

ATOMO indivisibile?

ATOMO: indivisibile? domande e certezze nella scienza

Domande e
certezze nella scienza

CURATORI

Mario Gargantini
Giornalista scientifico

Marco Bersanelli
Università degli Studi, Milano

Saul Garavaglia
Consiglio Nazionale delle Ricerche

Giovanni Rosotti
Università degli Studi, Milano

Elio Sindoni
Fondazione CEUR e EURESIS

Carlo Sozzi
Consiglio Nazionale delle Ricerche

COLLABORATORI

Maria Cristina Baglio, Fabio Beghi,
Monica Ceresoli, Veronica Collico,
Sofia Consonni, Emanuele Corno,
Samuele Crespi, Tommaso Fraccia,
Davide Gerosa, Leonardo Malgieri,
Giulia Marchioro, Emanuele Ortoleva,
Annalisa Panfili, Daniele Redoglio,
Elena Storer, Maria Vincenzi,
Alessio Zuliani
Università degli Studi, Milano

Gerardo Ballabio, Villi Demaldè,
Eugenio Greco, Simona Pezzati
Associazione Euresis

Luca Colombo
Politecnico di Milano

Anna Giorgioni
Università degli Studi, Milano Bicocca

Gianluca Lapini, Sergio Musazzi
RSE SpA, Milano

Lorenzo Mazzoni
Emmequattro

Annamaria Naggi
Istituto "G. Ronzoni", Milano

Sergio Riva, Raffaella Soave
Consiglio Nazionale delle Ricerche

CONSULENTI SCIENTIFICI

Marco Beghi
Politecnico di Milano

Tommaso Bellini
Università degli Studi, Milano

Lanfranco Belloni
Università degli Studi, Milano

Martyn Bull
Head of Communications, STFC Rutherford Appleton Laboratory (UK)

Francesco Civita
Curatore sezione giapponese, Museo Stibbert, Firenze

Stefano Forte
Università degli Studi, Milano

Giuseppe Gorini
Università degli Studi, Milano Bicocca

Silvia Imberti
STFC Rutherford Appleton Laboratory (UK)

Chiara Meroni
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Milano

Petra Nieckchen
Head of Public Information office European Fusion Development Agreement, Abingdon (UK)

Beth Penrose
STFC Rutherford Appleton Laboratory (UK)

Marco Ricotti
Politecnico di Milano

Lucio Rossi
CERN - TE Department Deputy Head MSC Group Leader

Carlo Soave
Università degli Studi, Milano

mostra realizzata per la
XXXII edizione del Meeting
per l'amicizia fra i popoli



architetti

Enrico Magistretti, Giuditta Melesi

collaboratori al progetto e allestimento

Claudia Frigerio, Michele
Paindelli, Giovanni Paterlini,
Virginia Vannucci
studenti della Facoltà di Architettura di Milano Bovisio

exhibit

Beniamino Danese, Luca
Bonanomi, Laerte Patera,
Daniele Redoglio,
Giacomo Spagnoli,
Davide Visigalli

video e animazioni

Stefano Aime, Michele Arduini,
Andrea Caslini, Luca Crippa,
Samuele Polistina

progetto grafico

Lorenzo Morabito

luci

Gianfranco Branca

tecnologie

Sound D-Light srl

stampa

Millennium Vision

catalogo

a cura di
Associazione Euresis

coordinamento

Mario Gargantini

progetto grafico

Lorenzo Morabito

stampa

Italgrafica, Novara

Casa editrice

FriMedia s.r.l. Meda

sceneggiati

"Dialoghi in laboratorio"

testi di

Mario Gargantini
Gianluca Lapini
Leonardo Malgieri

regia

Iacopo Tiscar
Stefano Braschi

assistente alla Regia

Giuditta Mingucci

scene e Costumi

Ilaria Ariemme

attori

Stefano Braschi, Dario De Falco,
Rocco Schira e Giorgio Massari

produzione

Elsinor

"Bohr e Heisenberg"

testi di

Mario Gargantini
Gianluca Lapini
Leonardo Malgieri

regia

Iacopo Tiscar
Stefano Braschi

attori

Giorgio Bonino
Claudio Migliavacca

produzione

Elsinor

si ringraziano

Giacomo Bella, Giuseppe Bonzini,
Paolo Cappelletti, Benedetta Cappelletti,
Federica Ghiringhelli, Marta Perego,
Giuseppe Puglisi, Francesco Vannini,
Andrea Zannoni

per immagini, materiale, strumentazione e ospitalità incontri

Gianni Bonera, Federico Brunetti,
Collegio Rotondi, Riccardo Destro,
Elitalia S.r.l., Fondazione CEUR,
Fondazione S. Cuore, Marco Gillberti,
Liceo Scientifico Einstein (Rimini),
Philips Italia SpA, Franco Riggi

Noleggio mostra
Meeting Mostre
info@meetingmostre.com
www.meetingmostre.com

in collaborazione con



mostra realizzata con il contributo di



ATOMO: indivisibile?

domande e certezze nella scienza



“Quando finalmente uno è arrivato alla certezza, la sua gioia è una delle più grandi che possa essere percepita dall’animo umano”.

Louis Pasteur

Sono interrogativi la cui portata va oltre i confini dell’attività scientifica ma che nella scienza trovano un banco di prova interessante. Quella stessa scienza che oggi viene vista, alternativamente, da prospettive estreme e contraddittorie: a volte come sola fonte di certezze, altre come esempio di una conoscenza senza punti fermi, come emblema del metodo del dubbio.

Con questa mostra intendiamo mettere a fuoco l’esperienza del diventare certi nel lavoro scientifico. Lo faremo raccontando una storia. Una di quelle storie che hanno cambiato il cammino della scienza.

Ripercorreremo le tappe principali che hanno portato a un fondamentale “punto di non ritorno”, rivisitando le domande che – dalle intuizioni degli antichi ai primi modelli ingenui dell’atomo – hanno condotto, esattamente cento anni fa, agli esperimenti decisivi di Ernest Rutherford e alla formulazione del suo modello atomico “planetario”. Rivivremo il dibattito che ha accompagnato l’indagine sulla struttura intima della materia, fino a entrare (virtualmente!) in alcuni dei più avanzati laboratori scientifici oggi in attività.

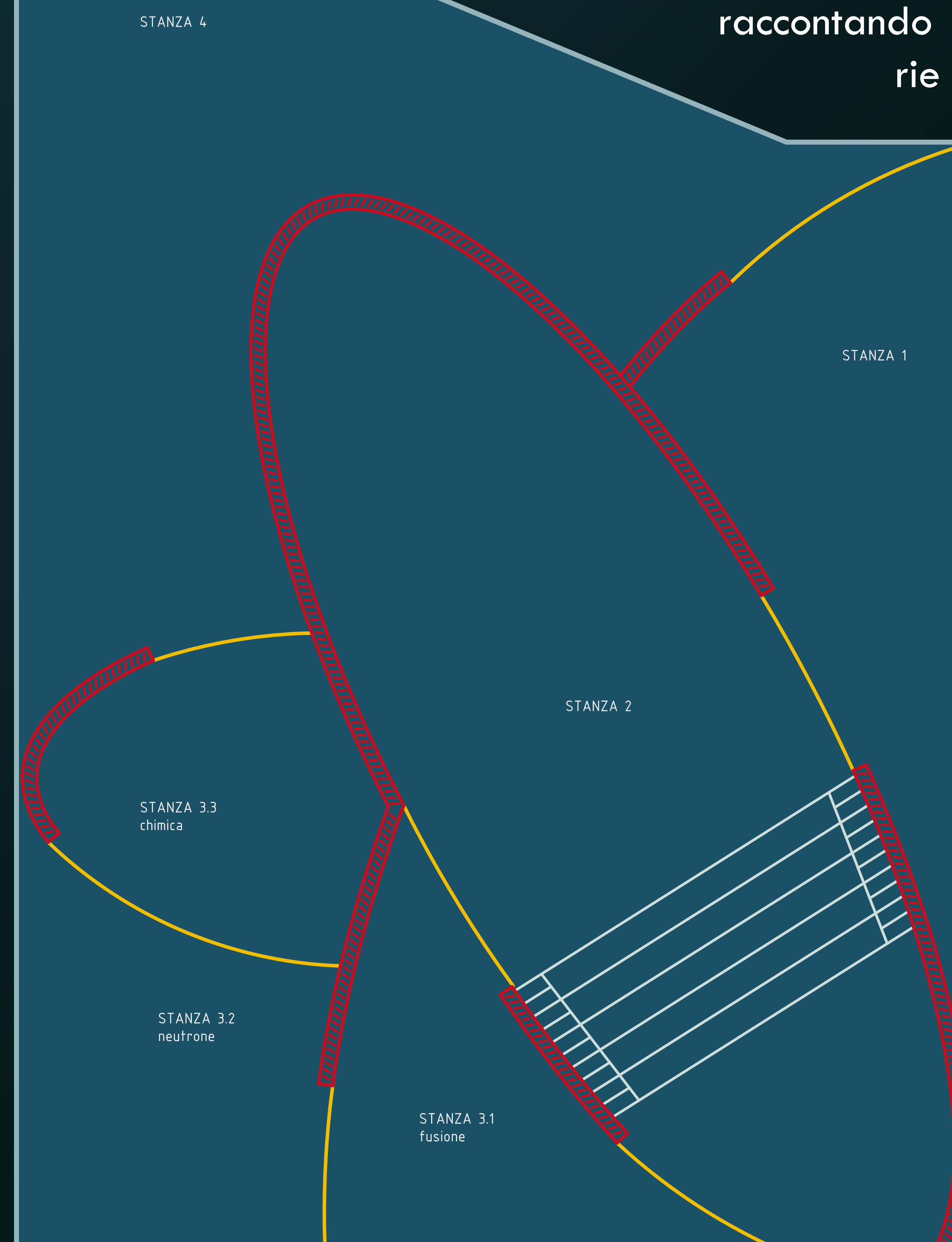
Ma è possibile nella scienza diventare certi di qualcosa?

Che cosa significa raggiungere una “certezza” in ambito scientifico?

Di che cosa si diventa certi: del dato osservato o di una più ampia realtà che il dato indica?

Quanto conta, nel cammino verso la certezza, il metodo con cui si interroga la realtà?

Esistono, nel percorso della ricerca, risultati che diventano punti di non-ritorno?



ATOMO indivisibile?

L'ATOMISMO NELL'ANTICA GRECIA

Domande e
certezze nella scienza

La grande avventura dell'atomismo inizia nel mondo greco: secondo certi autori, fu Leucippo di Mileto, nato tra il 480 e il 470 a.C., il primo a ipotizzare l'esistenza di enti infiniti per numero e invisibili per piccolezza che, con le loro reciproche posizioni, determinano i fenomeni di movimento e mutamento.

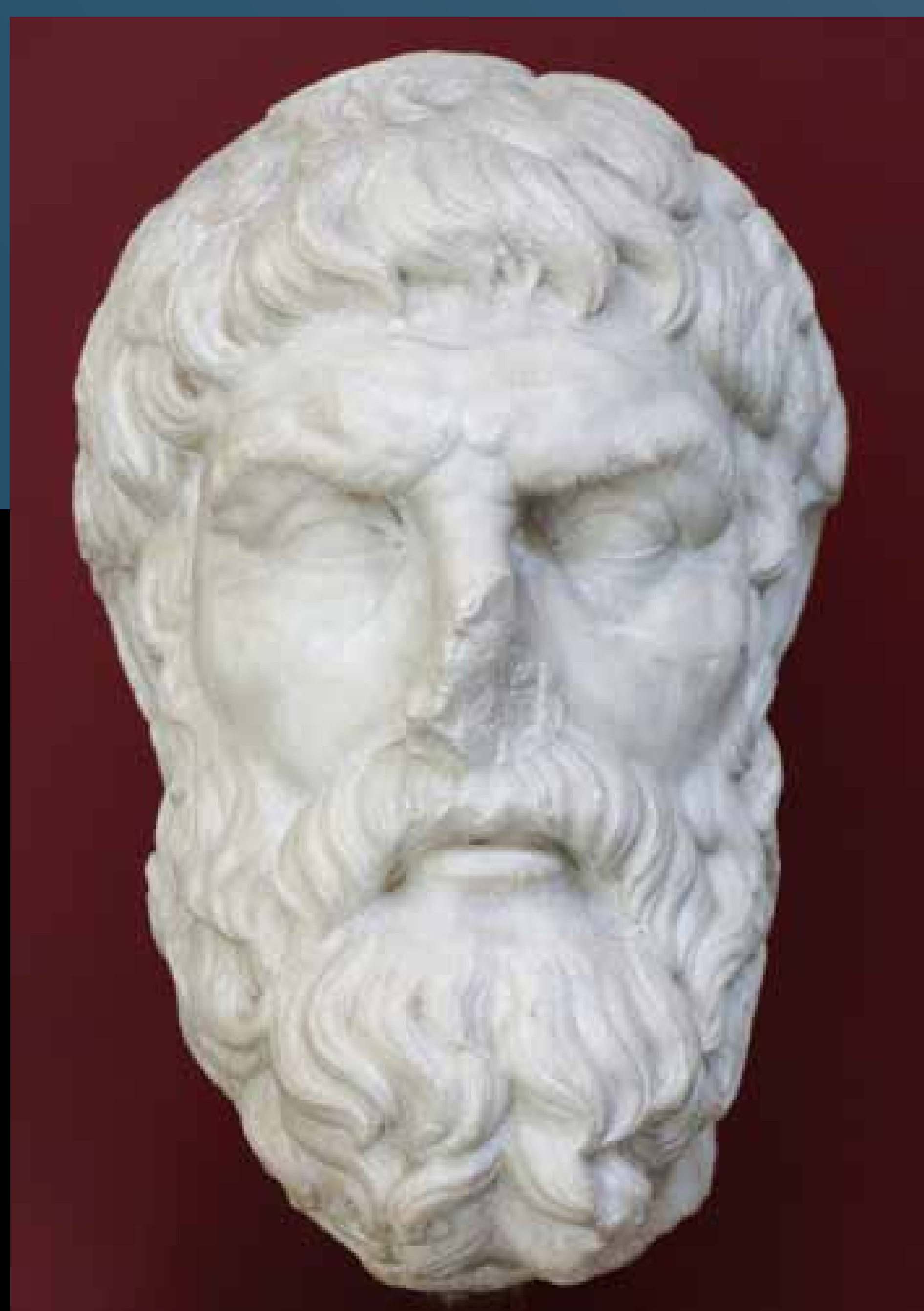
Ma è a Democrito di Abdera (470/460-370 a.C.) che viene comunemente attribuita la nascita dell'atomismo. Per Democrito gli atomi sono particelle solide indivisibili ($\alpha\tau\omicron\mu\omicron\varsigma$ = non divisibile) ma tra loro differenti per forma e dimensioni, che possono aggregarsi e distaccarsi.

“Opinione è il dolce, opinione l'amaro, opinione il caldo, opinione il freddo, opinione il colore; verità gli atomi e il vuoto”.

Epicuro di Samo (342-271 a.C.) ritiene che “gli atomi in numero infinito si muovano perpetuamente nel vuoto”. Epicuro sembra ammettere una sorta di spontanea deviazione casuale dal corso naturale verso il basso, detta in latino *clinamen*.



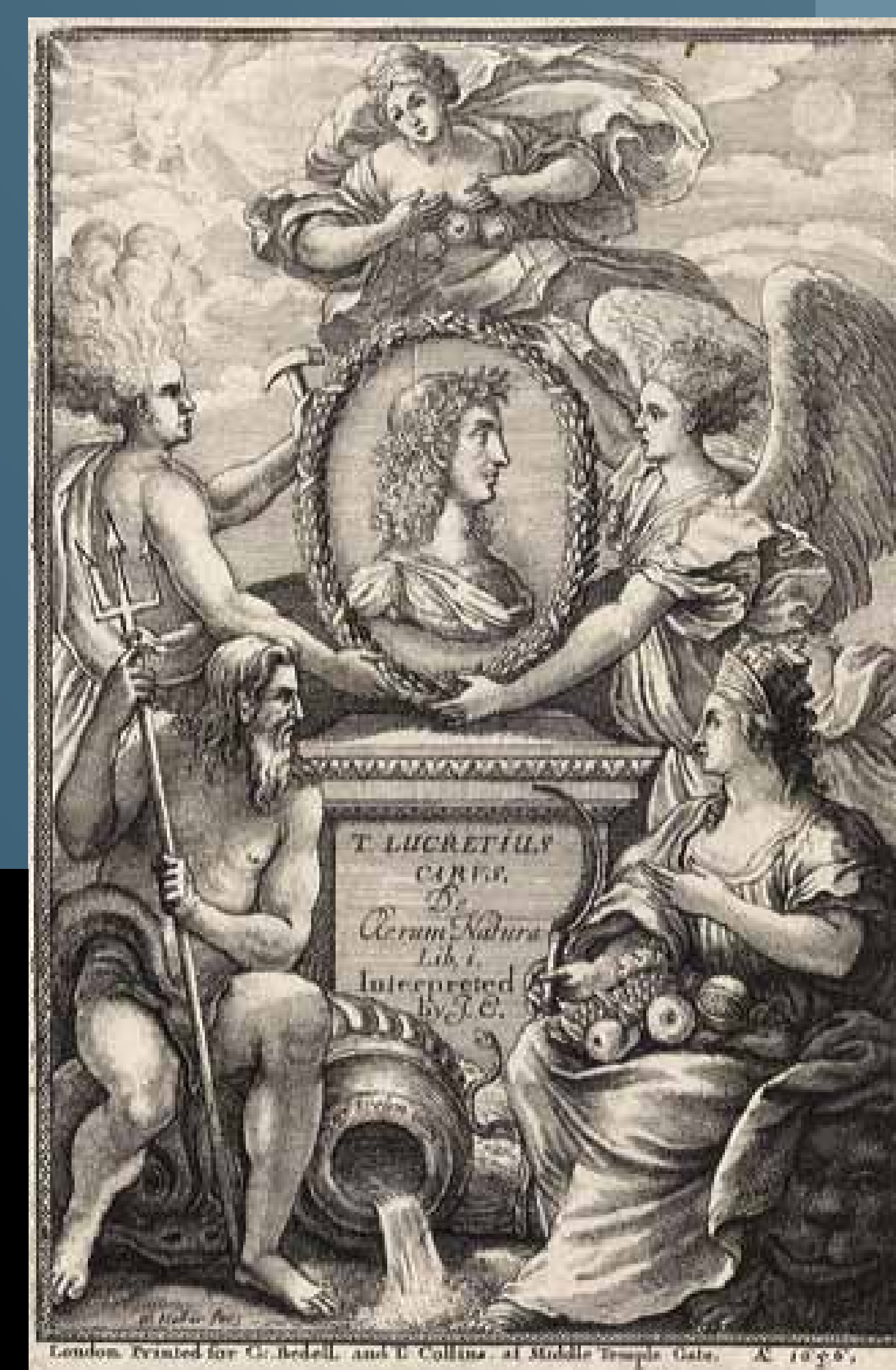
Hendrik ter Brugghen
Democrito, 1628



Ritratto di Epicuro,
copia di epoca
romana

Diodoro Crono (fine IV-inizio III secolo a.C.) considera anche il tempo: con la teoria del loro moto “a scatti”, introduce così atomi di tempo e di spazio.

L'atomismo viene più tardi ripreso da Tito Lucrezio Caro (ca. 98-55 a.C.). Il mondo, per Lucrezio, è nato non per opera degli dei, ma per combinazione di atomi. E il mondo finirà quando essi si disgregheranno.



Wenceslas Hollar
un'edizione inglese
del De Rerum Natura

IL MONDO ARABO

L'atomismo è stato oggetto di profonde discussioni e controversie anche nella cultura islamica.

Il neoplatonico Damascio (ca. 462-538 a.C.) aveva approfondito una dottrina dei “salti” o “balzi” con cui si svolgerebbe il movimento: il tempo non sarebbe composto di istanti, ma di “intervalli”.

Tale dottrina ricompare nella controversia tra Nazzam e Abu l-Hudhayl al 'Allaf (IX secolo d.C.). Il primo accetta la divisibilità all'infinito di qualsiasi continuo, il secondo sostiene l'atomismo di spazio, tempo e movimento.



Averroè (1126-1198) sostiene che gli atomi debbano essere considerati come punti geometrici, senza tuttavia negarne la realtà fisica. Ma come può un continuo esteso essere prodotto da componenti inestese? Sono i paradossi del concetto di infinito, che interessano anche i matematici dei nostri giorni!

L'ebreo Mosè Maimonide (1135-1204), nato a Cordova nel *kalam* (parola di Allah), islamico, ammette che le cose corporee sono fatte di atomi, che esiste il vuoto, che vi sono anche atomi di tempo. È Dio “onnipotente e misericordioso” che a ogni istante di tempo disfa e ricrea il mondo.

Benazzo Gozzoli,
Trionfo di San Tommaso
d'Aquino su Averroè,
1468-1484

LA RIVOLUZIONE SCIENTIFICA

Nel Medioevo cristiano domina la filosofia di Aristotele, che rifiuta le ipotesi atomistiche come materialiste. Pochi esempi contrari si ritrovano a opera di Roberto Grossatesta (1175-1253) e di Nicola d'Autrecourt (1295-1369).

Una certa ripresa dell'atomismo inizia alla fine del 1500: Daniel Sennert (1572-1637) ipotizza l'esistenza sia di "atomi semplici", sia di "elementi di secondo ordine", anticipando l'idea di molecole.

Si hanno accenni all'atomismo anche da parte di Giordano Bruno (1548-1600) e Galileo Galilei (1564-1642). Per Bruno tutti i corpi sono composti da *monadi*, unità fisiche indivisibili e indistruttibili, in numero infinito e tutte uguali. Galileo sembra invece propendere per una teoria atomistica e fa l'ipotesi che la luce sia formata da corpuscoli.

Un più deciso ritorno all'idea di atomo si ha con l'abate Pierre Gassend, (1592-1655), il quale cerca di conciliare l'atomismo con la fede cristiana. Il mondo, fatto di atomi, è stato creato da Dio: in questa posizione non vi è più traccia di materialismo.

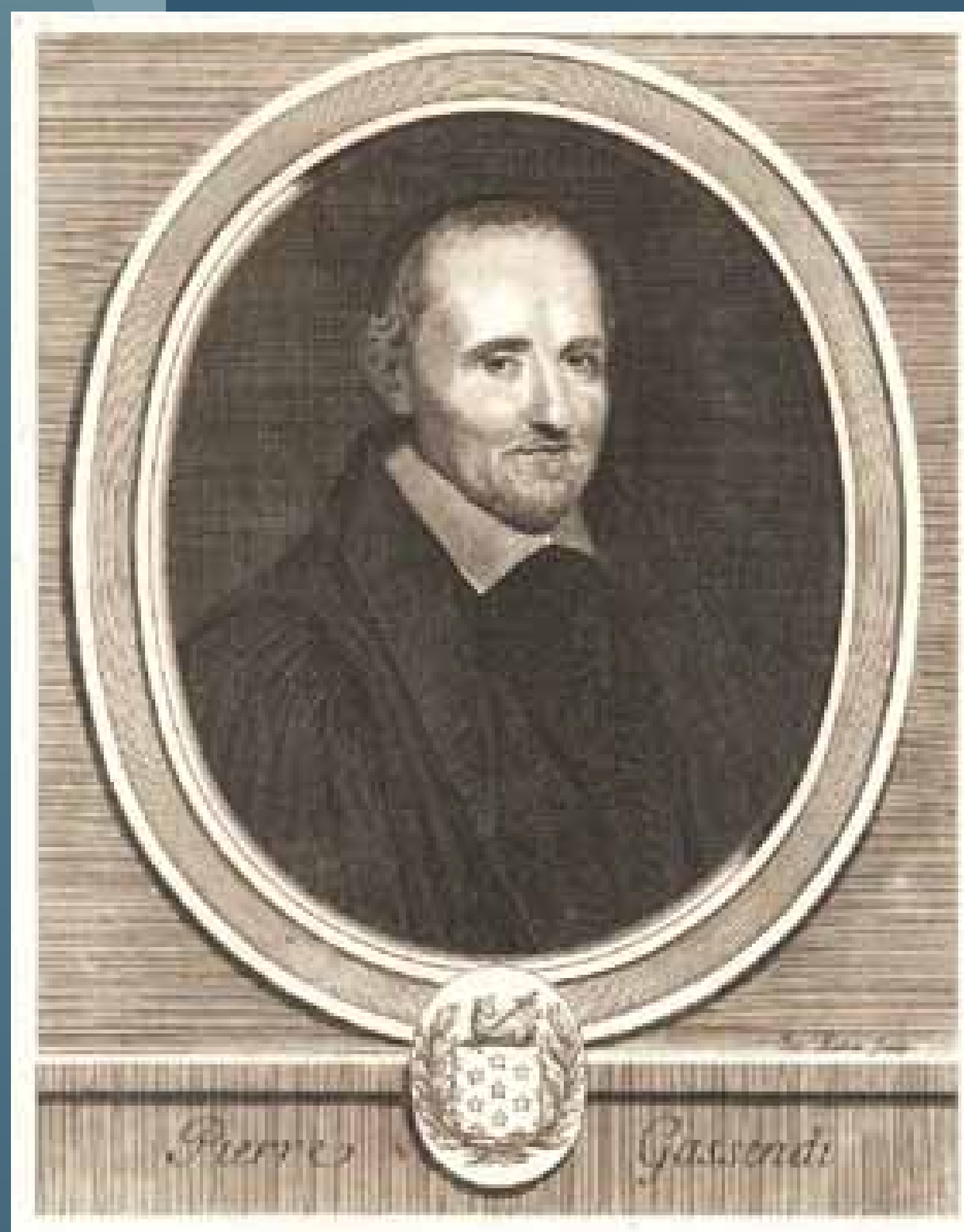
Nel XVIII secolo Isaac Newton (1642-1727) non parla espressamente di atomi, ma di "minima", oggetti piccoli, solidi e indistruttibili dei quali era costituita tutta la materia. Newton introduce una forza che agisce tra le particelle materiali, che dipende solo dalle masse e dalla reciproca distanza.

Il gesuita dalmata Ruggero Boscovich (1711-1787) aggiunge che a distanze minime tale forza deve essere fortemente repulsiva, così da evitare il collasso della materia. Lo svizzero Daniele Bernoulli (1700-1782) avanza quindi l'ipotesi che i gas siano formati da particelle interagenti tra loro mediante urti, fornendo la spiegazione della pressione.

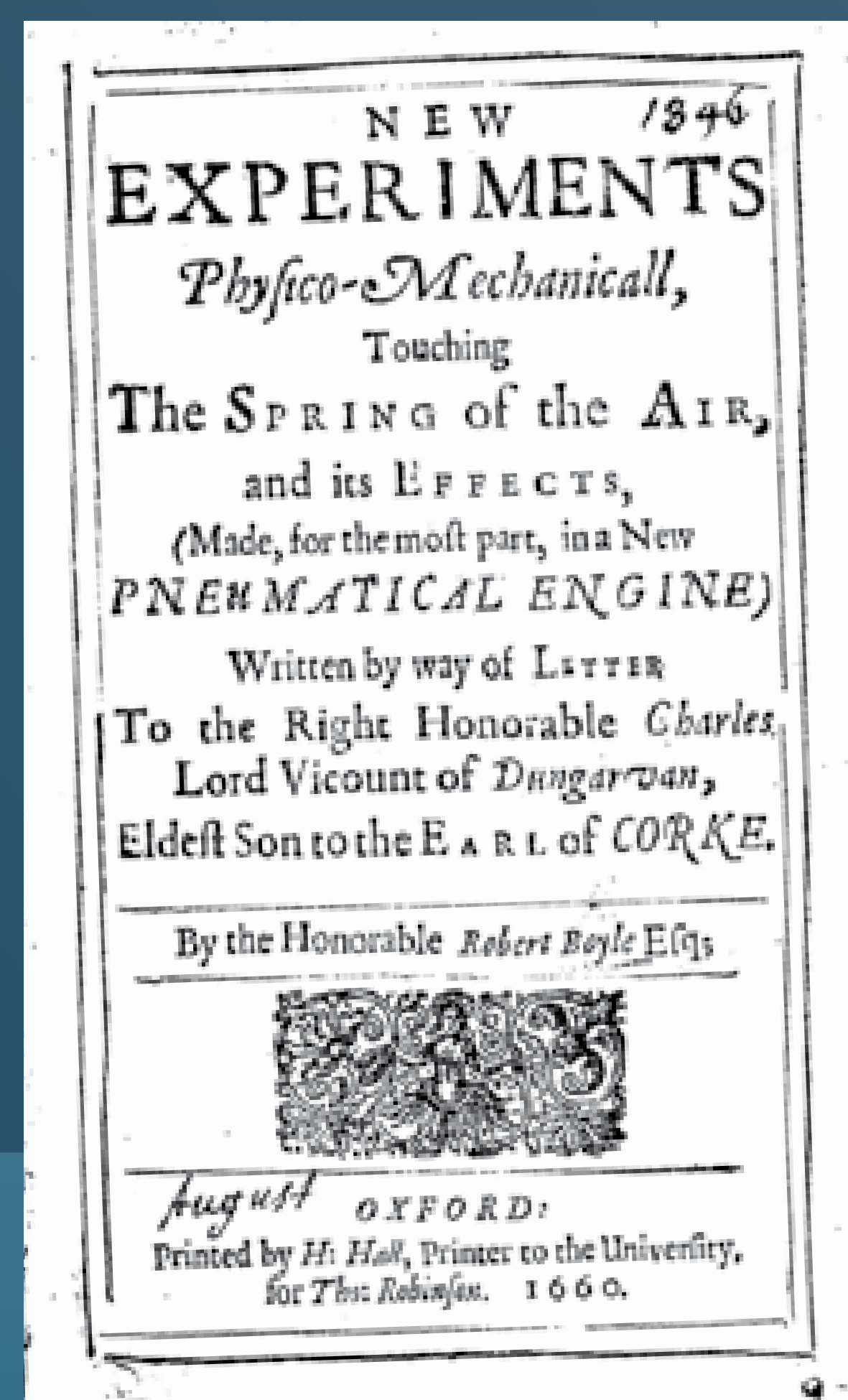
Robert Boyle (1627-1691) rifiuta l'idea di atomi come particelle tutte uguali, provviste solo di proprietà meccaniche, ipotizzando invece caratteristiche chimiche. Nel suo famoso *Sceptical Chymist*, Boyle asserisce che tutti gli elementi sono dovuti a combinazioni di "minuscole particelle".



Johann Kerseboom,
Robert Boyle,
olio su tela



Pierre
Gassendi



Robert Boyle,
copertina di una
edizione del 1660
de *Nuovi esperimenti*

NASCITA DELLA CHIMICA MODERNA

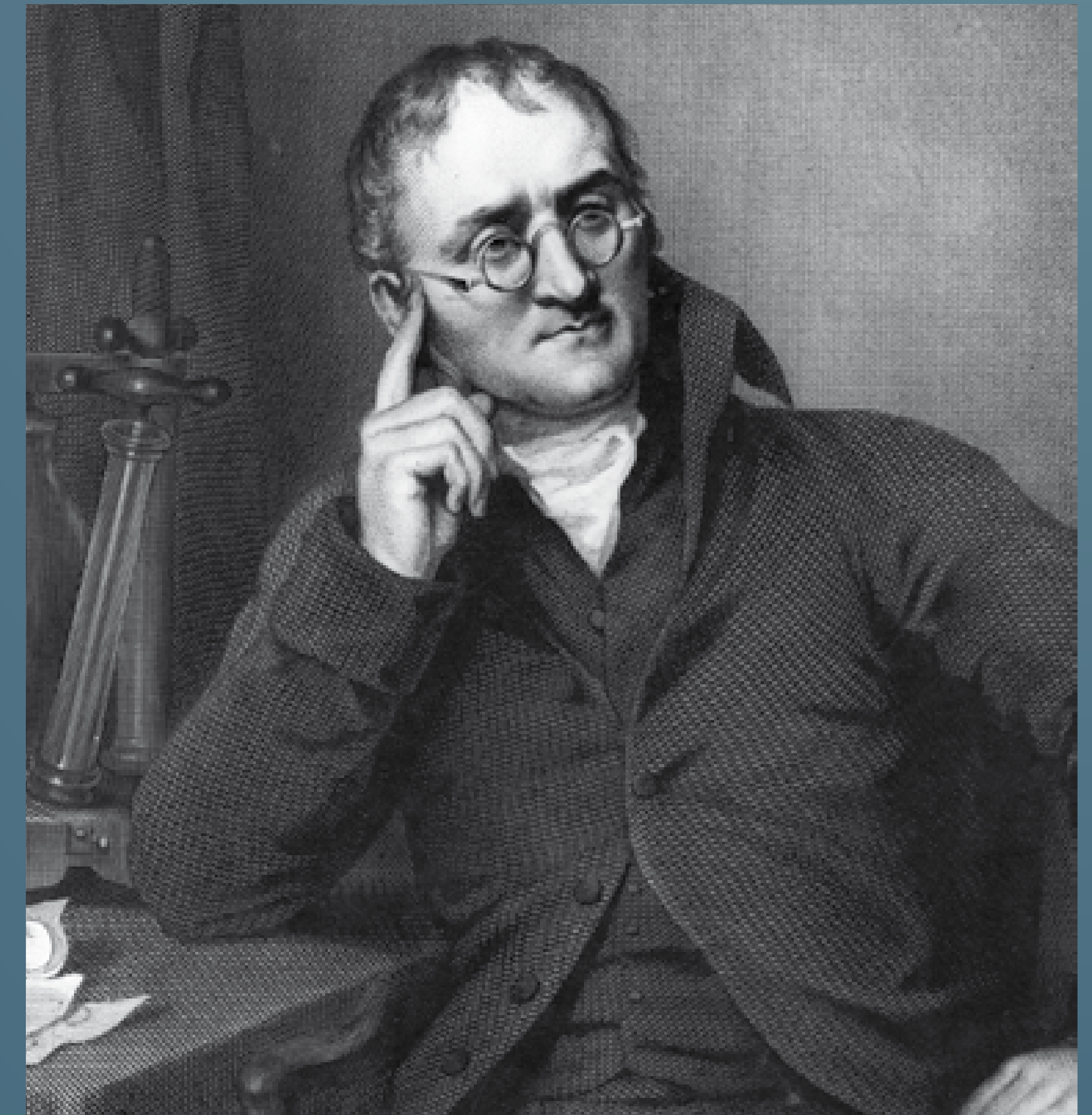


Jacques-Louis David,
Antoine-Laurent Lavoisier
e sua moglie,
1788

La conferma delle ipotesi atomistiche arriva un secolo dopo, grazie ai chimici Antoine-Laurent Lavoisier (1743 -1794), John Dalton (1766 -1844), e William Prout (1785-1850). Al francese Lavoisier si deve la scoperta che nelle trasformazioni chimiche, la materia non viene né distrutta né creata, ma solo trasformata.

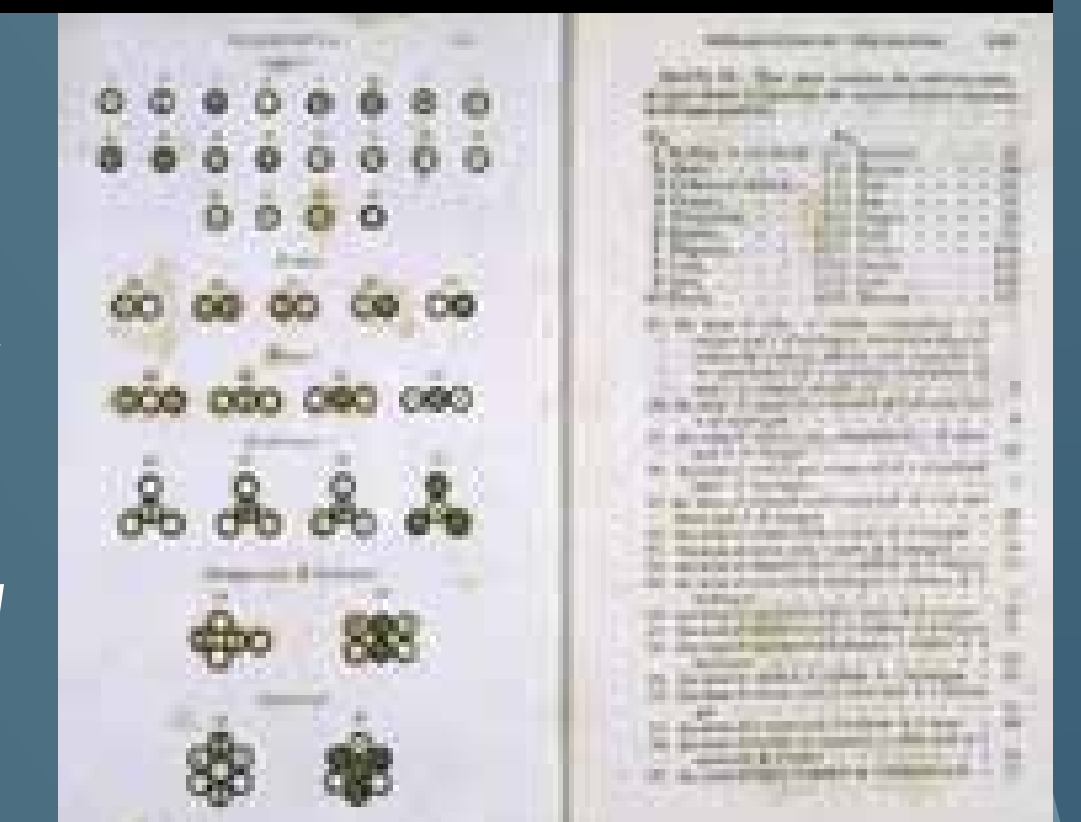
Joseph-Louis Proust (1754 -1826) osserva che in ogni reazione chimica gli elementi si combinano in un rapporto di masse determinato e costante. Per spiegare questa legge l'inglese Dalton propone nel 1803 l'ipotesi atomica e formula il primo modello atomico basato su dati fisici e non solo sull'intuizione filosofica:

1. la materia è costituita da atomi dotati di massa e volume;
2. ciascun elemento chimico è formato da specifici atomi tutti uguali;
3. atomi uguali o diversi possono unirsi tra loro a formare un composto, costituito da un numero di atomi sempre fisso e costante;
4. quando due atomi diversi formano più di un composto, a una quantità fissa del primo corrispondono quantità multiple del secondo.



Joseph Allen,
John Dalton,
1895

John Dalton,
New System of
Chemical Philosophy,
1808



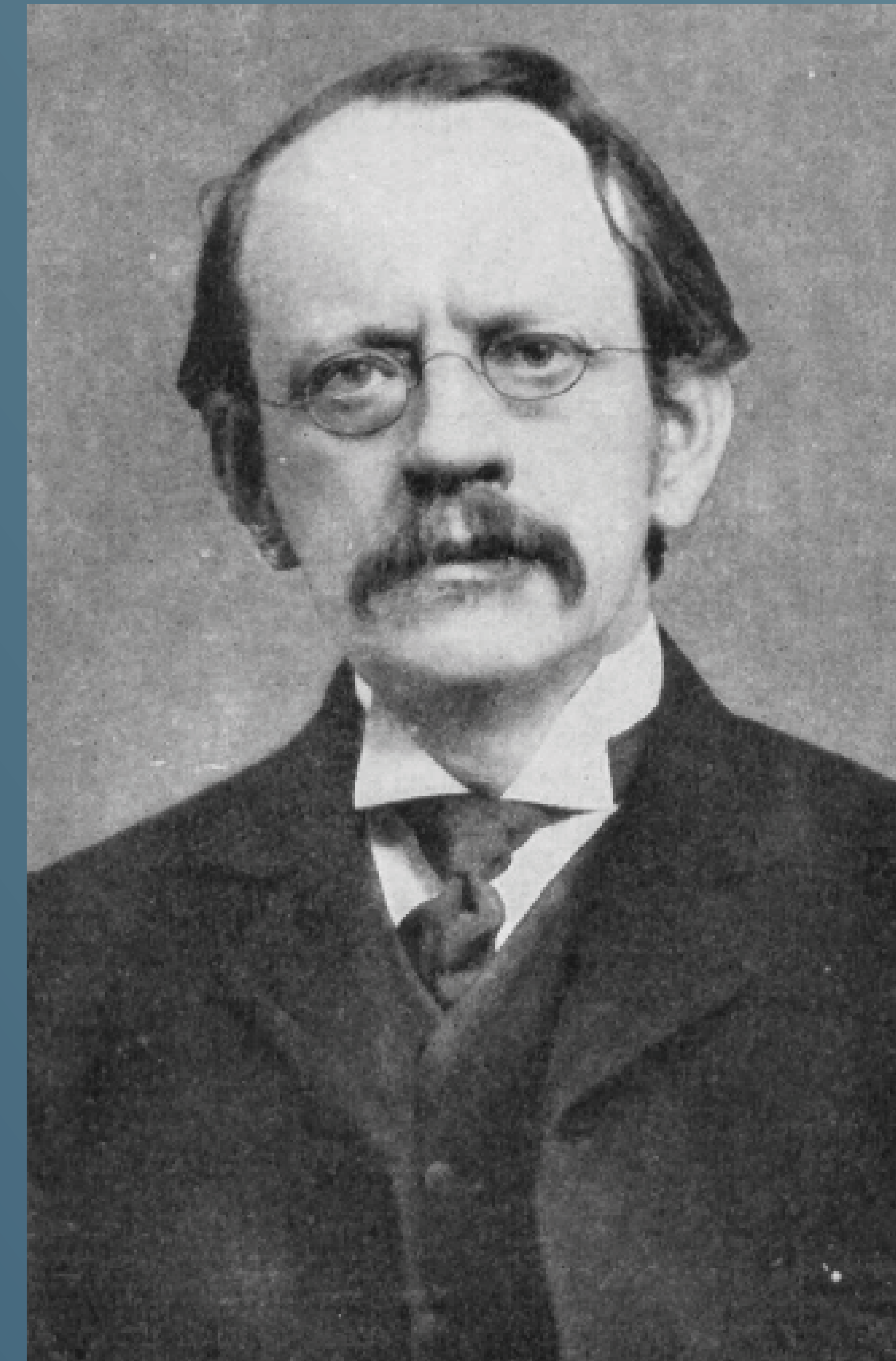
Alcuni strumenti di
laboratorio di Lavoisier

William Prout nel 1815 cerca di dimostrare che i pesi atomici degli elementi chimici sono tutti multipli del peso atomico dell'idrogeno. Ma il chimico belga Jean Stas (1813 -1891), con accuratissimi esperimenti, concluse che l'ipotesi di Prout non era corretta. Fu soltanto grazie alla classificazione periodica degli elementi di Dmitrij Ivanovic Mendeleev (1834 - 1907), alla scoperta degli isotopi e a quella del neutrone che si riuscì a capire come alcuni elementi potessero avere pesi atomici frazionari.

Tra gli atomisti, vanno anche ricordati Johann Loschmidt (1821-1895), che ha tentato di calcolare il diametro di una molecola d'aria, Rudolf Clausius (1822 -1888), che sviluppò una teoria cinetica dei gas, e James Clerk Maxwell (1831-1879) che calcolò la distribuzione statistica delle velocità delle molecole dei gas.

LE PARTICELLE SUBATOMICHE

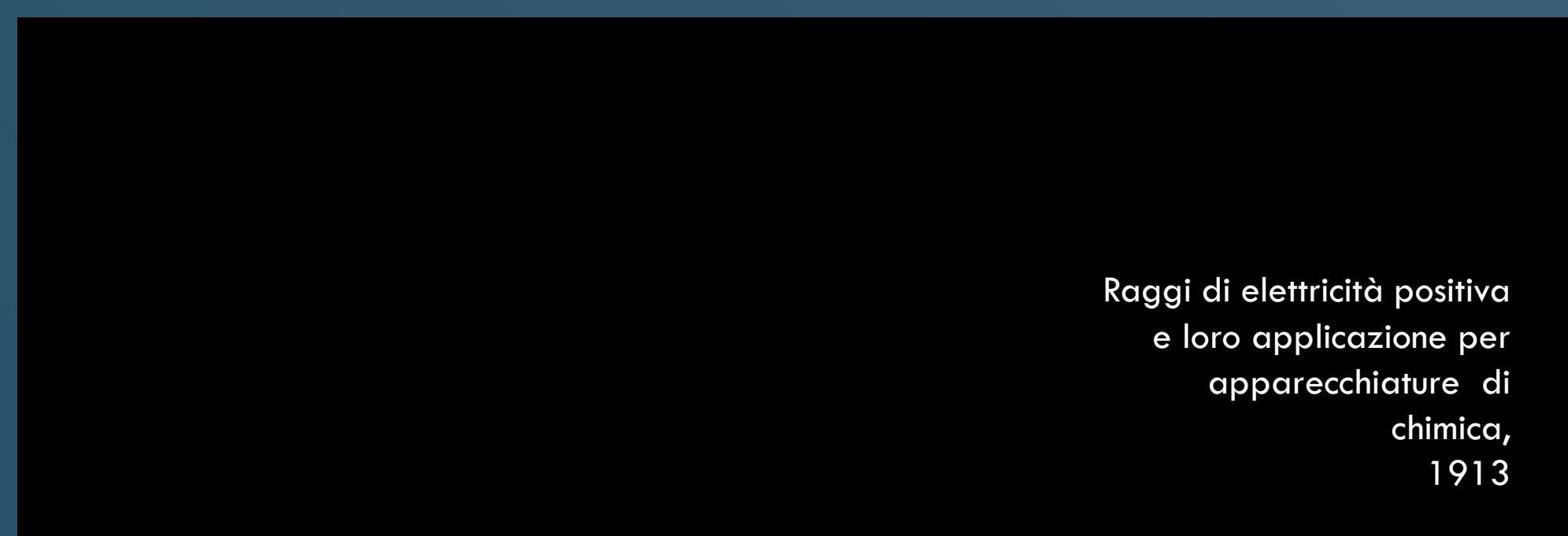
Un passo fondamentale della “storia dell’atomo” avviene nel 1904: Joseph John Thomson (1856-1940) scoprì che, facendo passare delle scariche elettriche attraverso un gas molto rarefatto, si producevano dei raggi luminescenti provenienti dal catodo (elettrodo negativo). Thomson concluse che tali raggi consistevano di particelle dotate di carica elettrica negativa e di massa piccolissima, uguali qualunque fosse il gas usato per la scarica: le particelle così prodotte vennero chiamate elettroni. Thomson ipotizzò allora che gli atomi non fossero indivisibili e propose nel 1906 un primo modello di atomo.



Joseph John Thomson

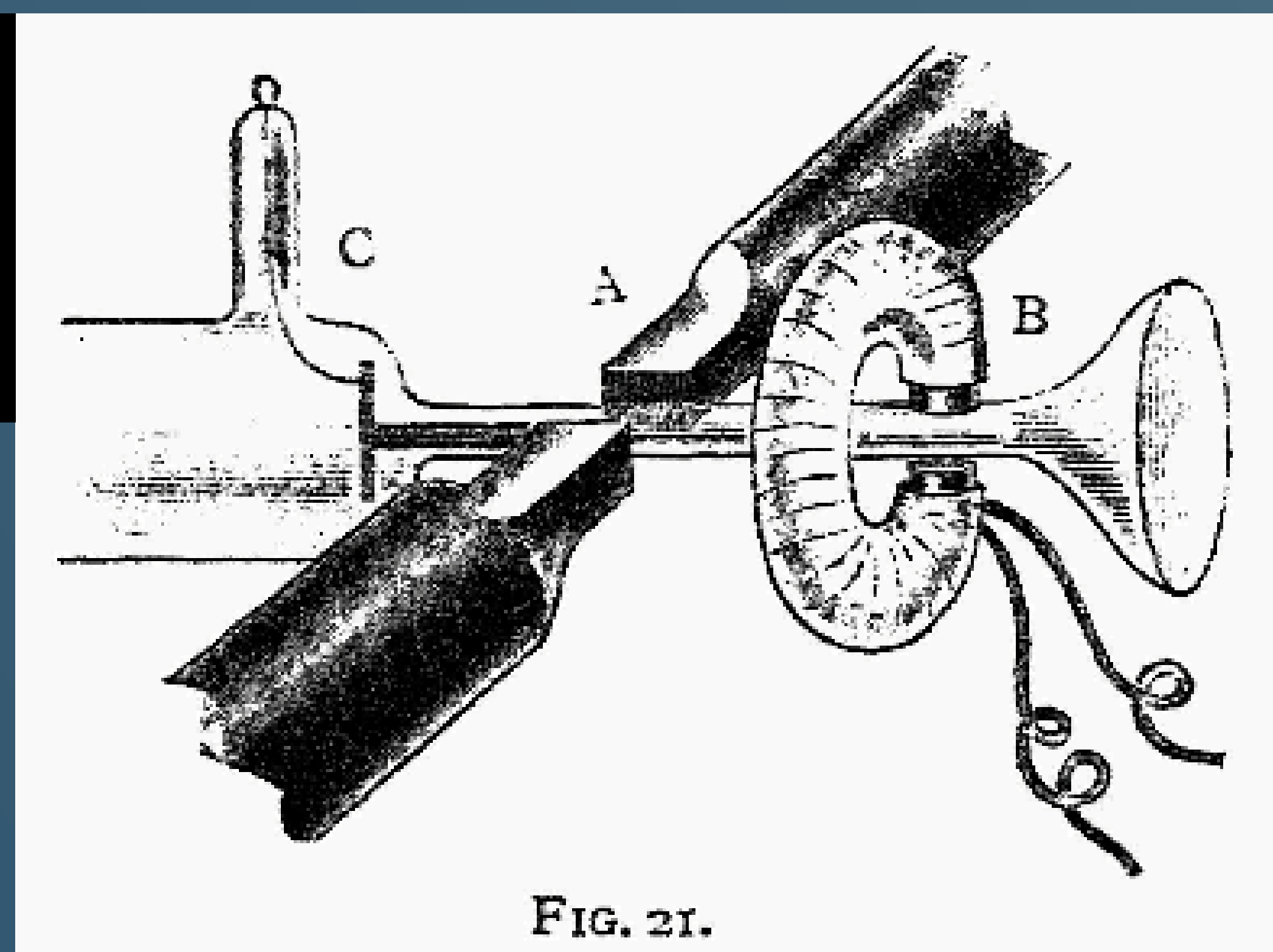


Conferenza di Solvay, 1913



Raggi di elettricità positiva e loro applicazione per apparecchiature di chimica, 1913

Da qui inizia quella che potremmo definire l’era dell’atomo, una grande impresa scientifica che, affondando le sue radici nell’antica Grecia, si protende verso il futuro, portando l’uomo sempre più vicino a scoprire la struttura ultima della materia.



Tutti e tre contengono
602 214 129 000 000 000 000 000
particelle (atomi o molecole)

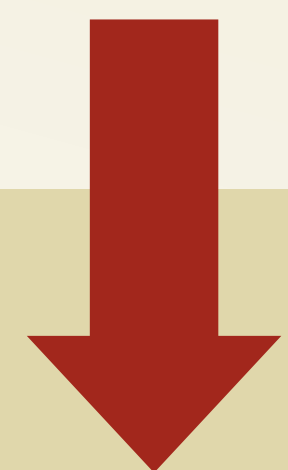
È IL NUMERO DI AVOGADRO



Amedeo Avogadro (1776-1856) stabilì la distinzione tra atomi e aggregati di atomi (molecole) e affermò che una quantità in grammi pari al peso atomico di qualunque elemento contiene lo stesso numero di atomi o molecole.

Una piramide formata da un tale numero di palline da ping-pong avrebbe una base di circa 4.872 km e un'altezza di circa 3.445 km.

FERRO



ACQUA



ARIA





SI ALZA IL SIPARIO SUL MONDO SUBATOMICO

Negli ultimi anni dell'Ottocento, mentre molti fisici ritenevano di essere giunti alla completa comprensione dei fenomeni naturali, emergevano delle evidenze sperimentali che sfidavano alcune certezze della fisica classica.

Lo studio dei raggi catodici aveva portato J. J. Thomson alla scoperta degli elettroni, ottenendo la prima prova dell'esistenza di una particella subatomica. Ma il fatto che la materia fosse costituita da atomi apparentemente indivisibili aveva molti riscontri e questi nuovi risultati non furono accettati facilmente.

Nel frattempo erano comparsi due ulteriori fenomeni del tutto sconosciuti: i raggi X e la radioattività, la cui origine e i cui effetti faceva supporre una natura complessa degli atomi.

Sul versante della chimica, la tavola periodica mostrava l'insufficienza del criterio di ordinamento basato sui pesi atomici e non rispondente alle proprietà chimiche degli elementi.

Ce n'era a sufficienza per mettere in discussione l'idea di atomo come particella elementare indivisibile e aprire la domanda sulla sua configurazione interna.

COSA C'È DENTRO UN ATOMO?

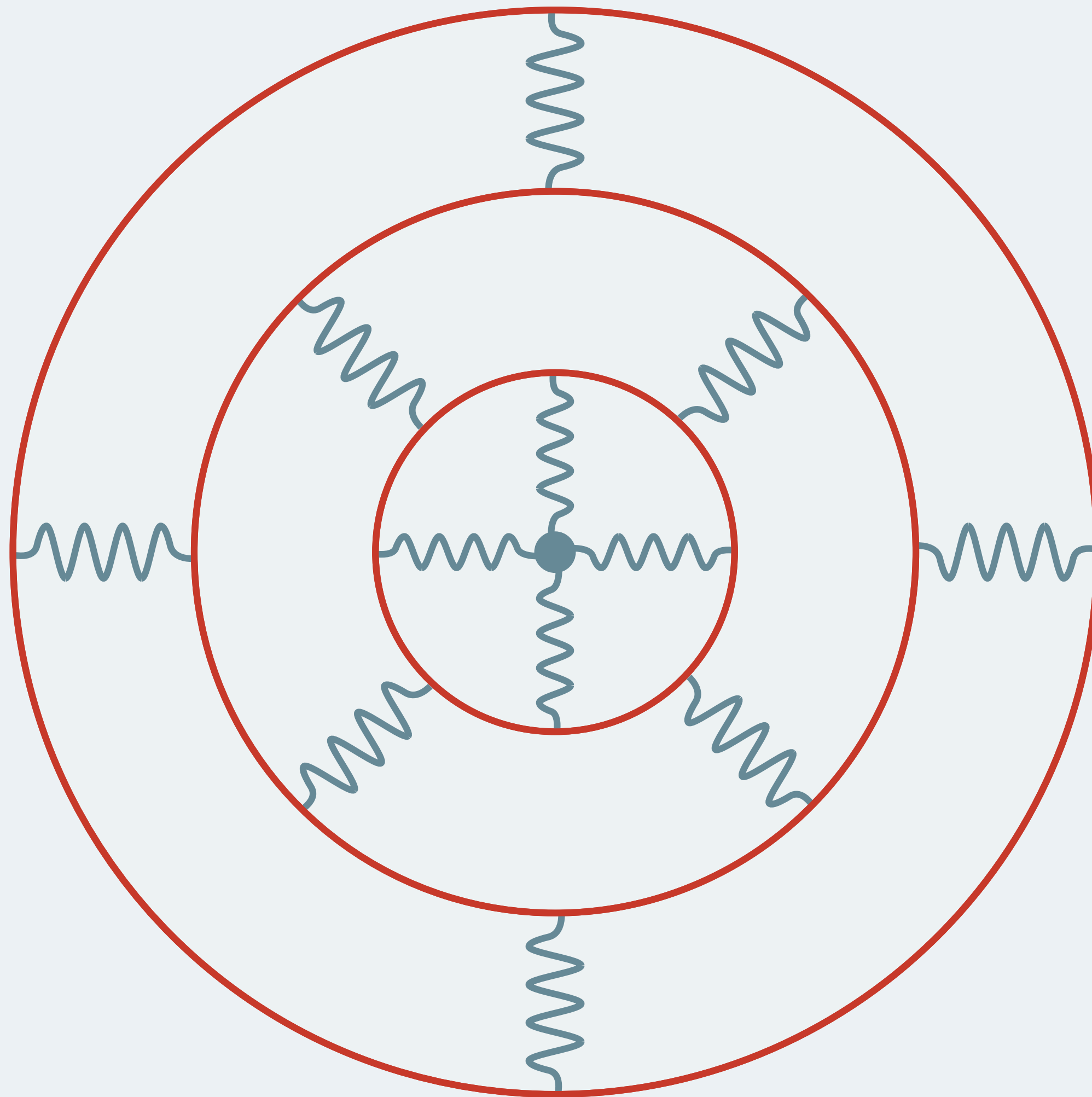
La scoperta dell'elettrone, cioè di una particella di massa 2000 volte minore di quella dell'atomo più leggero, l'idrogeno, apriva il problema della struttura dell'atomo, che non poteva più essere considerato un "indivisibile".

La presenza degli elettroni negativi nell'atomo doveva però prevedere anche quella di una carica positiva che garantisse la neutralità elettrica. Ma su questa supposta carica positiva non si sapeva nulla. A questo punto si scatena la fantasia dei fisici teorici per elaborare ipotesi sulla struttura atomica.

Uno dei problemi da affrontare è che se si suppongono gli elettroni in movimento, l'atomo diventa instabile, per l'emissione di radiazione elettromagnetica da parte degli elettroni stessi. Questo problema è particolarmente grave se si suppone un modello di tipo planetario, cioè con la carica positiva e la quasi totalità della massa al centro dell'atomo e gli elettroni intorno. Inoltre la materia allo stato condensato, solido o liquido che sia, è praticamente incompressibile; per questo motivo diversi modelli sono "ad atomo pieno" ovvero a carica positiva e massa diffuse su tutto il volume dell'atomo.

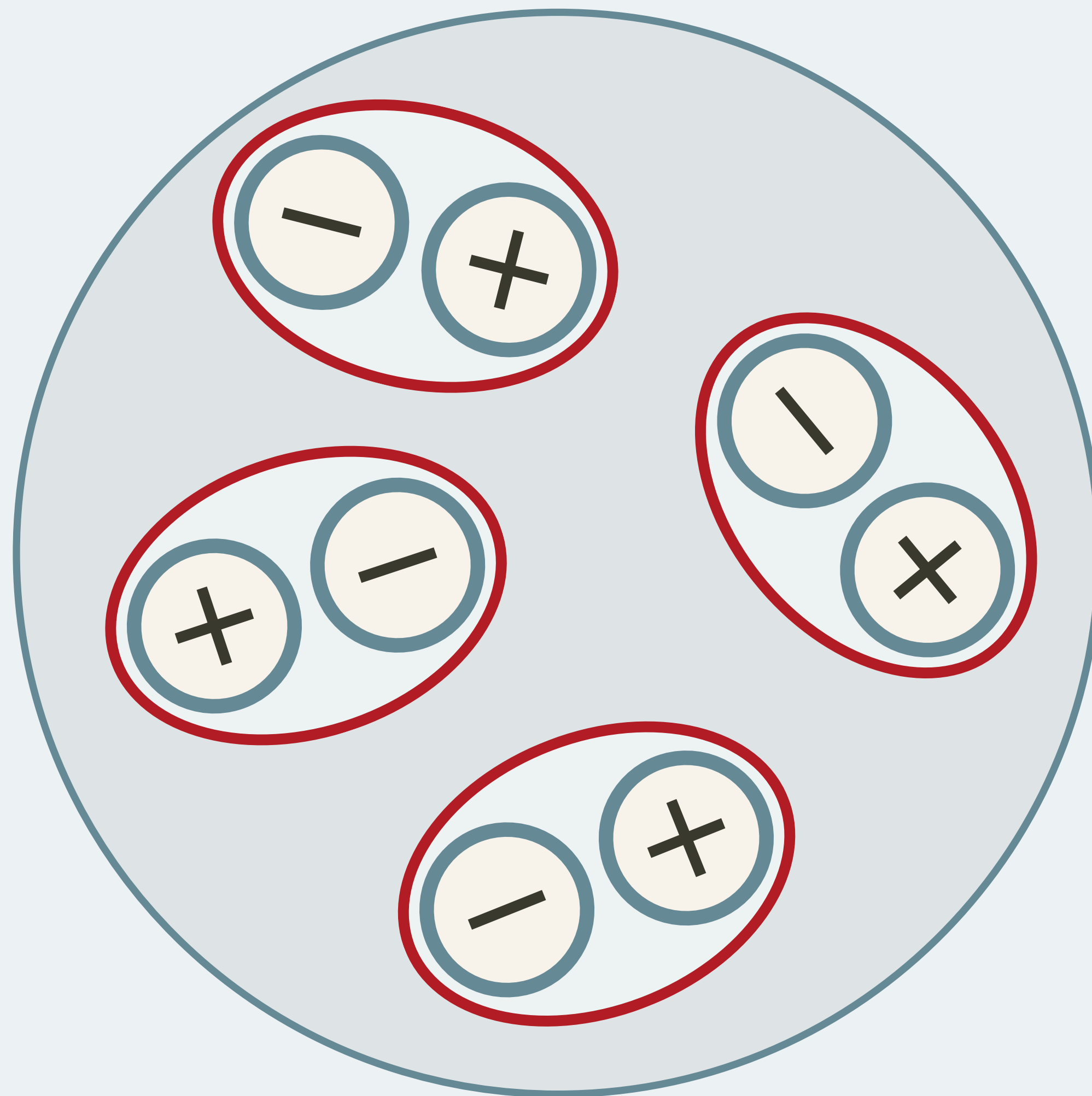


LE MOLLE DI LORD KELVIN



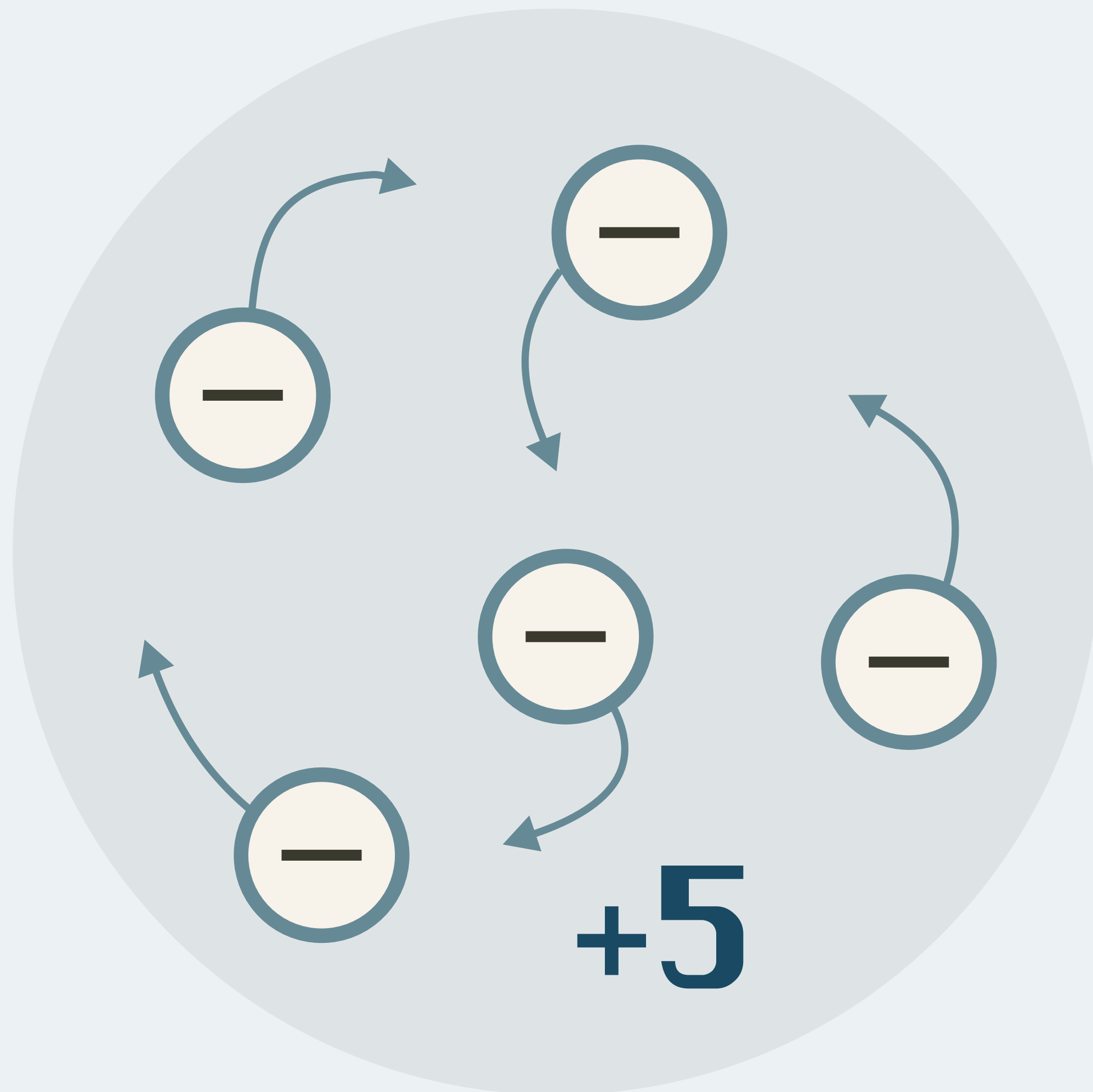
Nel 1902 **Lord Kelvin** (William Thomson) propose un modello dove gli elettroni erano posti su superfici sferiche concentriche unite da sistemi di molle senza masse e capaci di espandersi e comprimersi. Tali sfere potevano ruotare intorno a un nucleo centrale di carica elettrica positiva. La sfera solida contenuta nella cavità sferica fu chiamata globulo. Lo scienziato indicava la cavità sferica e il globulo con il nome di "molecola doppia" o "doppietto". La sfera elastica liscia fu semplicemente detta atomo o atomo singolo.

I DINAMIDI



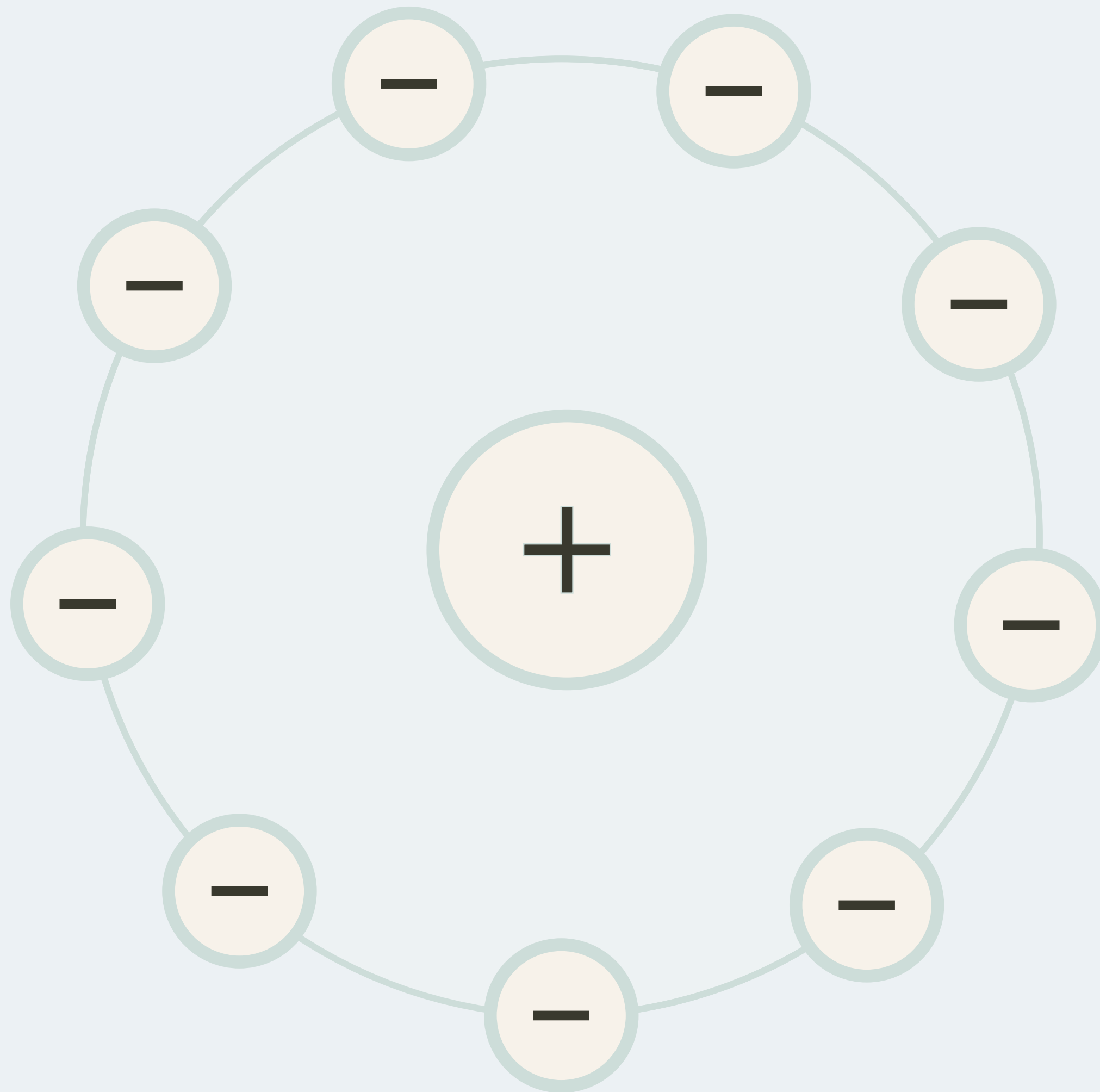
Nel 1903 **Philipp Lenard** suppose che il mattone fondamentale di tutti gli atomi fosse una struttura che egli chiamò *dinamide*, una specie di dipolo tra carica positiva e negativa. Il numero dei dinamidi corrispondeva al numero di massa atomico: per esempio, l'idrogeno era costituito di un solo dinamide, l'elio di 4 e così via. Non era indicata un'ipotesi sulla forza che tiene insieme i dinamidi, ma si ipotizzavano ampi spazi vuoti fra un dinamide e l'altro.

IL PLUM-PUDDING



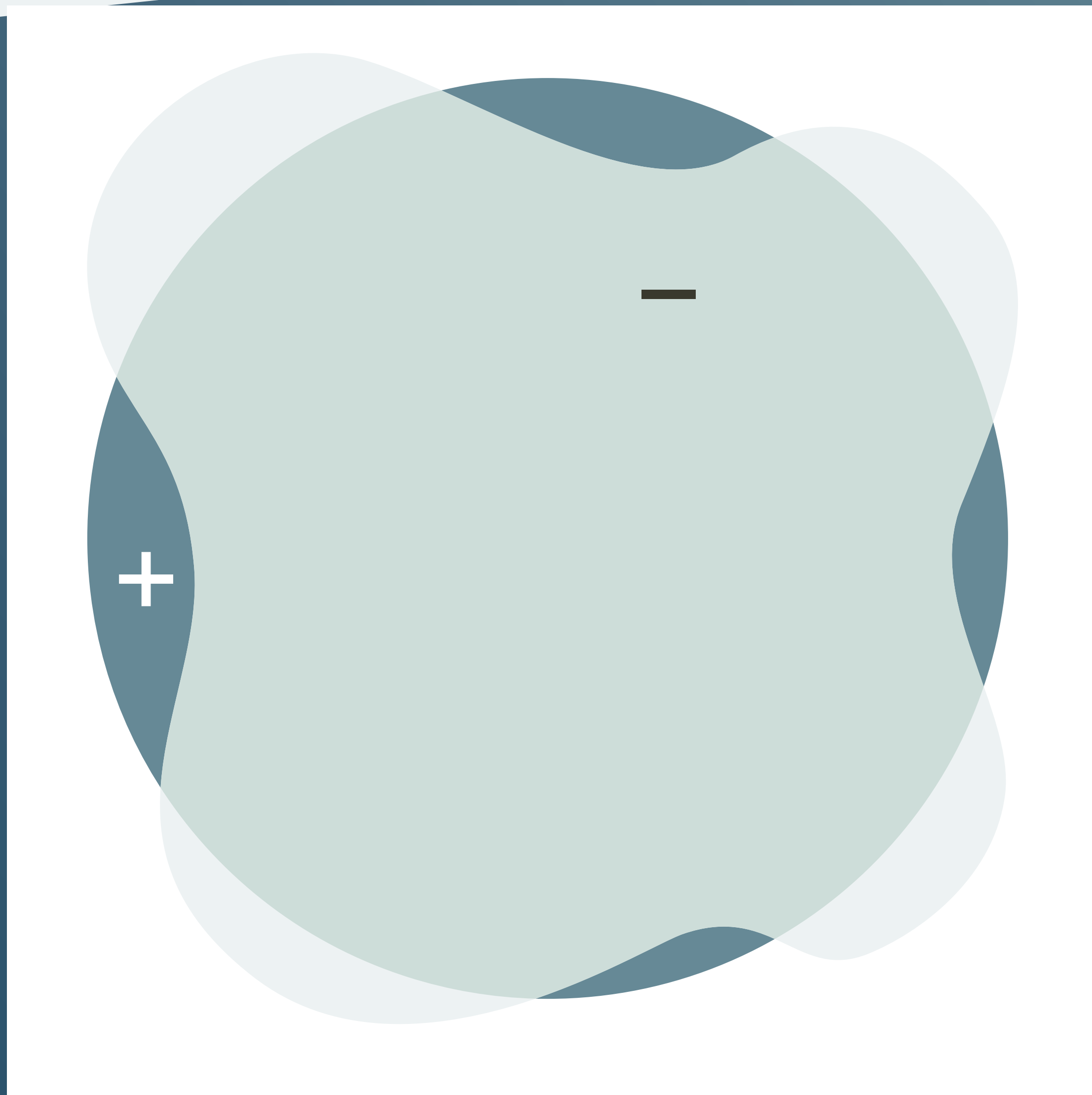
Nel modello di **J. J. Thomson** (1904) le particelle elettrizzate negativamente sono situate dentro una sfera uniformemente elettrizzata positivamente e mosse rapidamente in modo da formare una serie di anelli: le particelle di ciascun anello giacciono in un piano perpendicolare all'asse di rotazione e il loro numero diminuisce al diminuire del raggio dell'anello. Il modello di Thomson riscosse un notevole interesse, perché creava un collegamento con la chimica: i suoi anelli di elettroni corrispondevano alle righe della tavola di Mendeleiev.

COME GLI ANELLI DI SATURNO



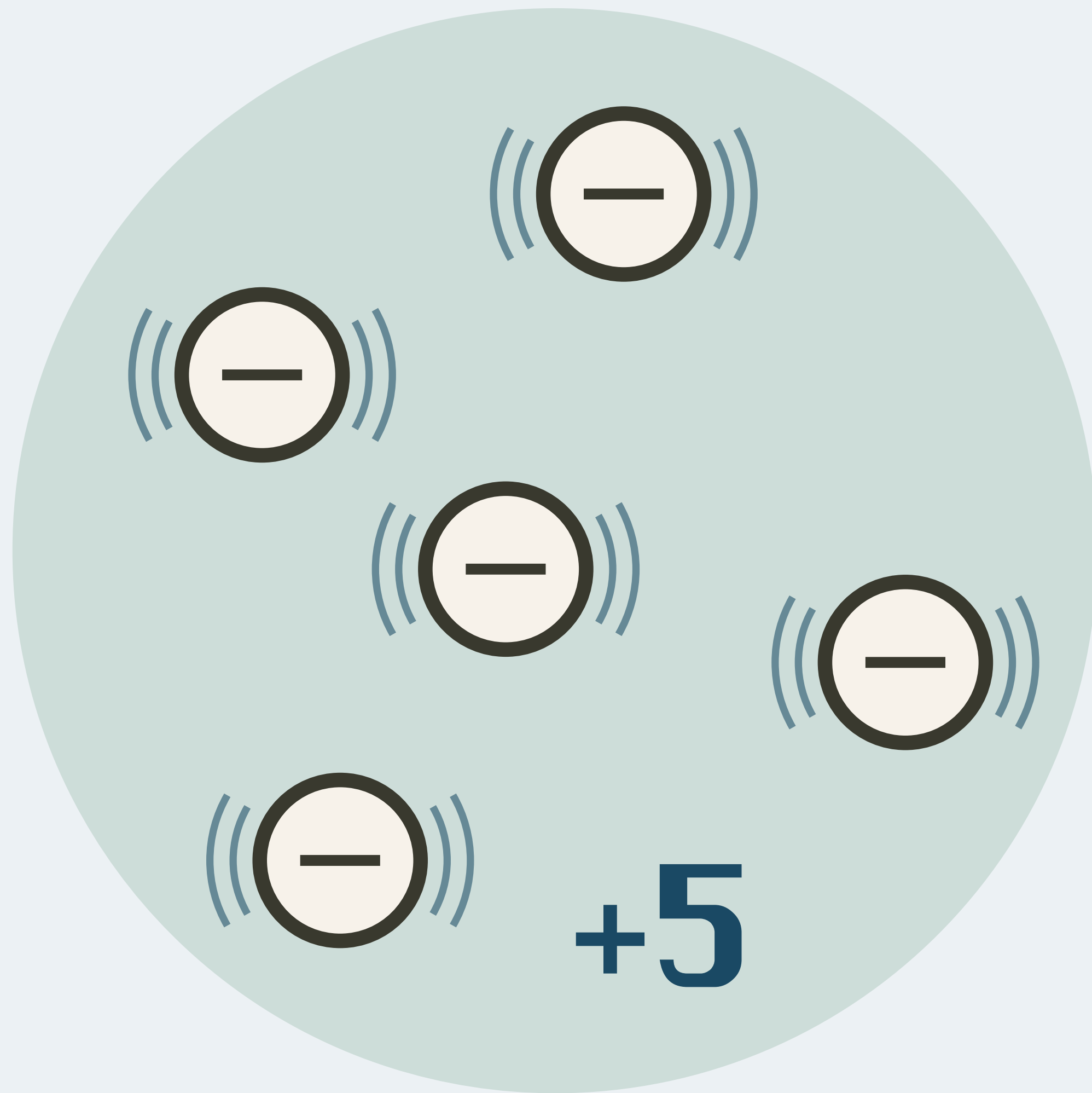
Nel 1904 **Hantaro Nagaoka**, con evidente richiamo a un modello degli anelli di Saturno elaborato da Maxwell nel 1859, elaborò un modello di atomo costituito da una grande massa centrale dotata di carica positiva intorno alla quale, come gli asteroidi degli anelli di Saturno, ruotavano gli elettroni negativi. La repulsione fra gli elettroni veniva equilibrata dall'attrazione verso la massa centrale.

UN PANETTONE SENZA UVETTE



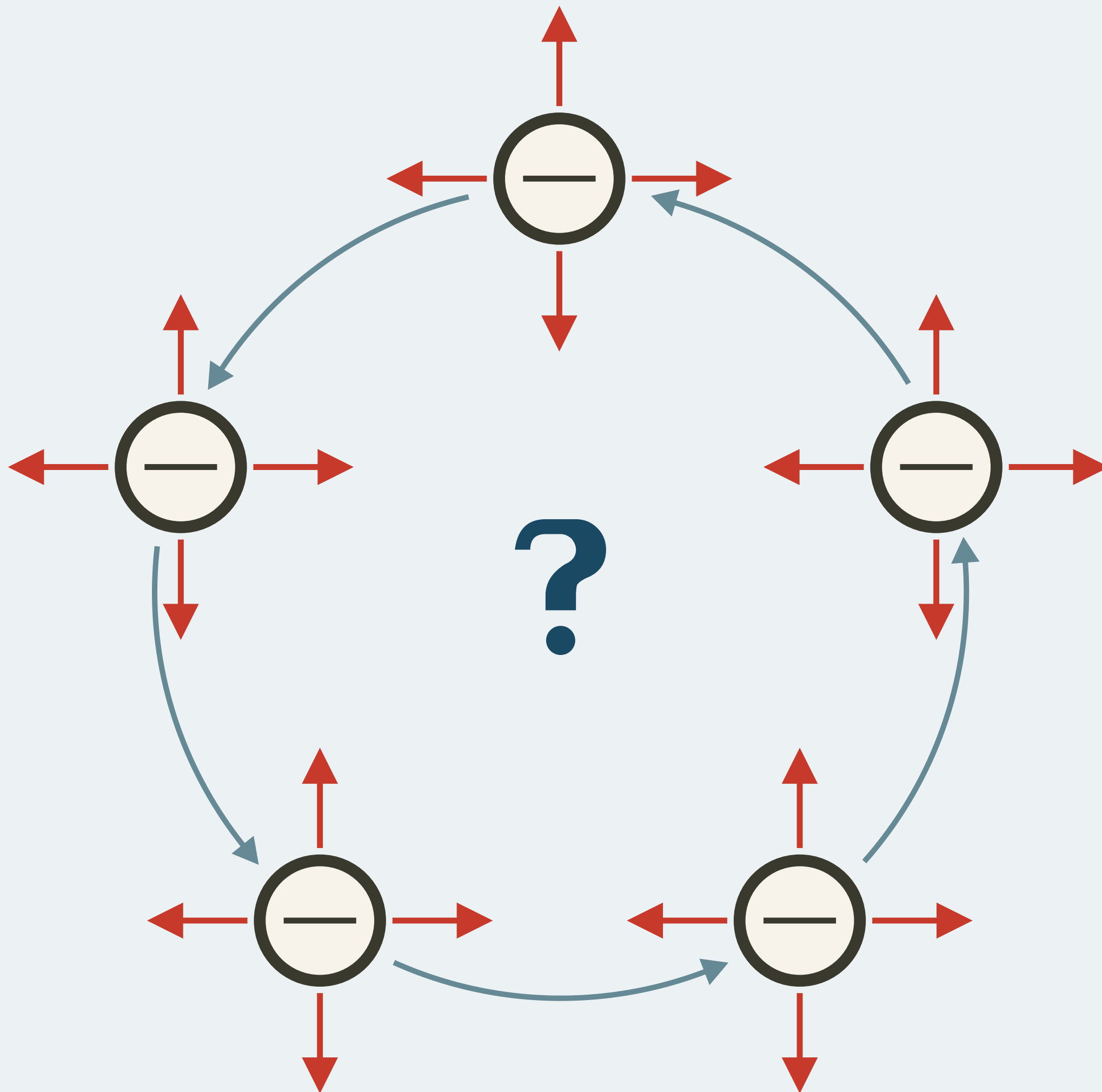
Nel 1906 **Jonh W.S. Rayleigh** si gettò nell'arena dei modelli atomici con una modifica del modello di Thomson: egli prese in considerazione un sistema limite in cui il numero degli elettroni era così grande che poteva essere approssimato da una "nebbia", da un "fluido" continuo di cariche negative.

L'ELETTRONE "VIBRANTE"



Nel 1906 **James Jeans** propose un modello in cui l'elettrone aveva una struttura interna, le cui vibrazioni causavano l'emissione degli spettri luminosi.

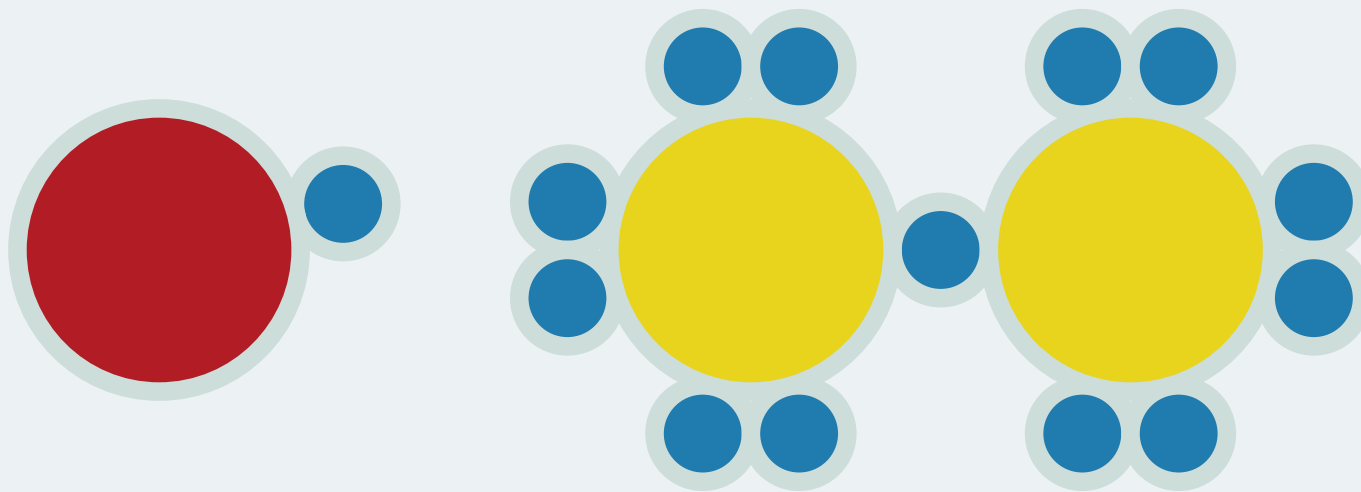
L'ELETTRONE "IN ESPANSIONE"



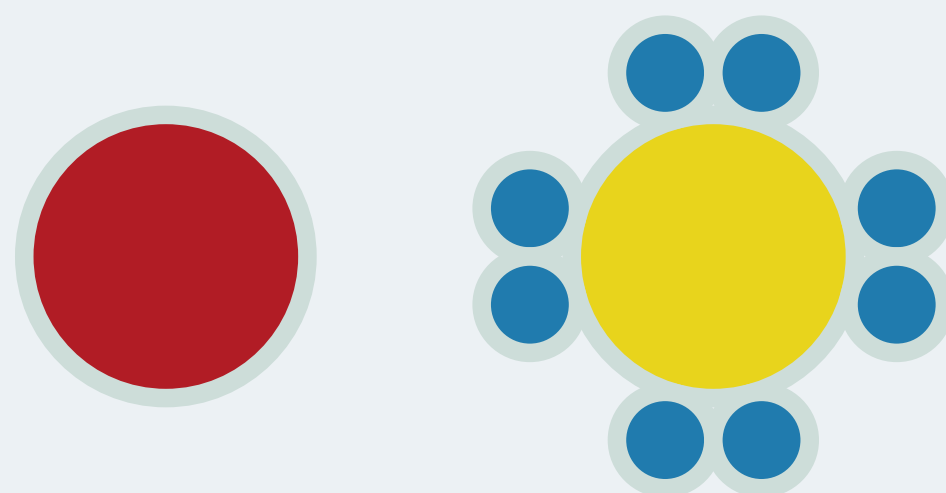
Nel 1906 **George A. Schott** suggerì, come Jeans, che l'elettrone dovesse essere più complicato di una particella puntiforme. Fece quindi l'ipotesi che le peculiari frequenze dell'atomo si originassero da un elettrone che si espande a ritmo molto lento.

LA TEORIA ELETTRONICA DI RAMSAY

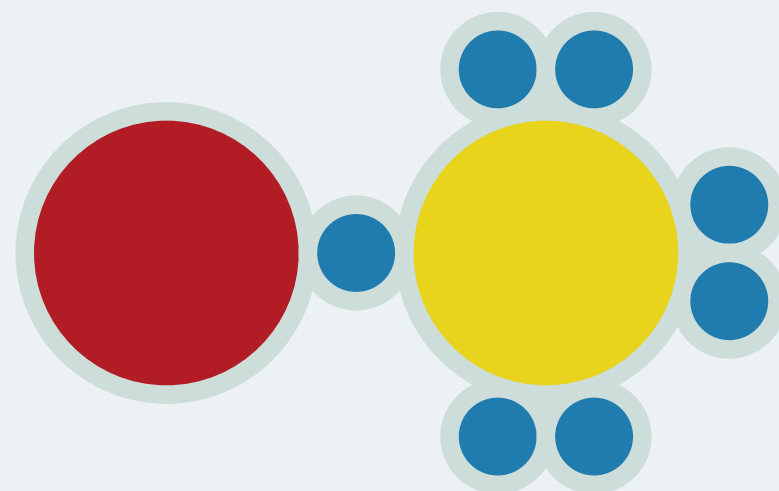
Molecola di sodio metallico (NaE) e di cloro (Cl_2e_{13}) entrambe neutre



Il sodio senza un elettrone diventa lo ione sodio (Na^+), il cloro con un elettrone in più diventa lo ione cloruro (Cl_2e_8^-)



Lo ione cloruro condivide il proprio elettrone con lo ione sodio, formando la specie neutra cloruro di sodio (NaCl_2e_8)



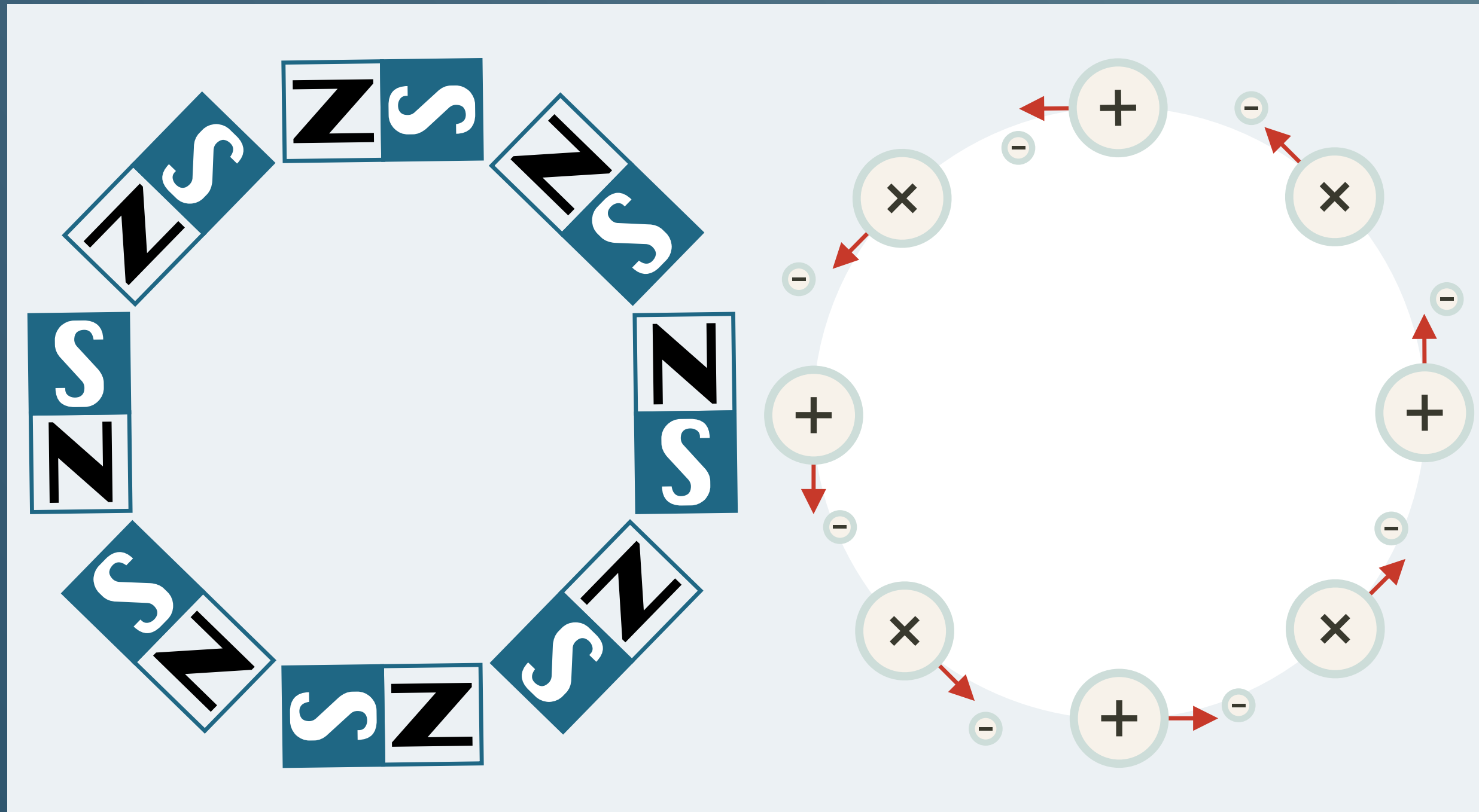
William Ramsay propose nel 1908 un modello in cui l'elettrone non era una particella dell'atomo ma un nuovo tipo di atomo, cioè un nuovo elemento, con la peculiarità di avere:

una carica negativa (mentre gli altri atomi erano neutri), una massa irrisoria (attorno a un atomo potevano rotolare fino a otto elettroni).

Un elemento era neutro quando aveva attorno a sé il giusto numero di elettroni.

Gli atomi possono cambiare il numero di elettroni, diventando carichi, cioè ioni, o condividerli, creando legami.

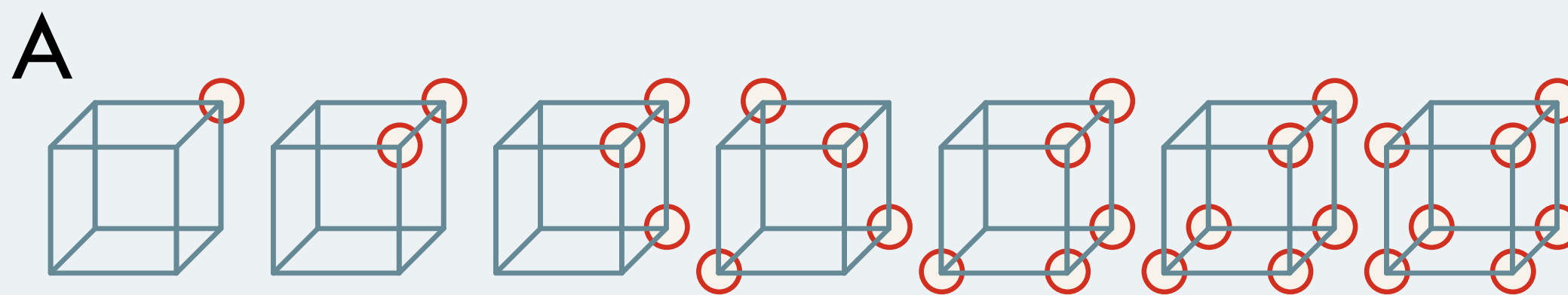
GLI "ARCHIONI"



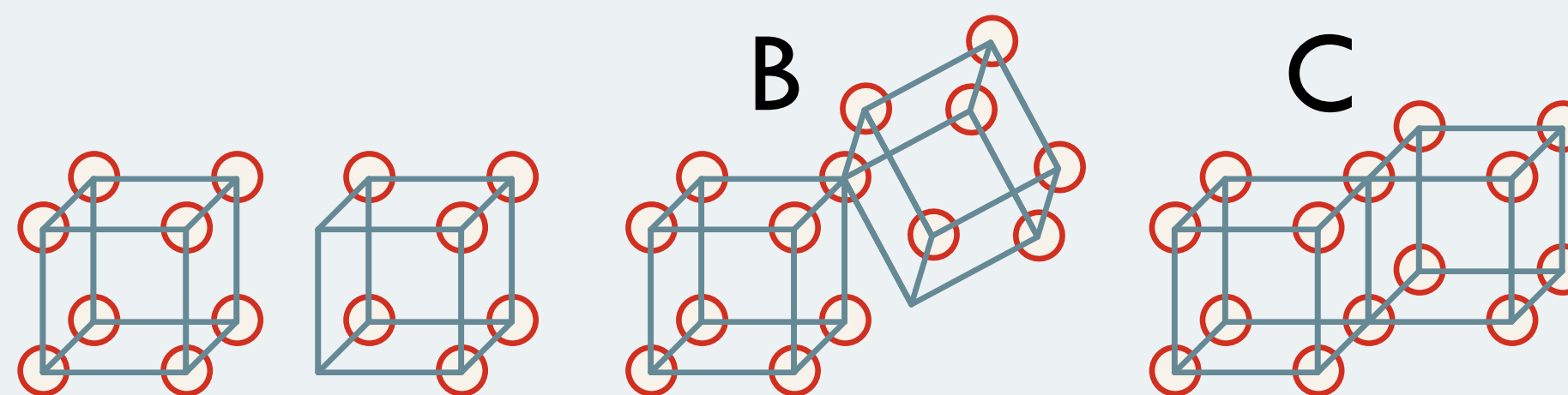
Nel 1910 **Johannes Stark** suppose che l'atomo fosse composto di "archioni", cariche positive rotanti (un'idea vicina al moderno concetto di protone), così da costituire dei dipoli magnetici; in questo modo la struttura dell'atomo era una specie di anello tenuto insieme da forze magnetiche. C'è però un problema: gli archioni si respingono gli uni gli altri, essendo carichi positivamente, e la forza dovuta al dipolo magnetico è troppo piccola per contrastare la repulsione. Stark risolse il problema inserendo elettroni fra gli archioni successivi in modo da neutralizzare la repulsione e rendere il sistema stabile.

L'ATOMO "CUBICO"

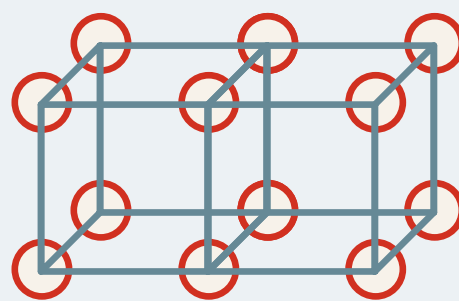
Nel 1902 **Gilbert N. Lewis** aveva proposto una struttura "cubica" allo scopo di interpretare in termini di elettroni il fenomeno della valenza, con gli elettroni posizionati agli otto vertici di un cubo: non era quindi un modello di atomo quanto un modo per spiegare i legami atomici. Questa, per esempio, è la rappresentazione strutturale degli elementi della seconda riga della tavola periodica.



Legami ionici si formano dal trasferimento di un elettrone da un cubo all'altro (A). Singoli legami covalenti si formano quando due atomi hanno in comune un lato (C). Lewis ipotizza anche uno stadio intermedio con un solo vertice in comune (B).



Doppi legami tra due atomi cubici si formano mettendo in comune una faccia, cioè quattro elettroni.



ATOMO *indivisibile?*

*Domande e
certezze nella scienza*

RAGGI PER TUTTI

I “colpi di scena” che dominano la fisica negli ultimi anni del XIX hanno come protagonisti nuovi tipi di emissioni e nuove apparecchiature in grado di rivelarle.

RAGGI CATODICI

I tubi di vetro detti “catodici” contengono gas rarefatti. A pressioni sufficientemente basse si registra la presenza di raggi invisibili, emessi dall'elettrodo negativo (catodo) e diretti verso quello positivo (anodo), in grado di generare luce se l'anodo è fosforescente. Nel 1897 Thomson dimostrò che i raggi catodici sono particelle con carica negativa, poi denominati elettroni.

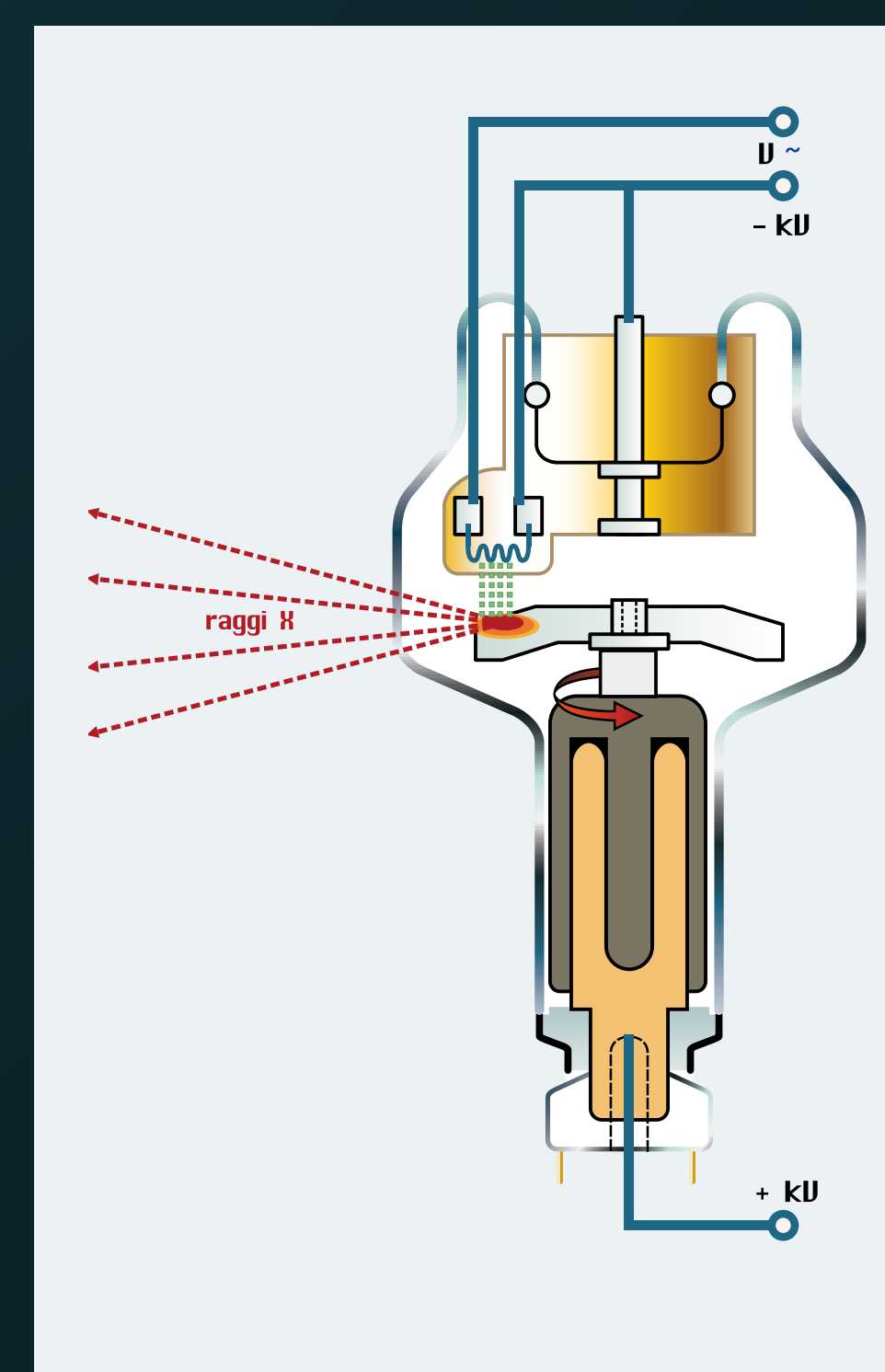
I tubi catodici sono stati per anni i componenti principali dei monitor di TV, PC e oscilloscopi.

Nei tubi detti di Crookes, spesso venivano introdotte barriere che rivelavano la presenza dei raggi; come in questo tubo catodico con mulinello
(cortesia Collegio Rotondi)



RAGGI X

Nel 1895 Roentgen, mentre lavorava con un tubo a raggi catodici, scoprì che uno schermo fosforescente a un metro dal tubo si illuminava. Attribuì la causa a dei raggi sconosciuti (che chiamò “X”) emessi dal punto in cui i raggi catodici colpivano il loro bersaglio. Fu subito evidente che i raggi X potevano attraversare la materia, compresa quella del corpo umano.



Un tubo a raggi X è costituito da una ampolla di vetro sotto vuoto, contenente un catodo e un anodo, alimentati con Alta Tensione (da 40 kV a 150 kV). Il catodo comprende un elemento riscaldatore (filamento). L'anodo è costituito da un disco obliquo di metallo pesante (tungsteno, renio, molibdeno ...). Il filamento emette elettroni che, accelerati dall'alta tensione, vengono proiettati sull'anodo: nell'impatto l'energia cinetica acquisita si trasforma in calore (98%) e solo il 2% circa in radiazione X.

Il disco dell'anodo viene fatto ruotare: ciò evita che gli elettroni lo erodano precocemente e consente una migliore gestione del calore, aumentando la potenza della radiazione.

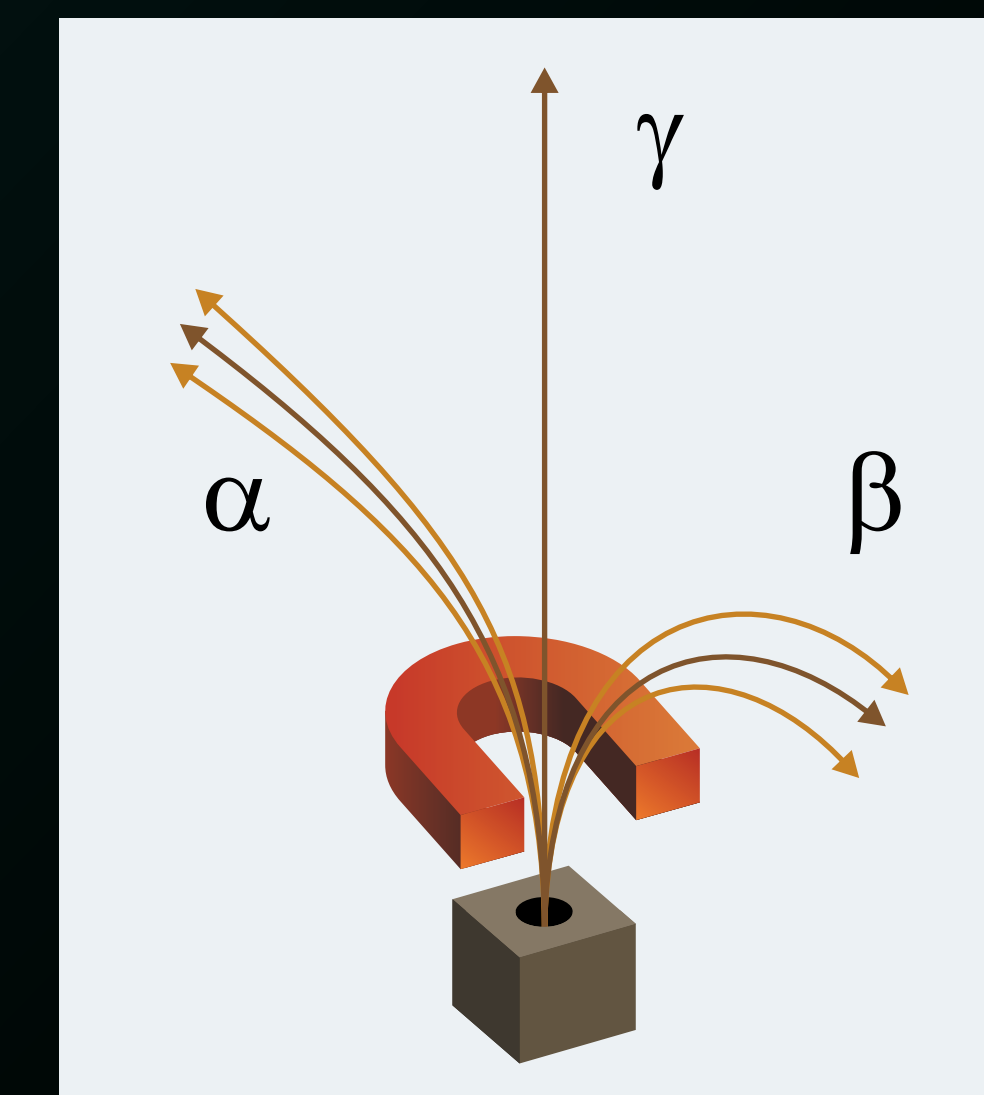
(cortesia Philips SpA)



RADIOATTIVITÀ

Nel 1896 Henri Becquerel scoprì, accidentalmente, il fenomeno della radioattività e nel 1899 i coniugi Curie scoprirono un nuovo elemento radioattivo denominato radio. Si trovò che le emissioni radioattive erano di tre tipi – α (alfa), β (beta), γ (gamma) - con diversa capacità di ionizzazione e diverso potere penetrante; sottoposti a un campo magnetico, assumevano traiettorie diverse mostrando

quindi di possedere una diversa carica elettrica: α positiva, β negativa, γ neutra. Nel 1903 Rutherford ebbe la prova sperimentale che i raggi α erano nuclei di elio ionizzati; si era già scoperto che i raggi β si comportavano come i raggi catodici, quindi erano elettroni; si scoprì che i raggi γ non sono particelle ma onde elettromagnetiche a frequenza maggiore dei raggi X.





indivisibile

«Ormai nella fisica non c'è più niente di nuovo da scoprire. Da fare restano soltanto misurazioni sempre più precise».

Lord Kelvin, 1900



LA SCOPERTA DEL NUCLEO

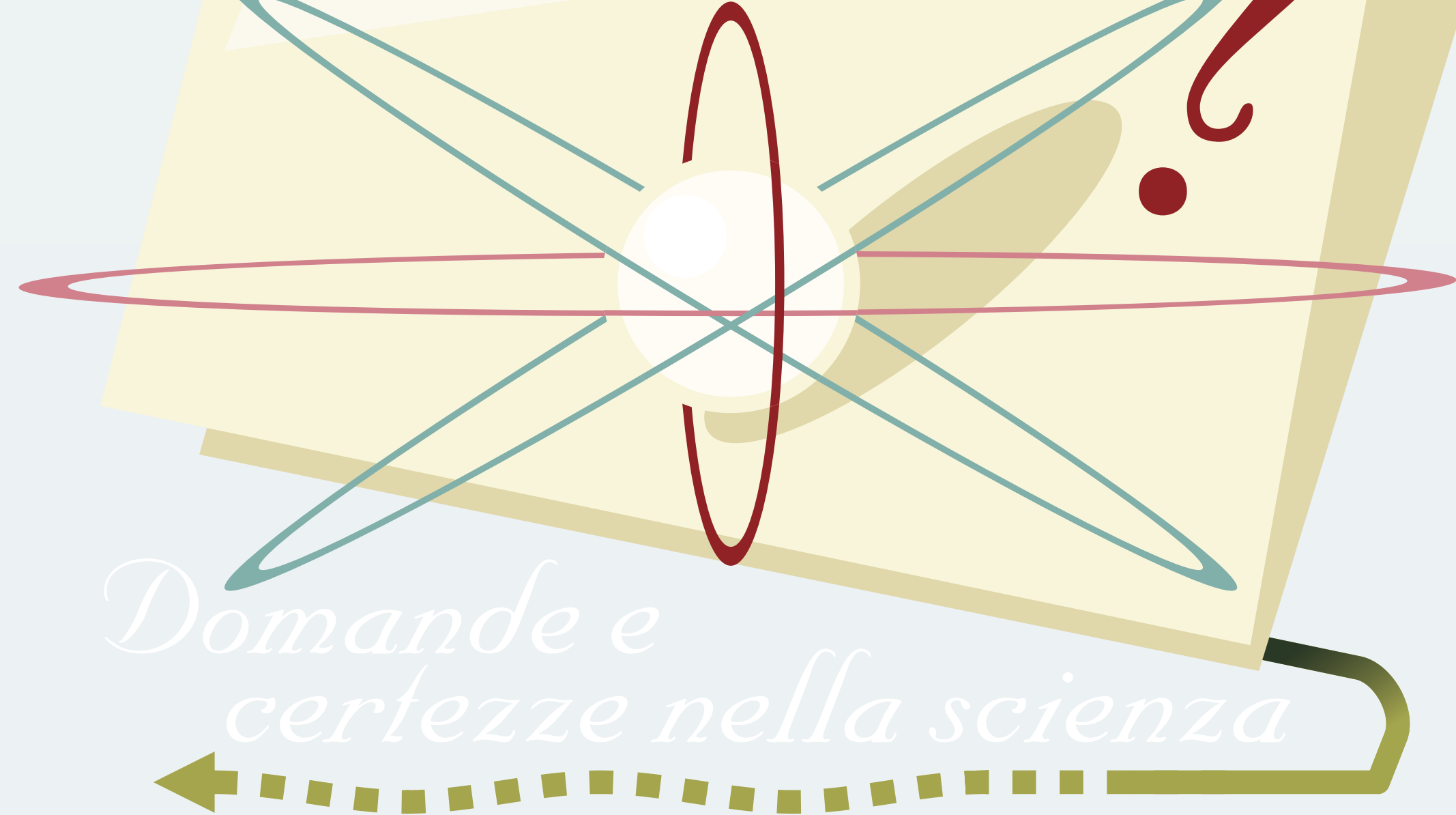
A Manchester Ernest Rutherford era impegnato nella misura precisa delle proprietà delle particelle alfa. Nel 1907 affidò ai due giovani collaboratori Hans Geiger e Ernest Marsden un programma di ricerca per capire meglio il fenomeno della diffusione (scattering) che disturbava tale misura.

Nel 1909 ebbe l'intuizione di verificare se qualche particella alfa potesse essere diffusa ad angoli molto grandi. Con loro grande sorpresa, Geiger e Marsden trovarono che alcune particelle subivano addirittura un rimbalzo all'indietro: l'interpretazione più plausibile di un simile comportamento era che i raggi alfa avessero urtato qualche grosso ostacolo, che non potevano essere i piccoli elettroni.

Ma bisognava raggiungere un grado maggiore di certezza. Rutherford frequentò un corso di statistica per poter eseguire questo tipo di analisi sui dati e, dopo due anni di calcoli e ripensamenti, arrivò alla conclusione che al centro dell'atomo era concentrata tutta la carica positiva in un piccolo e pesante nucleo. La scoperta fu annunciata il 7 marzo 1911 alla *Manchester Literary and Philosophical Society* e poco dopo Rutherford inviò al *Philosophical Magazine* un lungo articolo descrittivo della sua ricerca.

Tuttavia Rutherford non era ancora soddisfatto. Fece iniziare a Geiger e Marsden un nuovo programma di misure accurate della frazione di particelle alfa diffuse ai vari angoli per verificare se si accordavano con le formule da lui proposte nell'articolo. Nel 1913 i dati vennero confermati.

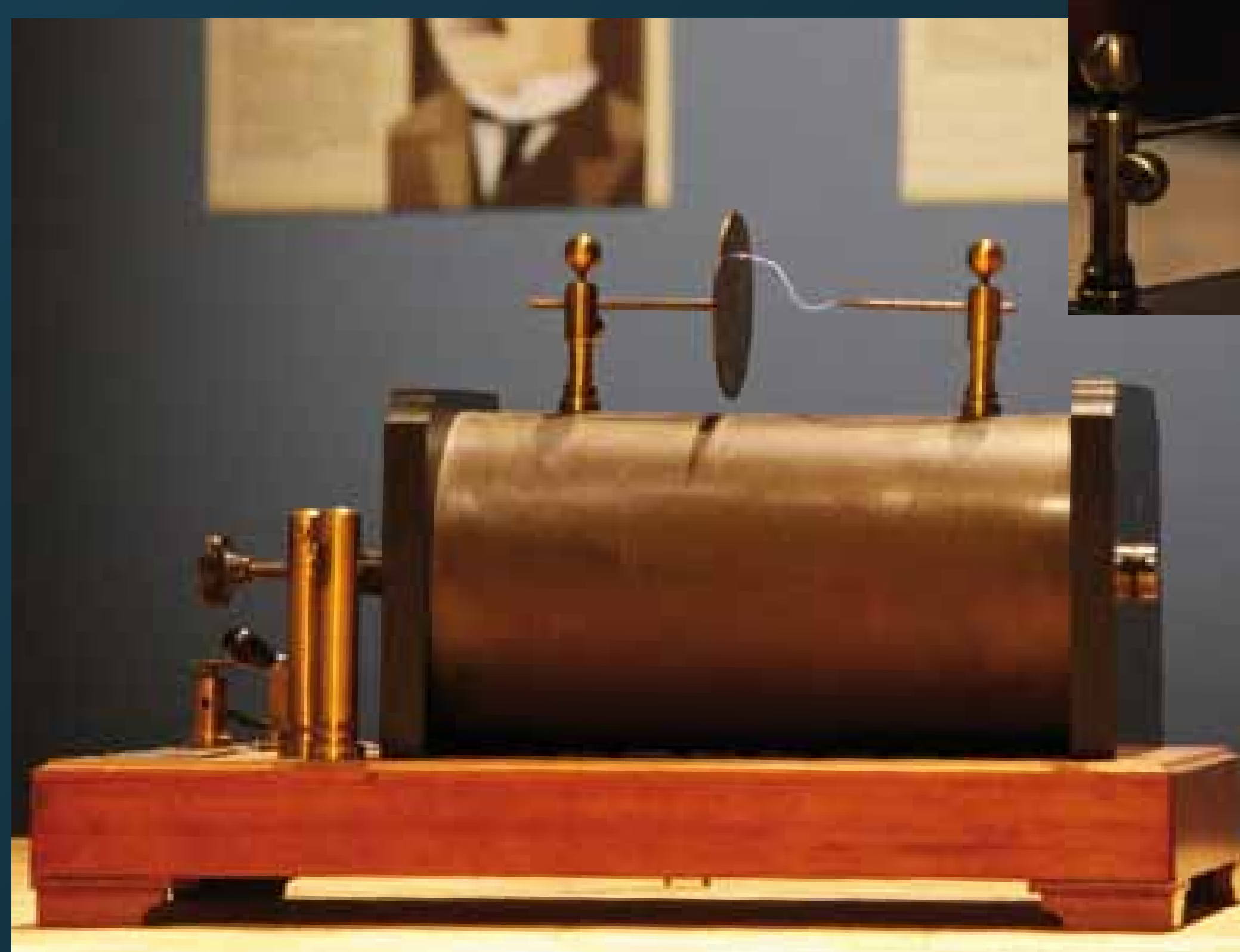
ATOMO indivisibile?



SUL TAVOLO DI RUTHERFORD/1

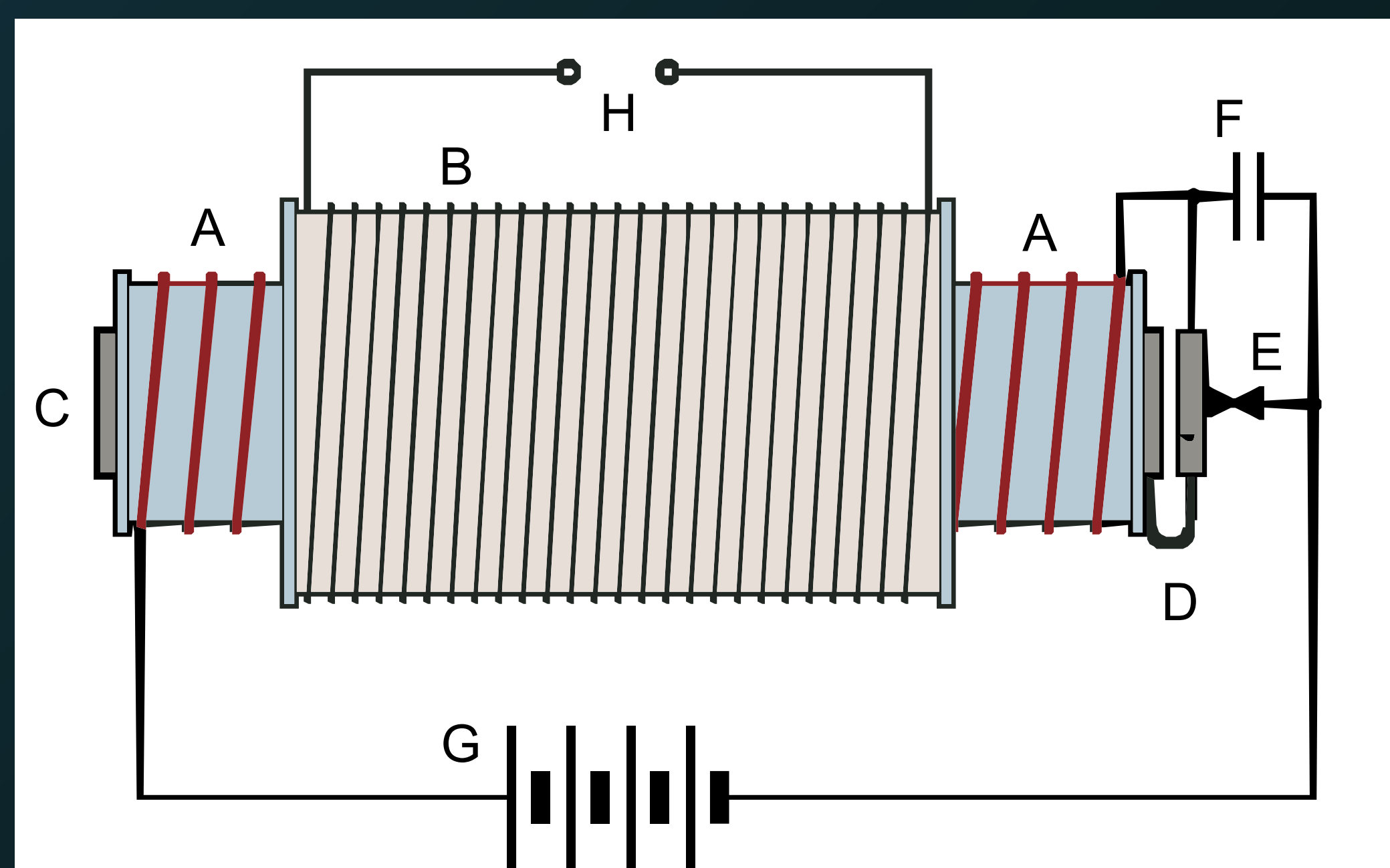
Nel 1907 Rutherford tornò in Inghilterra come professore all'università di Manchester e continuò le sue ricerche sulle particelle alfa affiancato dal suo nuovo team di laboratorio, composto da Hans Geiger, Otto Baumbach e in seguito da Hans Marsden. Nei resoconti storici e biografici degli esperimenti di Rutherford e collaboratori nel laboratorio di Manchester, vengono elencati e descritti (in particolare da Da Costa Andrade) i principali strumenti e i procedimenti sui quali si basava l'attività di ricerca: per esempio la pompa per il vuoto (modello di Gaede), la pila galvanica, il rocchetto di Ruhmkorff, il galvanometro, l'elettrometro a quadranti, l'elettroscopio a lamina d'oro, il tubo catodico, il tubo a raggi X.

ROCCHETTO DI RUHKORFF



(Cortesia Fondazione Sacro Cuore)

È un trasformatore utilizzato per produrre impulsi ad alta tensione partendo da una sorgente di corrente continua a bassa tensione. È costituito da due bobine di filo di rame avvolte attorno a un nucleo di ferro dolce (C). Una bobina (A) collegata al generatore di corrente continua a bassa tensione (G) genera un campo magnetico. In serie alla bobina è collegato un interruttore (E) che si apre e chiude periodicamente provocando una variazione del campo magnetico che, per induzione, causa un impulso ad alta tensione nella bobina (B). La tensione elevata può produrre una scarica elettrica molto intensa fra i due terminali (H) del secondario.



GALVANOMETRO A BOBINA MOBILE DI DEPRETZ- D'ARSONVAL

È uno strumento utilizzato per misurare con elevata sensibilità l'intensità della corrente continua. È costituito da una bobina mobile sospesa con un filo all'interno delle espansioni polari di un magnete permanente. Alla bobina è fissato un indice che mostra il valore della corrente su una scala graduata.



ELETTROSCOPIO



(Cortesia Collegio Rotondi)

PILA DI VOLTA



(cortesia xxx)

TUBO A TRE ANODI



(Cortesia Collegio Rotondi)

IONIZZAZIONE

Il processo di ionizzazione consiste nella perdita di uno o più elettroni da parte di un atomo neutro. In seguito alla perdita di un elettrone, le cariche positive (protoni) non sono più bilanciate da quelle negative e l'atomo si carica positivamente.

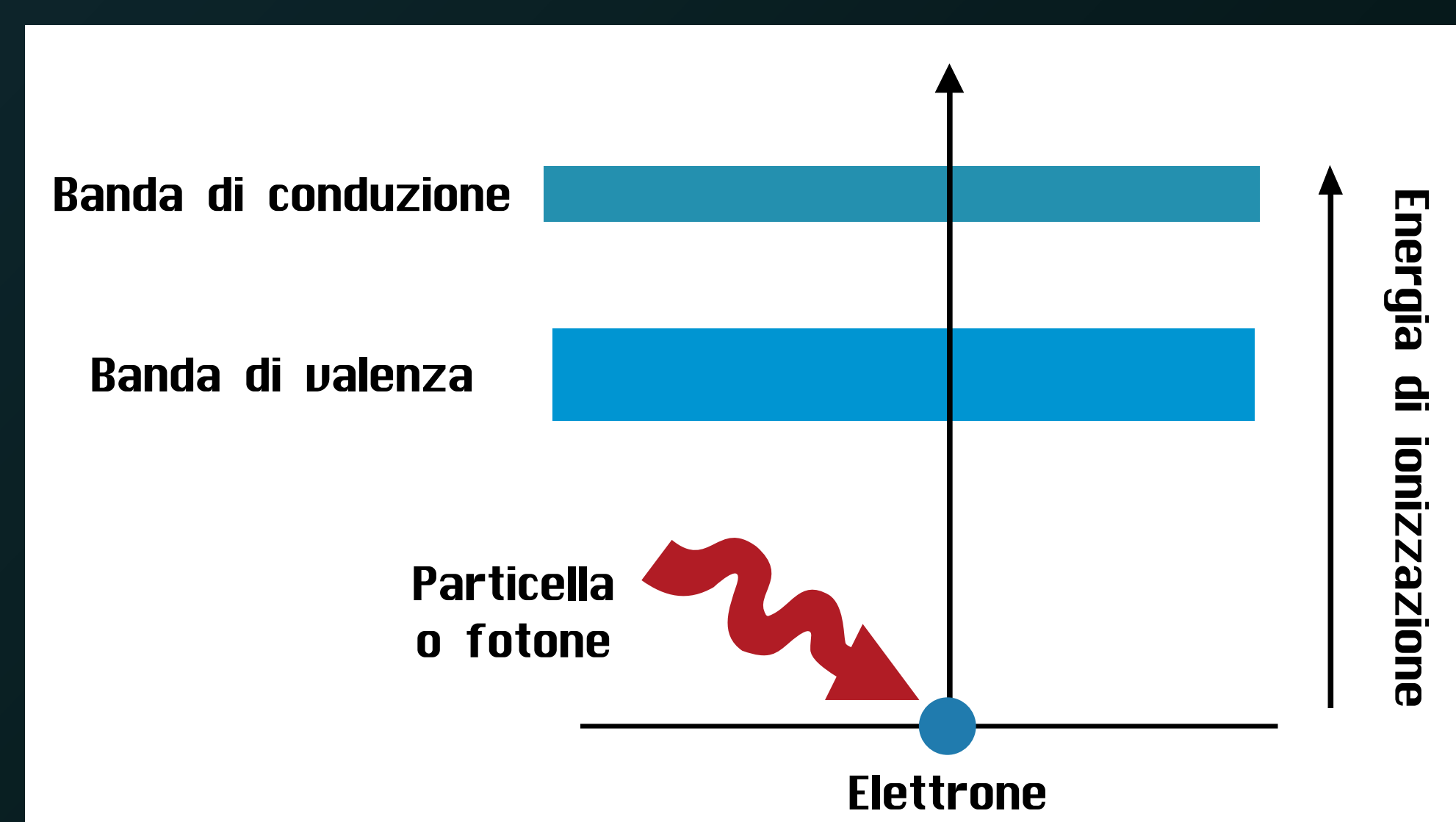
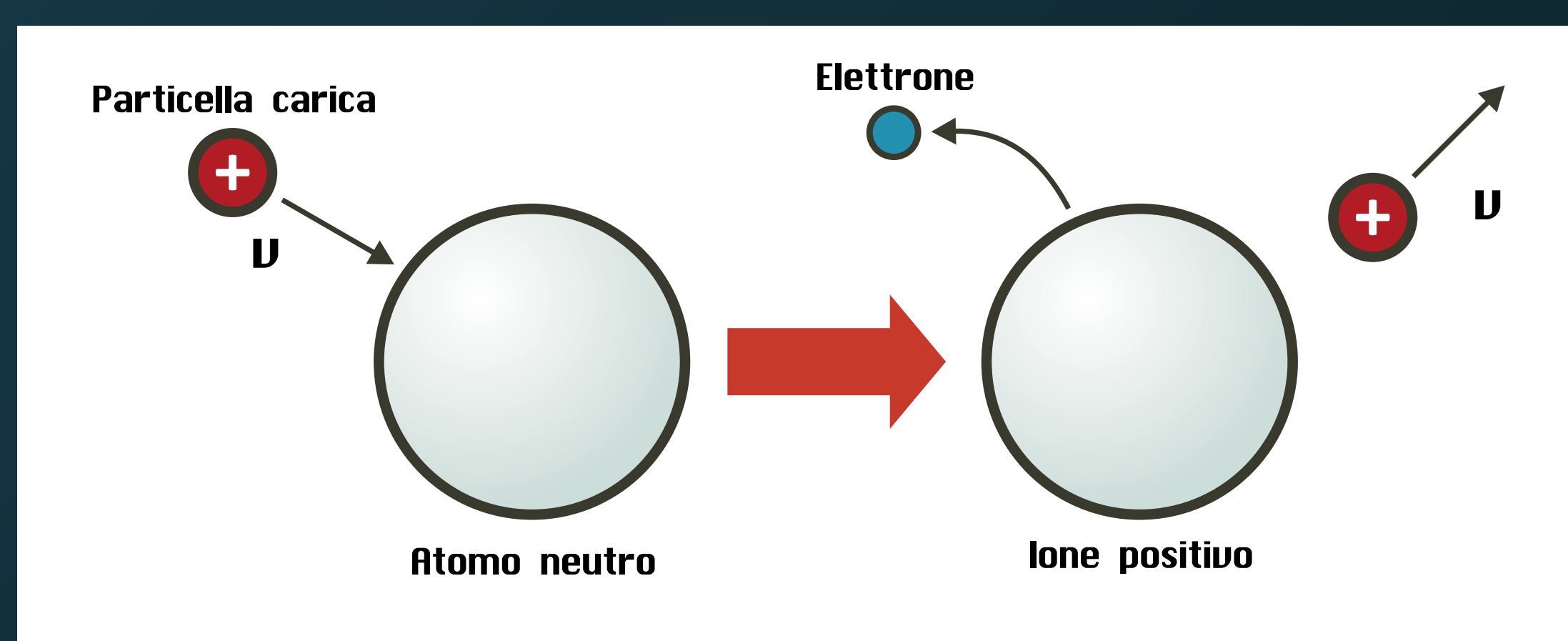
Principio fisico

La ionizzazione è un processo *statistico* che si verifica quando una particella carica o un fotone energetico attraversando un mezzo (tipicamente un gas) cede per urto una quantità di energia uguale o maggiore del potenziale di ionizzazione di un elettrone degli atomi del mezzo. In questo processo un elettrone viene rimosso da un atomo o da una molecola in modo da creare una coppia elettrone-ione positivo.

Quando un elettrone proveniente dalla ionizzazione primaria viene accelerato da un campo elettrico riesce a ionizzare per urto un'altra molecola del gas (ionizzazione secondaria). Gli elettroni secondari possono a loro volta ionizzare altre molecole in un processo a valanga (Effetto Townsend).

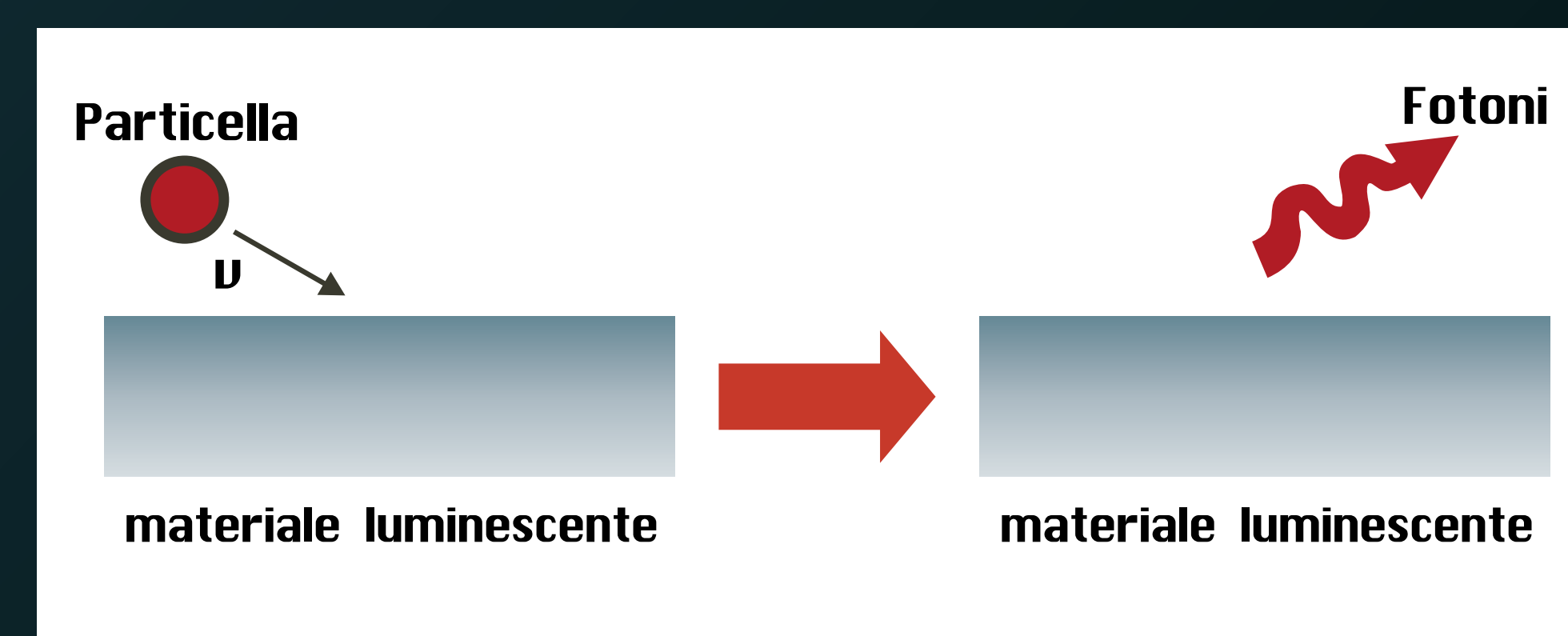
Applicazioni

I processi di ionizzazione sono alla base del principio di funzionamento dei rivelatori di particelle cariche e radiazioni ionizzanti.



SCINTILLAZIONE

Esistono alcuni materiali che esibiscono una proprietà nota come *luminescenza*. Quando questi materiali vengono sollecitati da un'azione esterna (come luce, calore, radiazioni) riemettono l'energia assorbita sotto forma di luce visibile.

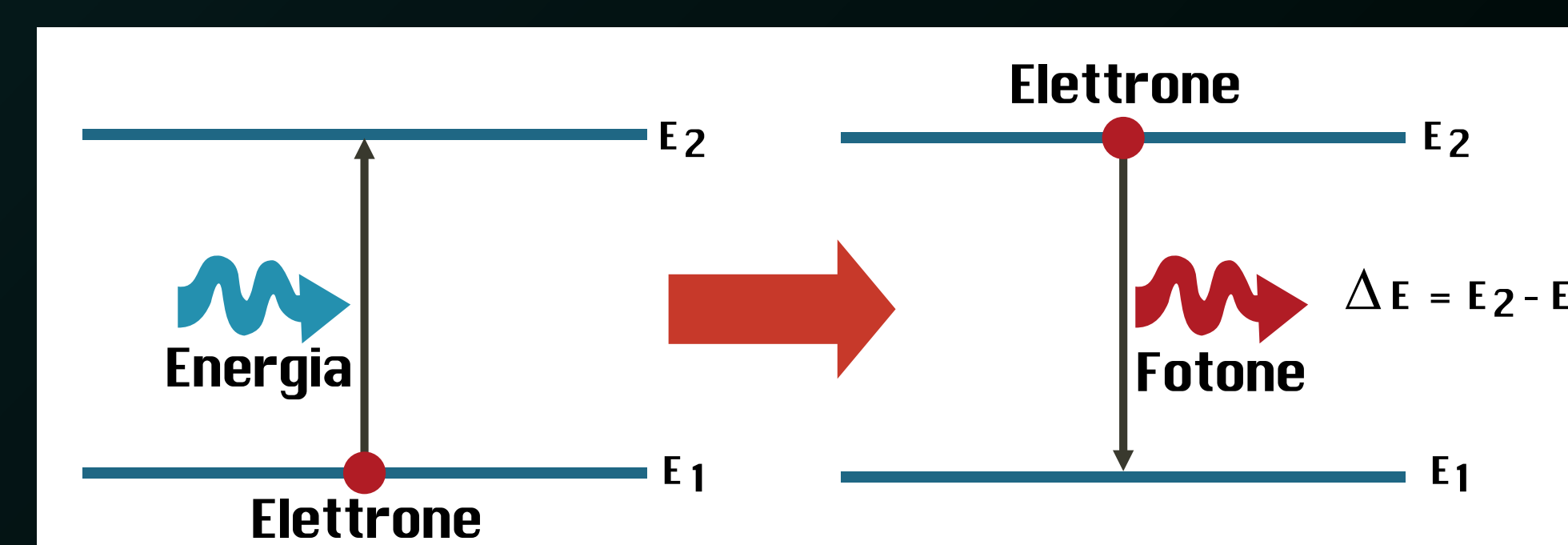


Principio fisico

Il meccanismo di emissione luminosa può essere spiegato come transizione elettronica fra due livelli energetici dell'atomo.

In seguito all'assorbimento di energia (causato da un evento esterno) l'elettrone si porta su un livello energetico più alto (E_2). Successivamente, l'elettrone decade su un livello energetico inferiore (E_1) emettendo un fotone di energia pari alla differenza di energia fra i due livelli.

Il tempo che passa dall'assorbimento alla remissione può variare da pochi microsecondi a ore, a seconda del materiale.



Applicazioni

I materiali scintillatori vengono utilizzati nei dispositivi per la rivelazione di particelle e radiazioni energetiche.

Domande e
certezze nella scienza

SCATTERING

Il fenomeno dello scattering si verifica quando una particella o un fotone (quanto di luce) viene deviato dalla propria traiettoria in seguito all'interazione con un ostacolo (in generale una particella).

Principio fisico

Nel caso di particelle cariche (come per esempio le particelle alfa e i nuclei atomici) il modello utilizzato per descrivere l'interazione della particella inci-

dente con quella bersaglio è l'urto elastico (si conservano energia e quantità di moto).

La forza repulsiva che fa deviare la particella incidente è

$$F = \Delta q / \Delta t$$

dove Δt è il tempo di interazione fra la particella incidente e il bersaglio e Δq la variazione della quantità di moto q . In particolare:

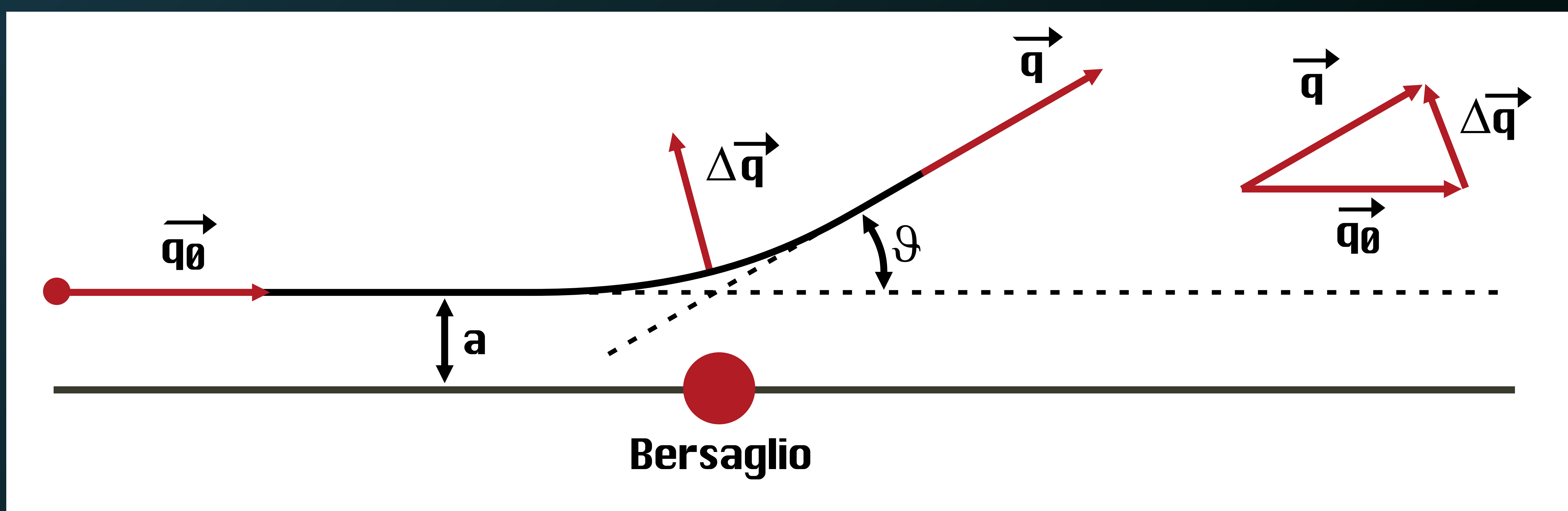
- la forza F che agisce sulla particella incidente ha la stessa direzione e verso

di Δq ;

- poiché la forza elettrica che si manifesta fra due cariche diminuisce con l'aumentare della loro distanza, la forza F che agisce sulla particella incidente diminuisce al crescere del parametro d'urto a .

Applicazioni

Le tecniche di scattering (di particelle) vengono utilizzate per indagare la struttura della materia.



q_0 è la quantità di moto della particella incidente

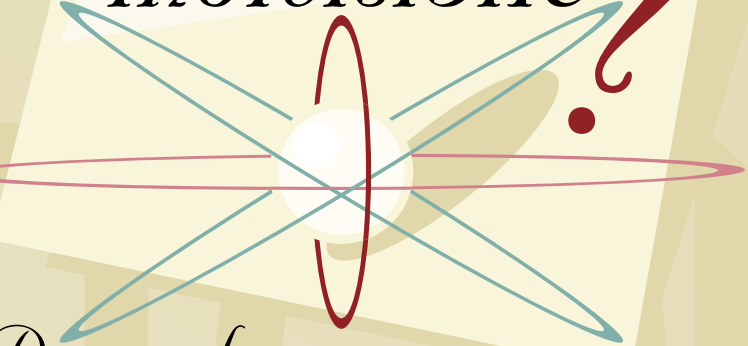
Δq è la variazione della quantità di moto

q è la quantità di moto dopo l'urto

ϑ è l'angolo di scattering

a è il parametro d'urto

ATOMO
indivisibile?



Domande e
certezze nella scienza

ERNEST RUTHERFORD (1871-1937)

Nato in Nuova Zelanda, arrivò nel 1895 al *Cavendish Laboratory* di Cambridge e nel 1898 passò alla *McGill University* di Montreal, dove collaborò col chimico Frederick Soddy col quale condivise nel 1908 il premio Nobel per la Chimica conseguito a seguito delle ricerche sulla natura dei raggi alfa. Nel 1907 approdò all'Università di Manchester dove, insieme a Geiger e Marsden, condusse i celebri esperimenti che lo portarono a elaborare un nuovo modello "planetario" dell'atomo.

Nel 1919 tornò al *Cavendish* come direttore: sotto la sua guida, Cockcroft e Walton furono i primi a scindere il nucleo atomico e Chadwick dimostrò l'esistenza del neutrone, già intuita da Rutherford più di un decennio prima. Nel 1931 fu insignito della qualifica di pari d'Inghilterra col titolo di Lord Rutherford of Nelson.



ML
2011