neil Armstrong, Edwin Aldrin, USA
-----------------	------	-----------------------------------

MICROPROCESSORE	1971	Società Intel, USA
-----------------	------	--------------------

Il microprocessore è un dispositivo presente nei computer composto da circuiti elettronici miniaturizzati capaci di effettuare operazioni complesse come fare calcoli, elaborare dati, ecc. Il microprocessore principale di un computer viene chiamato CPU.

CALCOLATORE SCIENTIFICO PORTATILE	1972	Società Hewlett-Packard, USA
-----------------------------------	------	------------------------------

Il calcolatore scientifico permetteva di eseguire dei calcoli complessi che non si potevano eseguire con le calcolatrici aritmetiche esistenti. Fu molto utilizzato soprattutto da ingegneri e matematici perché permetteva di memorizzare sequenze di calcoli in un programma. Le sue dimensioni sono di poco superiori a quelle di una moderna calcolatrice tascabile.

TAC	1973	Godfrey Hounsfield, Inghilterra
-----	------	---------------------------------

La TAC è un'attrezzatura utilizzata in medicina che, utilizzando i raggi X, analizza la struttura interna del corpo umano ricavandone immagini tridimensionali.

PERSONAL COMPUTER (Altair 8800)	1975	Edward Roberts, USA
---------------------------------	------	---------------------

Con "Personal computer" si intende un qualsiasi computer che sia stato progettato per l'uso da parte di una singola persona. Oggi sta ad indicare i computer che si usano comunemente in casa, a scuola o nelle piccole aziende.

PRIMO PERSONAL COMPUTER COMMERCIALE	1977	Società Apple, USA
-------------------------------------	------	--------------------

L'Apple II fu il primo personal computer ad essere venduto al pubblico.

TELEFONO CELLULARE	1978	Società Bell Laboratories, USA
MODEM	1978	Società Hayes, USA
WALKMAN	1979	Società Sony, Giappone
INTERNET (WORLD WIDE WEB)	1980	Tim Berners-Lee, Inghilterra

La rete Internet è nata come sistema per trasmettere dati tra computer sparsi in tutto il mondo e collegati tra di loro in rete (da qui il nome World Wide Web: rete grande come il mondo).

SISTEMA OPERATIVO PER COMPUTER MS-DOS	1980	Bill Gates, USA
---------------------------------------	------	-----------------

MS-DOS è il sistema operativo che fu installato sul primo Personal Computer della società americana IBM. Il sistema operativo permette al computer di interpretare i comandi dell'uomo.

PRIMO VOLO SPACE SHUTTLE	1981	USA
--------------------------	------	-----

Lo Space Shuttle è l'unico veicolo spaziale prodotto dagli Stati Uniti adibito al trasporto umano. Viene utilizzato come navetta per trasportare astronauti e materiali nelle stazioni spaziali e per compiere altre missioni nello spazio come la manutenzione del telescopio spaziale Hubble.

PRIMO TRENO AD ALTA VELOCITÀ	1981	TGV, Francia
COMPACT DISC MUSICALE	1982	Società Sony (Giappone) e Philips (Paesi Bassi)

Breve storia delle scoperte scientifiche

CD-ROM	1985	USA
STAZIONE SPAZIALE MIR	1986	URSS

La stazione spaziale MIR fu lanciata nello spazio nel 1986, rimase in orbita fino al 2001 dopodiché fu fatta cadere sulla Terra. Durante quei 15 anni ospitò oltre cento cosmonauti e astronauti di almeno dodici Paesi diversi. Nei suoi laboratori si sono svolti migliaia di esperimenti scientifici che hanno sfruttato l'assenza di gravità.

STAZIONE SPAZIALE INTERNAZIONALE (ISS)	1998	Agenzie spaziali canadese, europea, giapponese, russa e americana.
--	------	--

La stazione spaziale internazionale (ISS) orbita intorno alla Terra dal 1998 e fa parte di un progetto che coinvolge le agenzie spaziali di più Stati. Contiene numerosi laboratori e può ospitare sette astronauti alla volta. È abitata continuamente dal 2 novembre 2000 da almeno 2 astronauti.

TELESCOPIO SPAZIALE HUBBLE	1990	USA
----------------------------	------	-----

Il telescopio spaziale Hubble fu lanciato nello spazio il 24 aprile 1990 con lo Space Shuttle Discovery. Fa parte di un progetto comune della NASA e dell'Agenzia Spaziale Europea. Per le sue dimensioni e per la sua posizione permette di osservare oggetti celesti anche molto lontani dalla nostra Galassia. È manovrato dalla Terra.