

Histoires de Particules

Yves Schutz

HistoireS de Particules

- Un cheminement historique mais une chronologie chahutée
- Des histoires imbriquées : histoire des hommes et histoire de l'univers
- Des histoires délibérément biaisées : le point de vue de l'expérience

Histoires de Particules

Retour en arrière

- Physique pour Tous ! Automne 2021 : De l'atome antique à l'atome quantique

Max Planck 1900

Albert Einstein 1905

Niels Bohr 1913

Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger 1925

Paul Dirac 1928

John Bell, Alain Aspect, Serge Haroche 1980....

Histoires de Particules

Retour en arrière

- Physique pour Tous ! Automne 2021 : De l'atome antique à l'atome quantique

Max Planck 1900

Albert Einstein 1905

Niels Bohr 1913

Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger 1925

Paul Dirac 1928

John Bell, Alain Aspect, Serge Haroche 1980....

HistoireS de Particules

5 étapes

1. Du corpuscule et de l'onde ... à la particule quantique
2. De l'électron ... au zoo de particules
3. Du chaos ... au cosmos
4. Des particules élémentaires ... aux champs quantiques
5. Des histoireS ... vers l'Histoire ?

Histoires de Particules

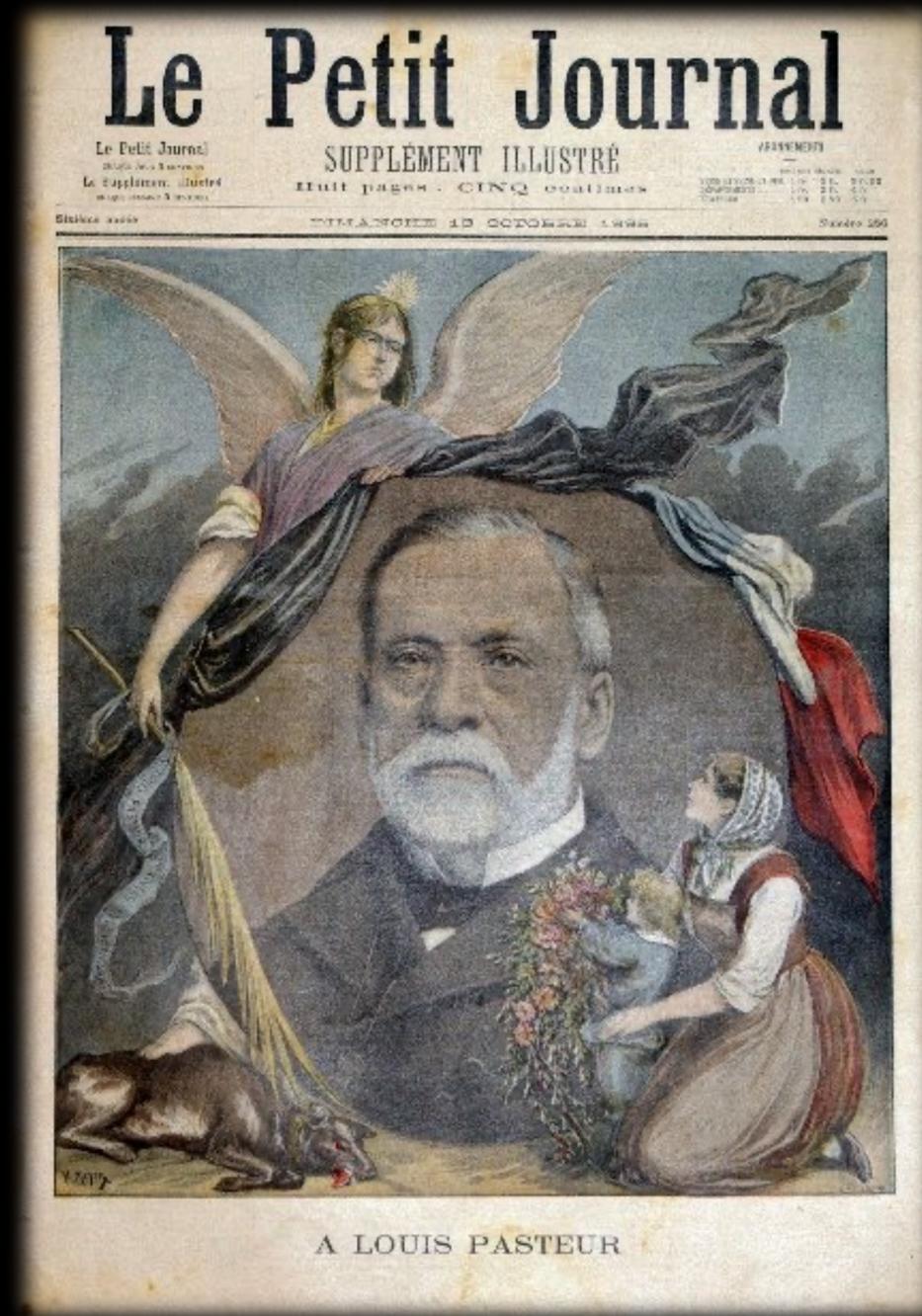
Du corpuscule et de l'onde ... à l'électron, particule quantique

Fin de siècle

1895 - 1897

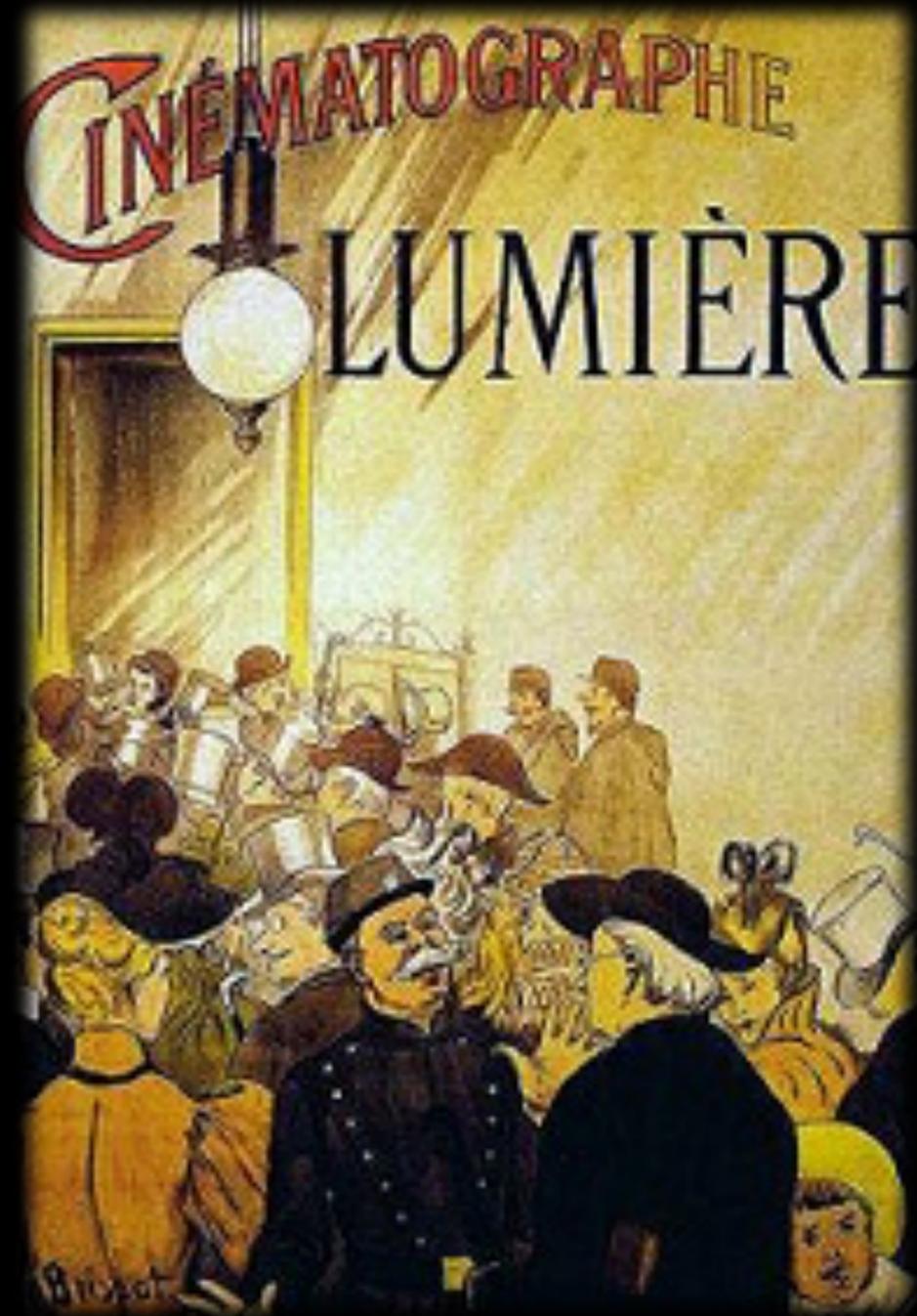
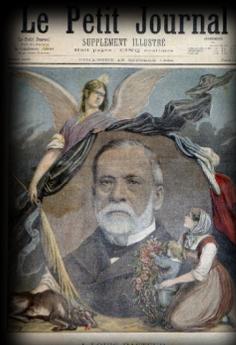
Le monde de 1895 - 1897

Disparition de Louis Pasteur



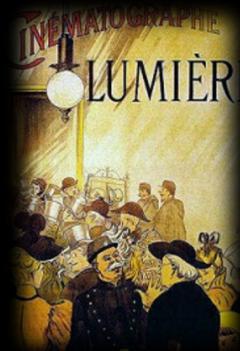
Le monde de 1895 - 1897

Naissance du cinéma



Le monde de 1895 - 1897

Premiers jeux olympiques modernes

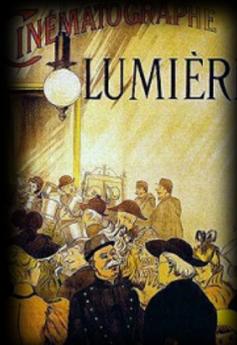


© Cent ans

JEUX OLYMPIQUES A ATHÈNES
Notre compatriote Masson, vainqueur de la course vélocipédique

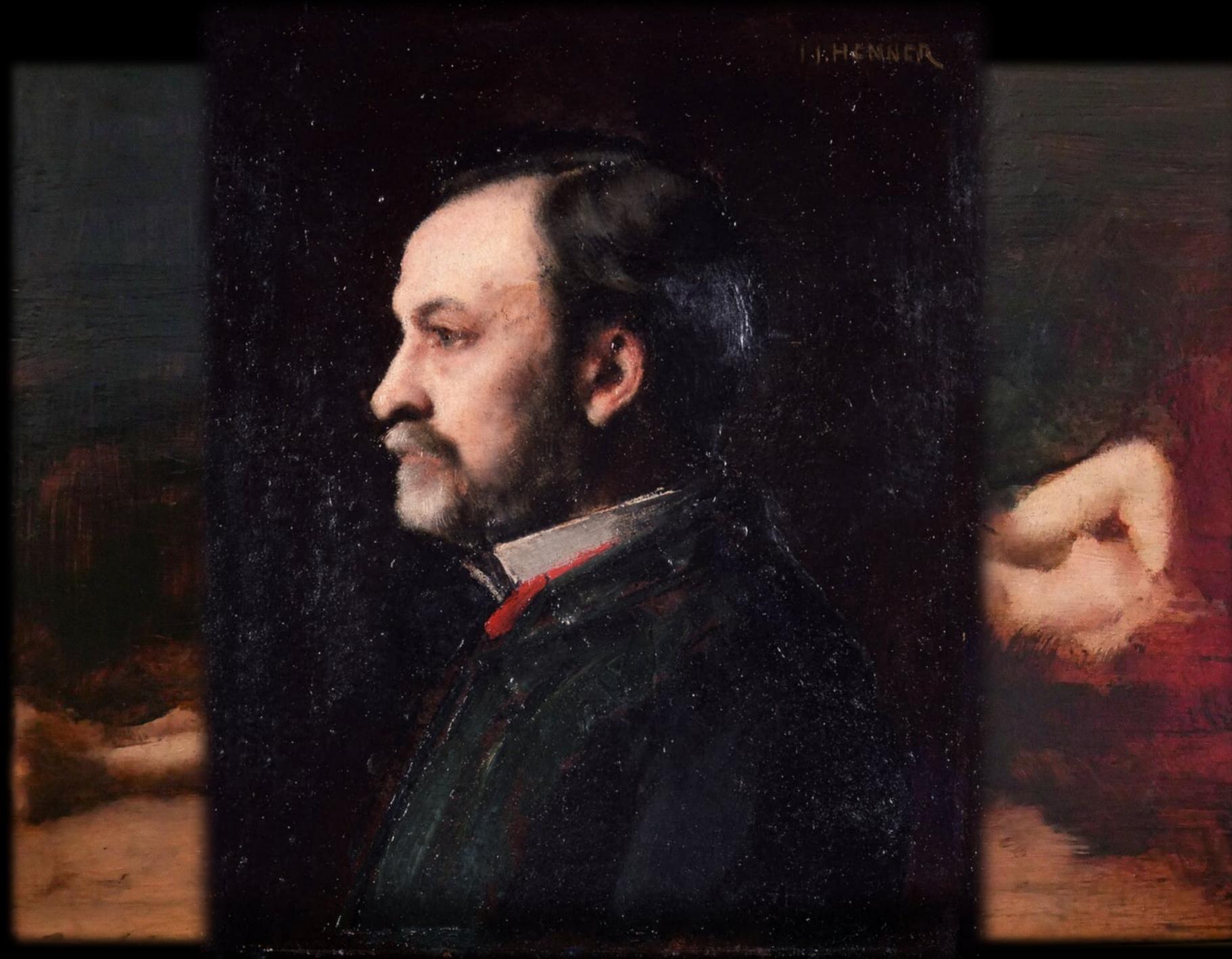
Le monde de 1895 - 1897

Premier accident mortel d'automobile



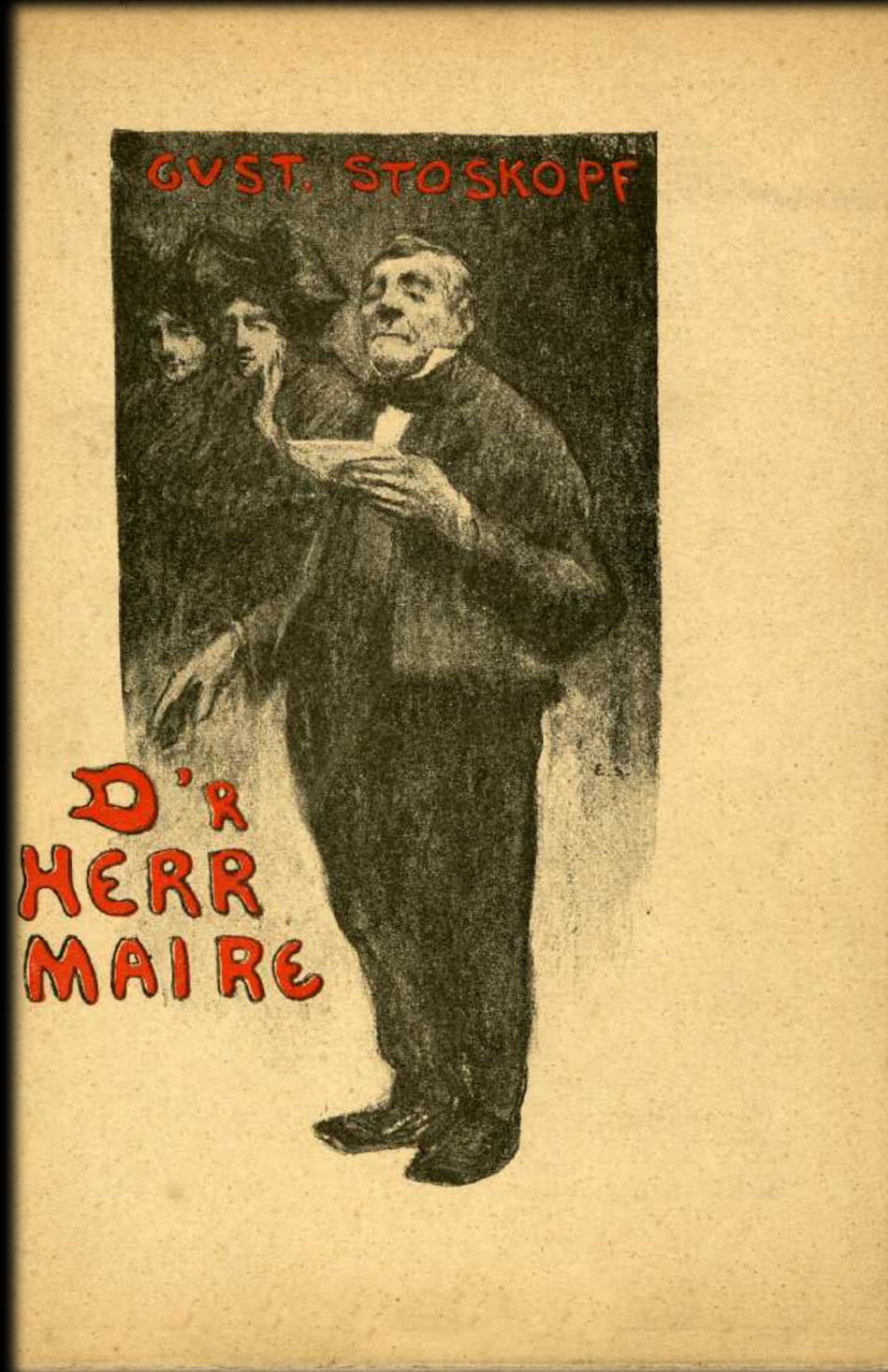
Le monde de 1895 - 1897

Arts et Littérature



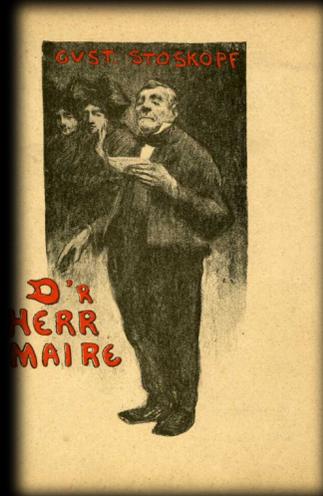
Le monde de 1895 - 1897

Arts et Littérature



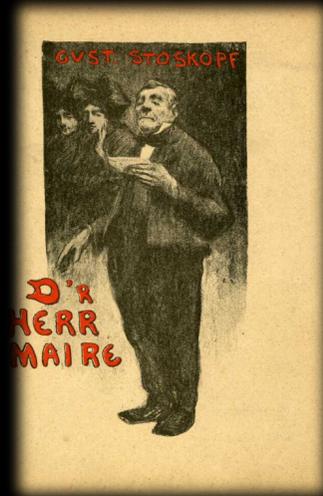
Le monde de 1895 - 1897

Arts et Littérature



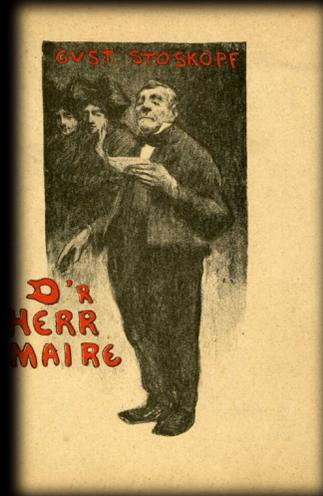
Le monde de 1895 - 1897

Arts et Littérature



Le monde de 1895 - 1897

Christkindelmärlik



Le monde de 1895 - 1897

Les scientifiques : les anciens



Louis Fresnel



Louis Marie
Ampère



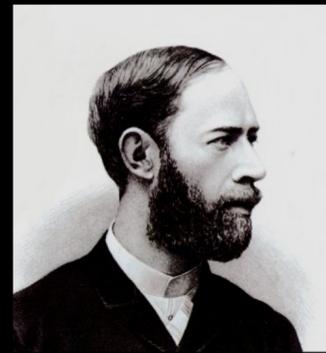
Sadi Carnot



James Clerk
Maxwell



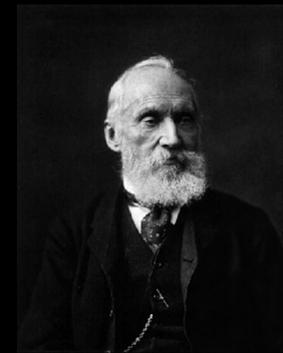
Hermann von
Helmholtz



Heinrich Hertz



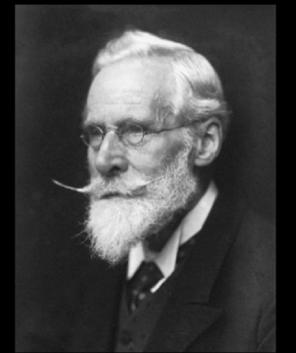
Louis Pasteur



Lord Kelvin



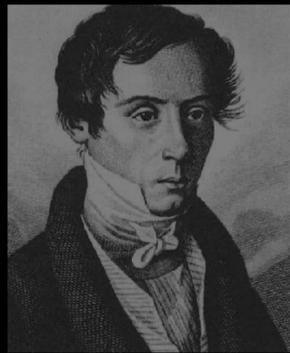
Lord Rayleigh



William Crookes

Le monde de 1895 - 1897

Les scientifiques : les jeunes



Louis Fresnel



Louis-Marie
Ampère



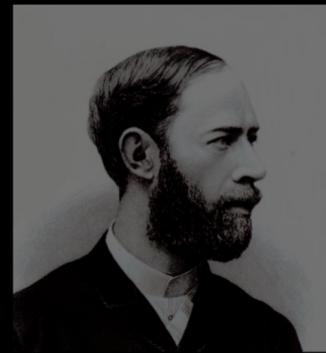
Sadi Carnot



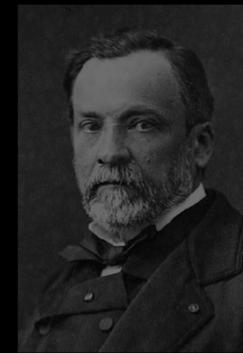
James Clerk
Maxwell



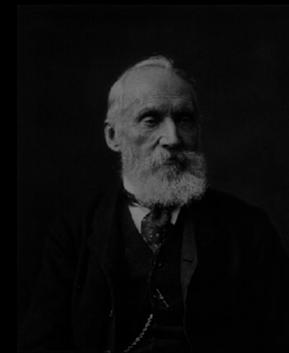
Hermann von
Helmholtz



Heinrich Hertz



Louis Pasteur



Lord Kelvin



Lord Rayleigh



William Crookes



Ludwig
Boltzmann



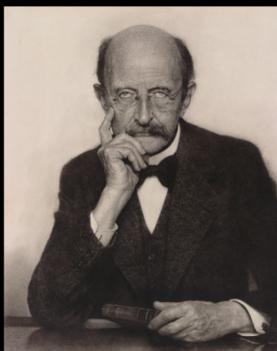
Hendrik
Lorentz



Joseph John
Thomson



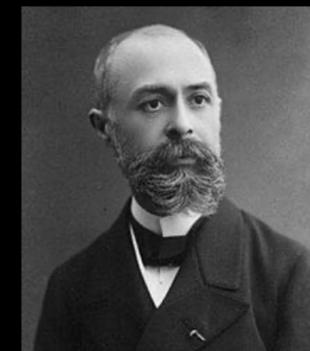
Henri Poincaré



Max Planck



Philipp Lenard



Henri Becquerel



Pierre Curie

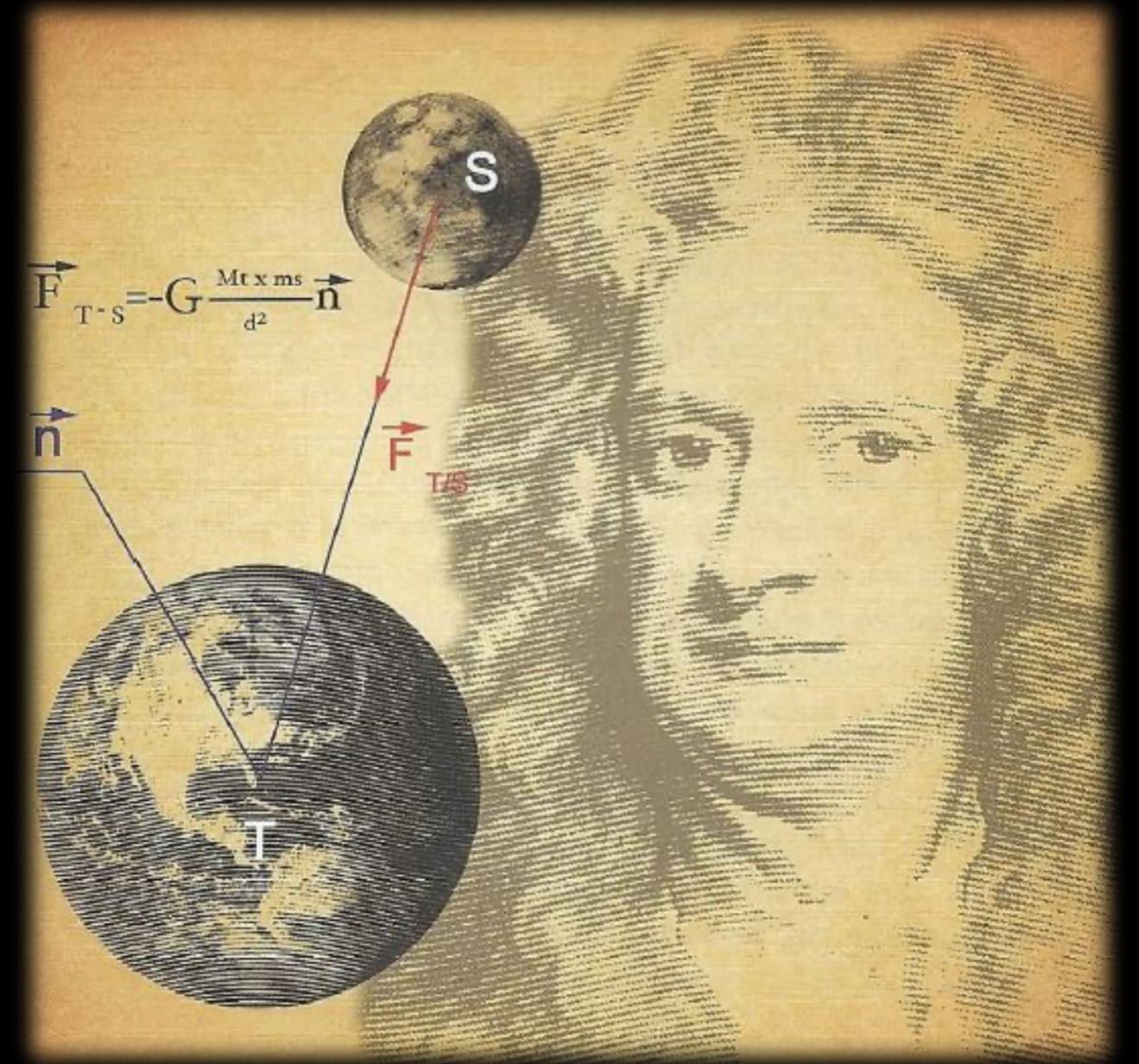


Albert Einstein
16 ans

Le monde de 1895 - 1897

Les deux piliers de la physique

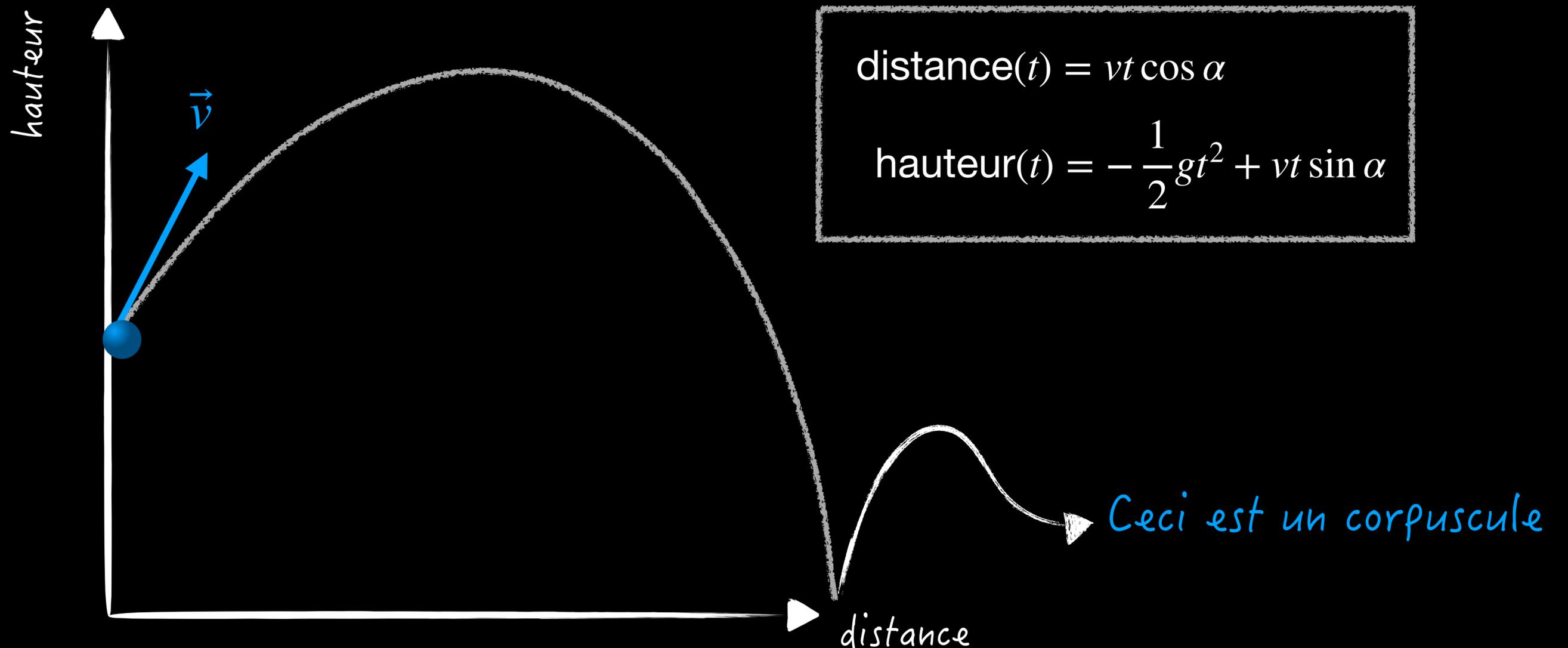
1. La mécanique classique de Isaac Newton



Le monde de 1895 - 1897

Les deux piliers de la physique

1. La mécanique classique de Isaac Newton : dynamique des corps



Le monde de 1895 - 1897

Les deux piliers de la physique

1. La mécanique classique de Isaac Newton : phénomènes ondulatoires



$$\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = 0$$

 Ceci est une onde

Le monde de 1895 - 1897

Les deux piliers de la physique

1. La mécanique classique de Isaac Newton



Corpuscule : dimensions, position et vitesse



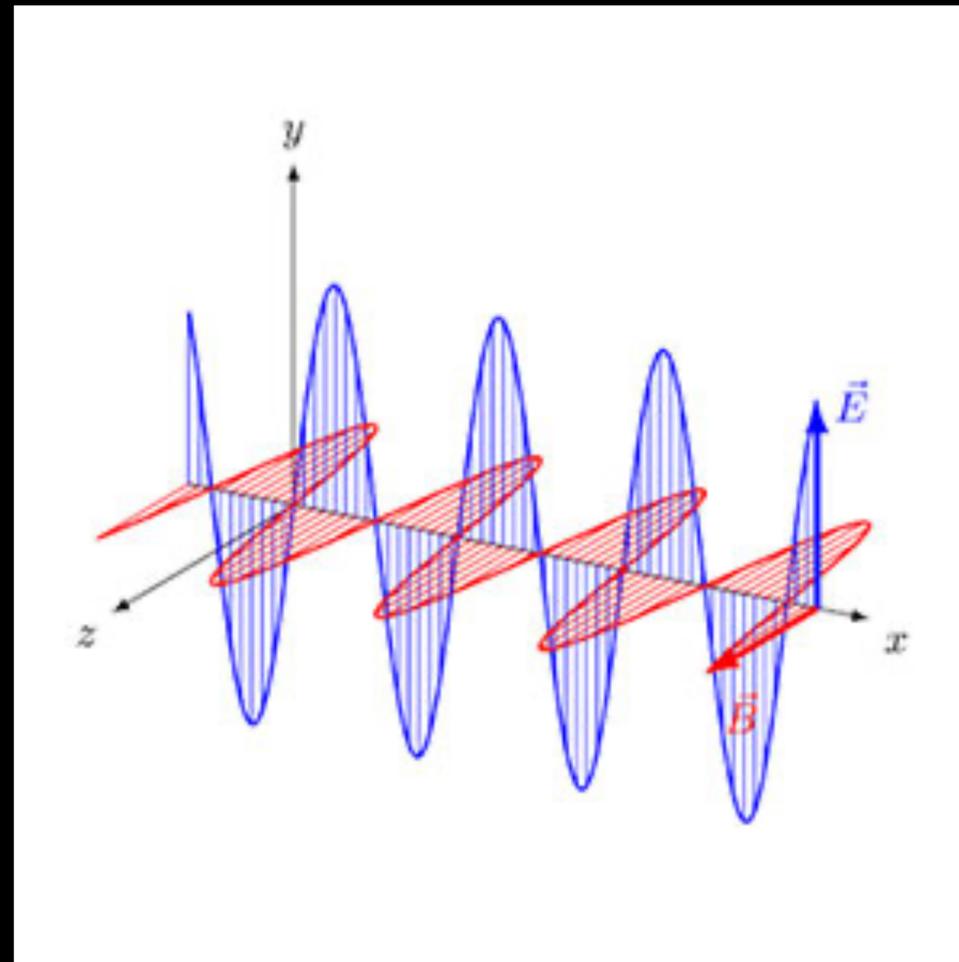
Onde : amplitude, longueur d'onde et vitesse

Quel statut pour la lumière ?

Le monde de 1895 - 1897

Les deux piliers de la physique

1. La mécanique classique de Isaac Newton
2. L'électromagnétisme de James Clerk Maxwell: la lumière est une onde EM



Le monde de 1895 - 1897

Les deux piliers de la physique

1. La mécanique classique de Isaac Newton
2. L'électromagnétisme de James Clerck Maxwell

Comment distinguer une onde d'un corpuscule ?

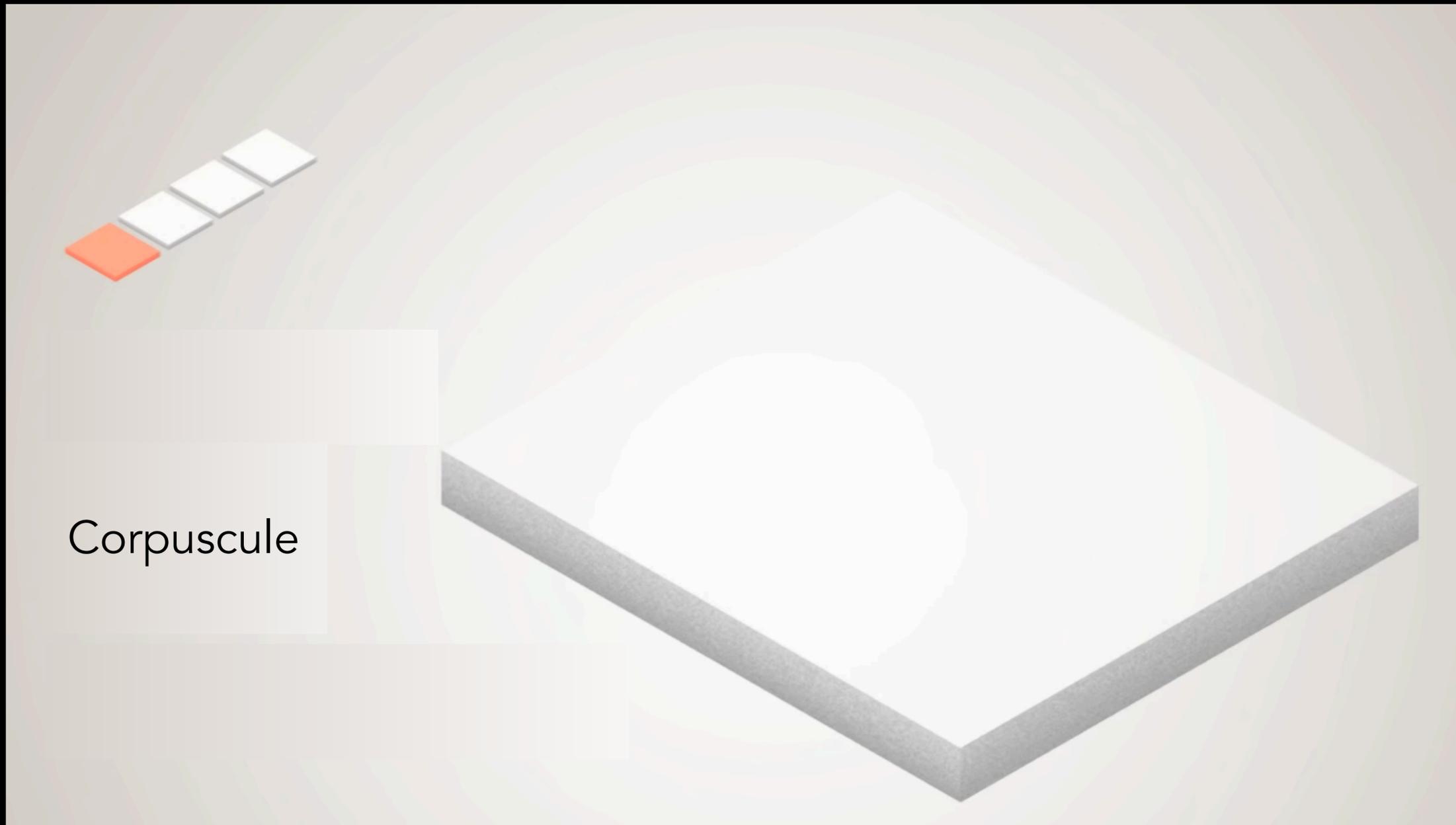
Expérience des fentes de Young

Thomas Young (1773 - 1829)



Expérience des fentes de Young

Réalisation : corpuscule

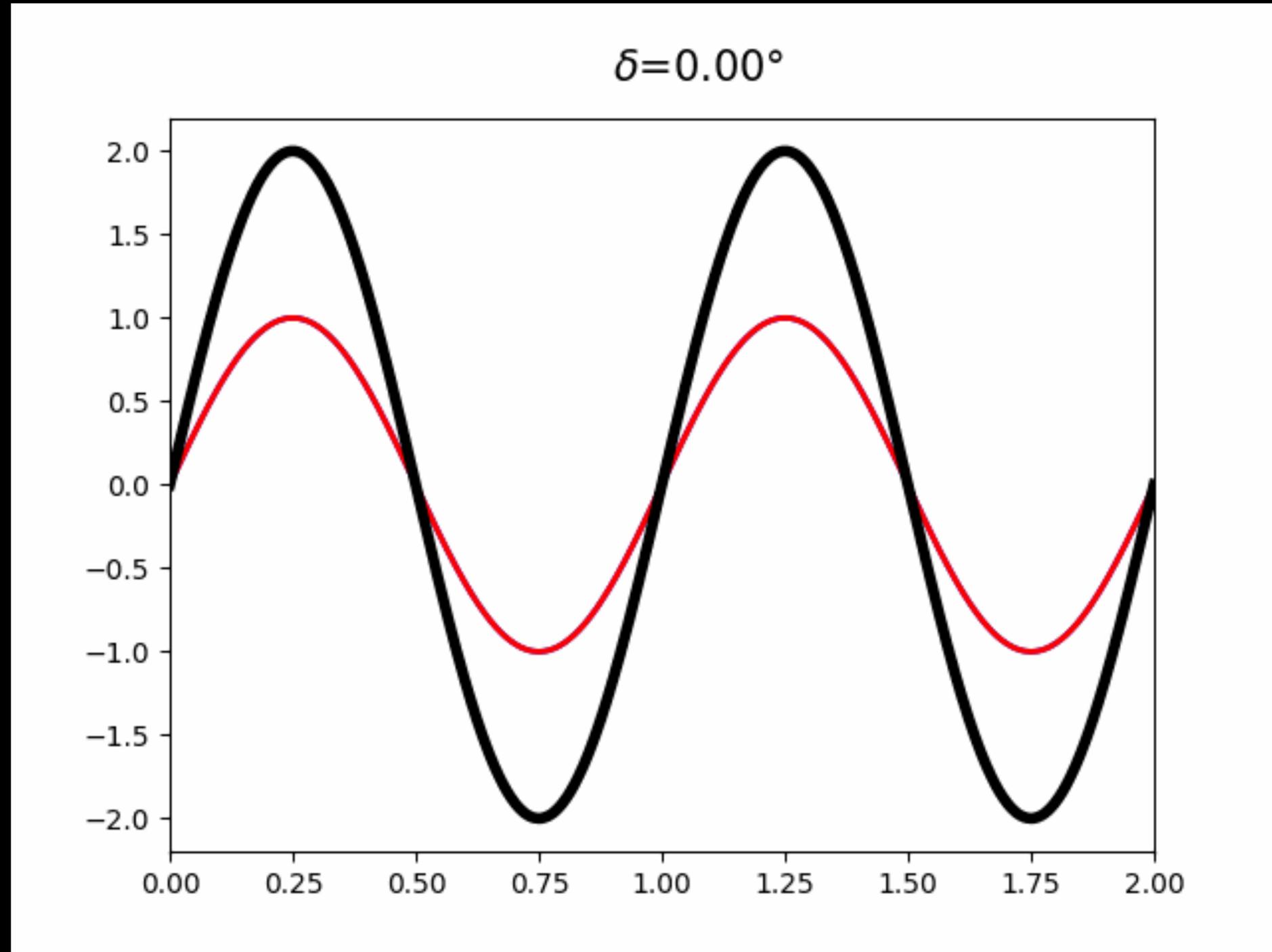


Expérience des fentes de Young

Principe

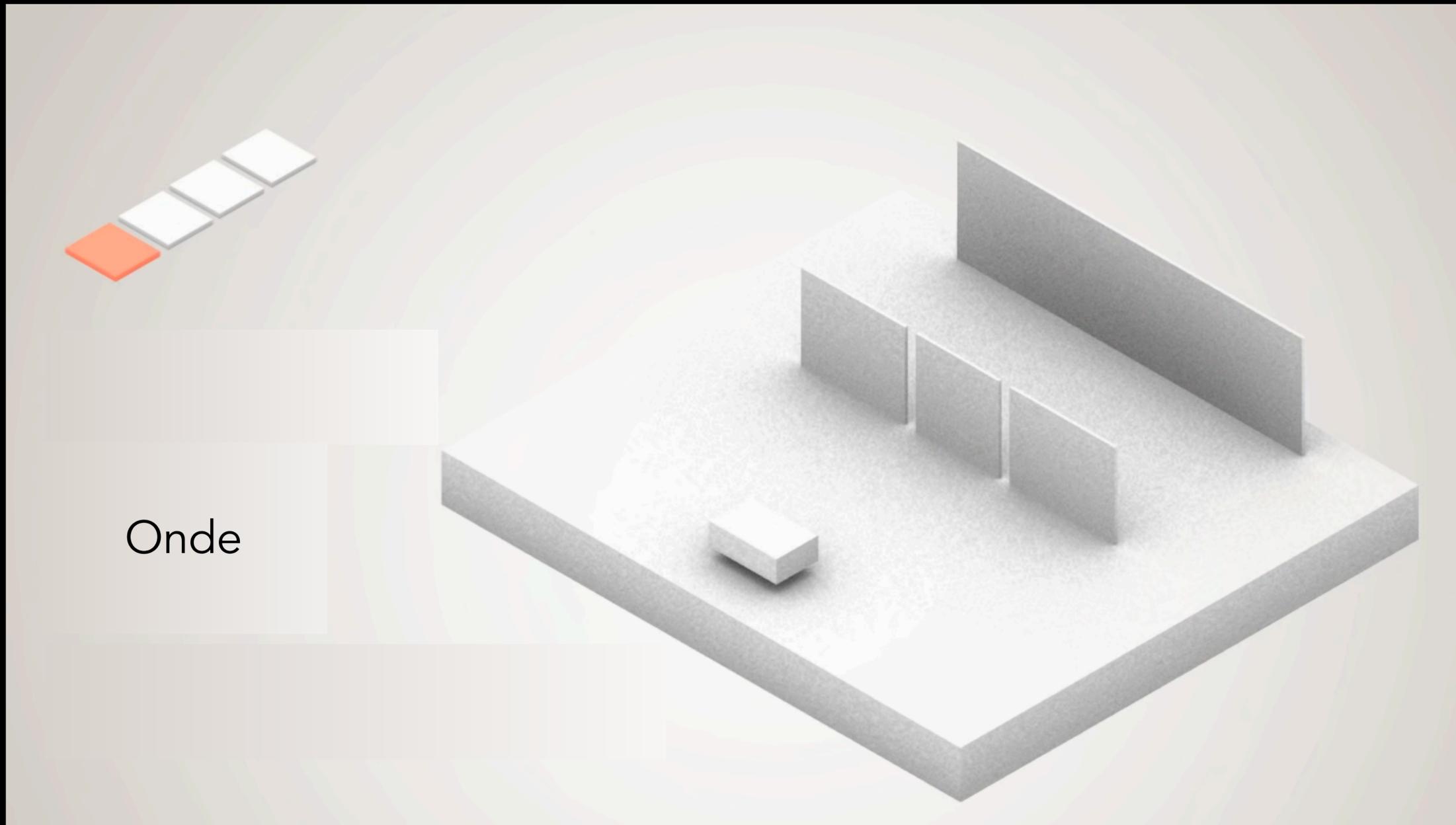
Addition de 2 ondes :

- Opposition de phase $\delta = 180^\circ$
- En phase $\delta = 0^\circ$



Expérience des fentes de Young

Réalisation : onde



Le monde de 1895 - 1897

Les deux piliers de la physique

1. La mécanique classique de Isaac Newton
2. L'électromagnétisme de James Clerck Maxwell

Atome ?

Le monde de 1895 - 1897

L'atome ?

Leucippe & Démocrite -400



Le monde de 1895 - 1897

L'atome ?

Leucippe & Démocrite -400

John Dalton 1803



ELEMENTS					
○	Hydrogen	1	○	Strontian	46
⊖	Azote	5	⊖	Barytes	68
●	Carbon	5	⊖	Iron	50
○	Oxygen	7	⊖	Zinc	56
⊖	Phosphorus	9	⊖	Copper	56
⊕	Sulphur	13	⊖	Lead	90
⊖	Magnesia	20	⊖	Silver	190
⊖	Lime	24	⊖	Gold	190
⊖	Soda	28	⊖	Platina	190
⊖	Potash	42	⊖	Mercury	167

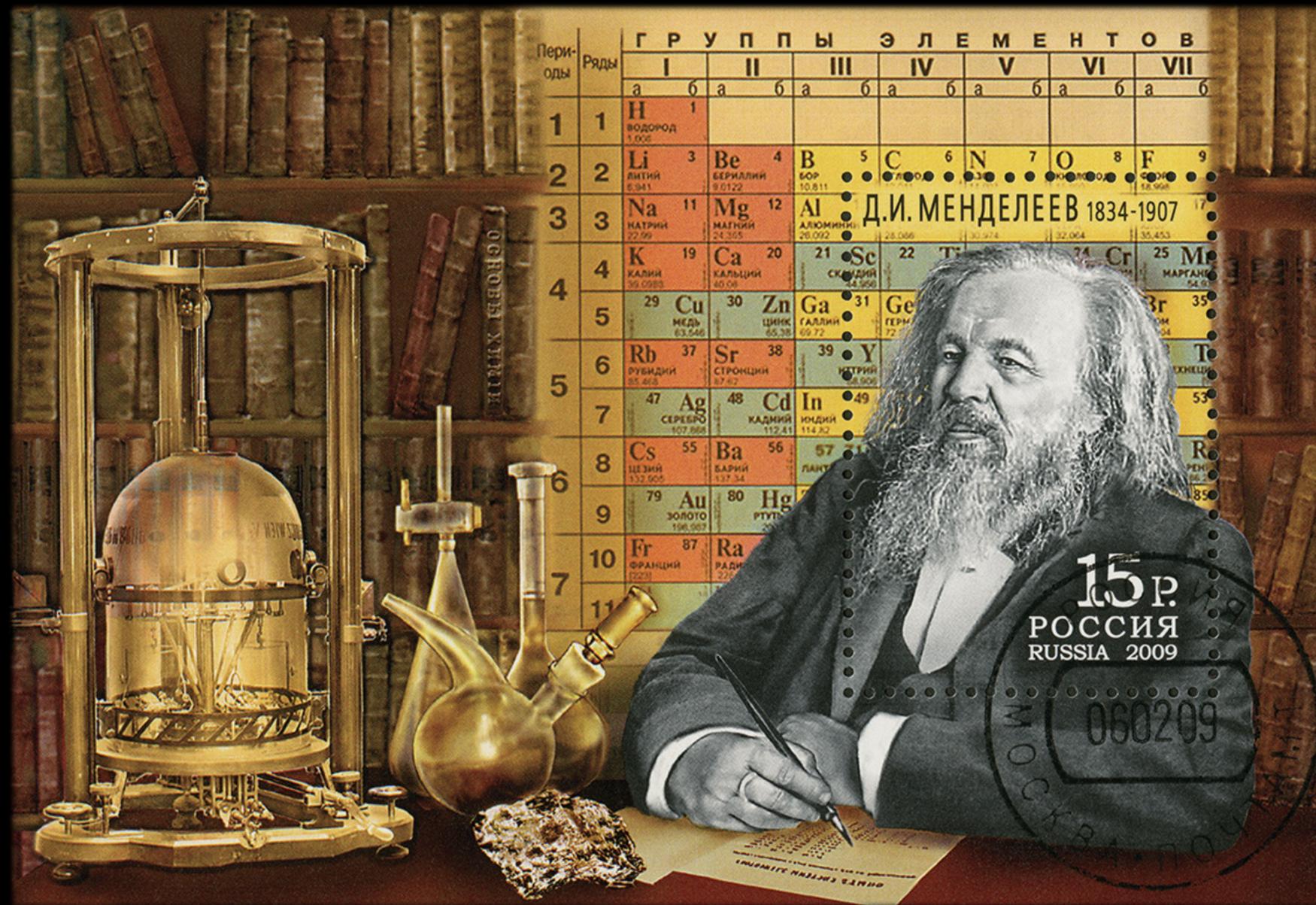
Le monde de 1895 - 1897

L'atome ?

Leucippe & Démocrite -400

John Dalton 1803

Dmitri Mendeleiev 1869



Le monde de 1895 - 1897

L'atome ?

Leucippe & Démocrite -400

John Dalton 1803

Dmitri Mendeleiev 1869

William Prout 1815



H : particule
élémentaire ?

H.....1			Ti.....50	Zr.... 90	?180
Be.... 9.4	Mg...24		V.....51	Nb... 94	Ta...182
B.....11	Al....27.4	?68	Cr.....52	Mo.. 98	W....186
C.....12	Si....28	?70	Mn.....55	Rh...104.4	Pt....197.4
N.....14	P.....31	As.....75	Fe.....56	Ru...104.4	Ir....198
O.....16	S.....32	Se.....79.4	Ni, Co..59	Pd...106.6	Os...199
F.....19	Cl....35.5	Br.....80	Cu.....63.4	Ag...108	Hg...200
Na....23	K.....39	Rb.....85.4	Zn.....65.2	Cd...112	
	Ca....40	Sr.....87.6	?68	Ur...118	Au...197
	?45	Ce.....92	?70	Sn...118	Bi...210
	? Er...56	La....94	As.....75	Sb...122	
	? Y...60	Di.....95	Se.....79.4	I.....127	Tl...204
	? In...75.6	Th....118	Br.....80	Ba...137	Pb...207

§

L'atome ?

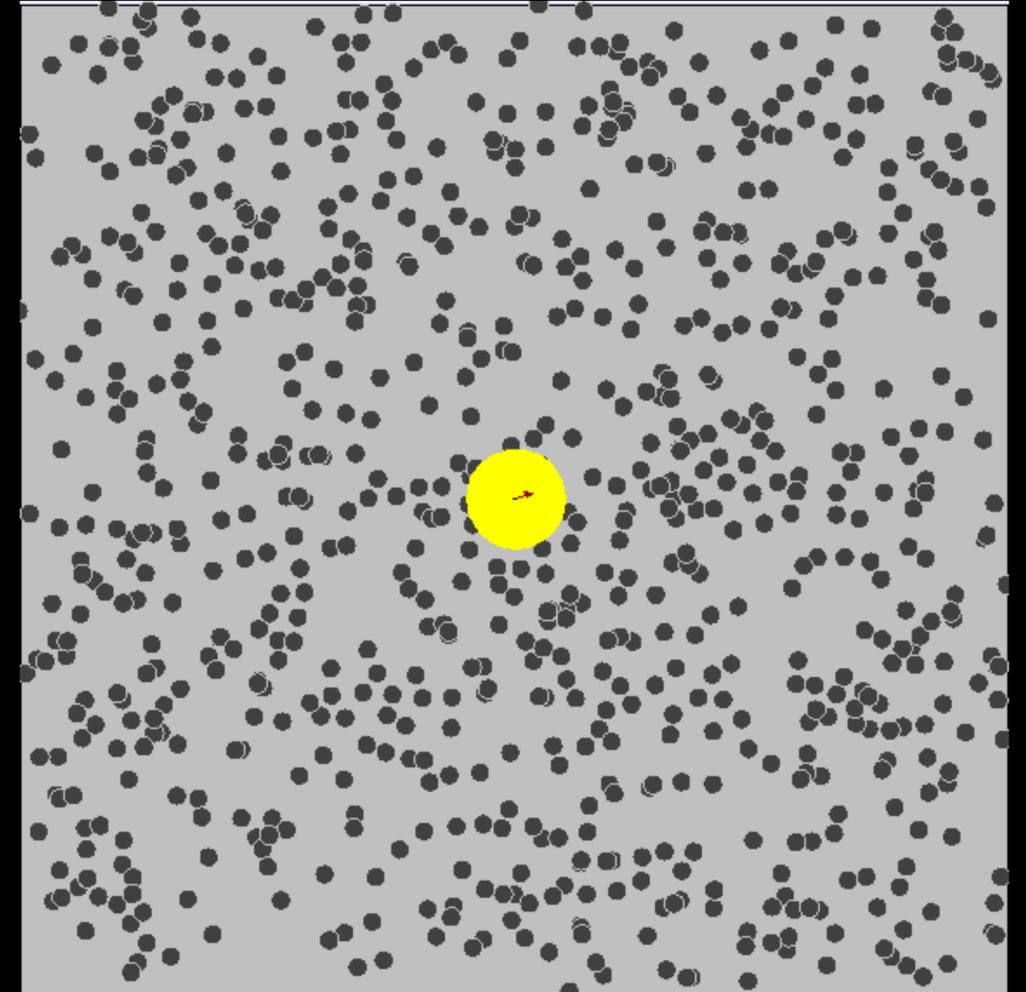
Leucippe & Démocrite -400

John Dalton 1803

Dmitri Mendeleiev 1869

William Prout 1815

Les physiciens : James Maxwell, Ludwig Boltzmann, Josiah Gibbs, ...



Le monde de 1895 - 1897

Les deux piliers de la physique

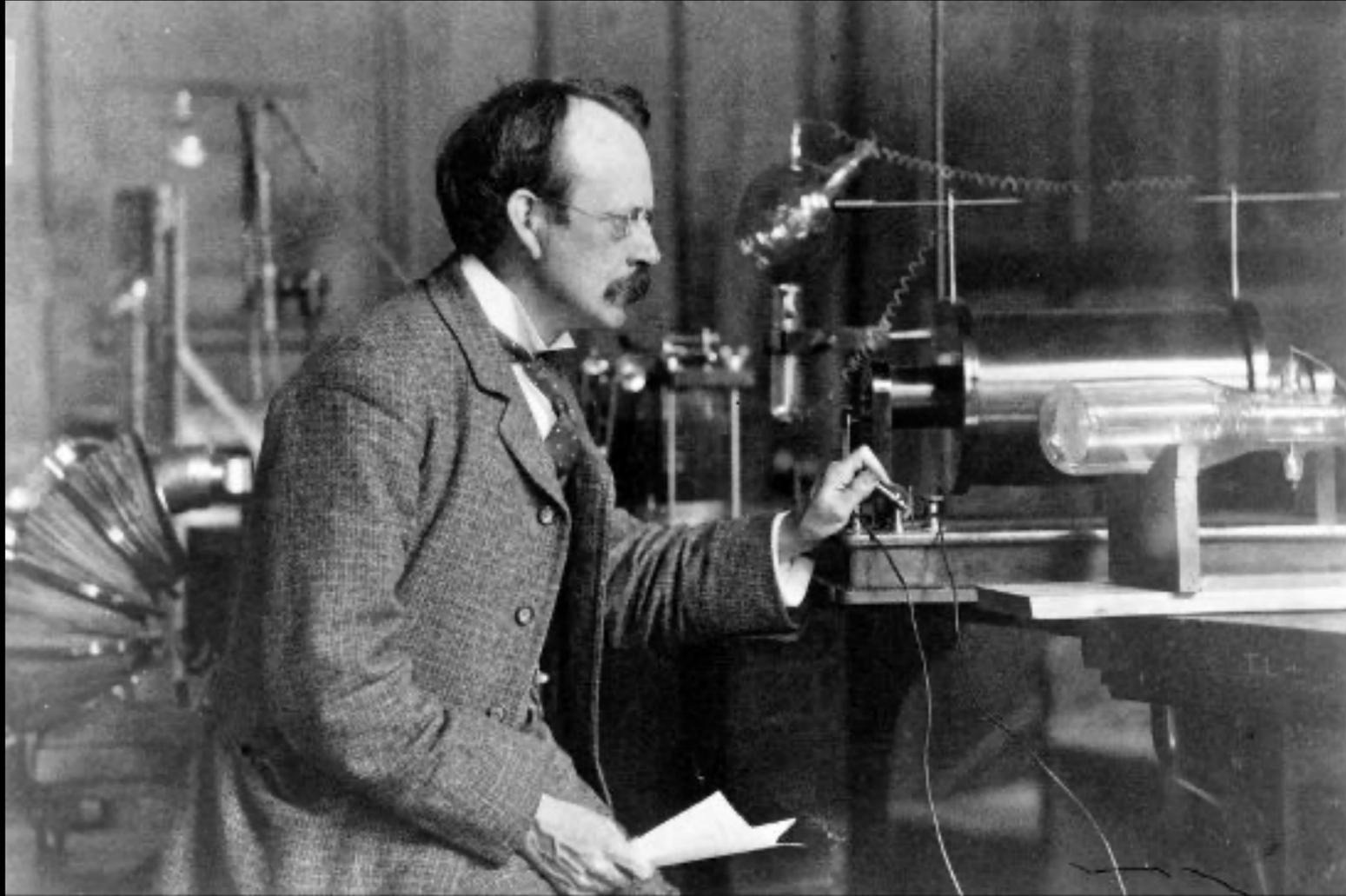
1. La mécanique classique de Isaac Newton
2. L'électromagnétisme de James Clerck Maxwell

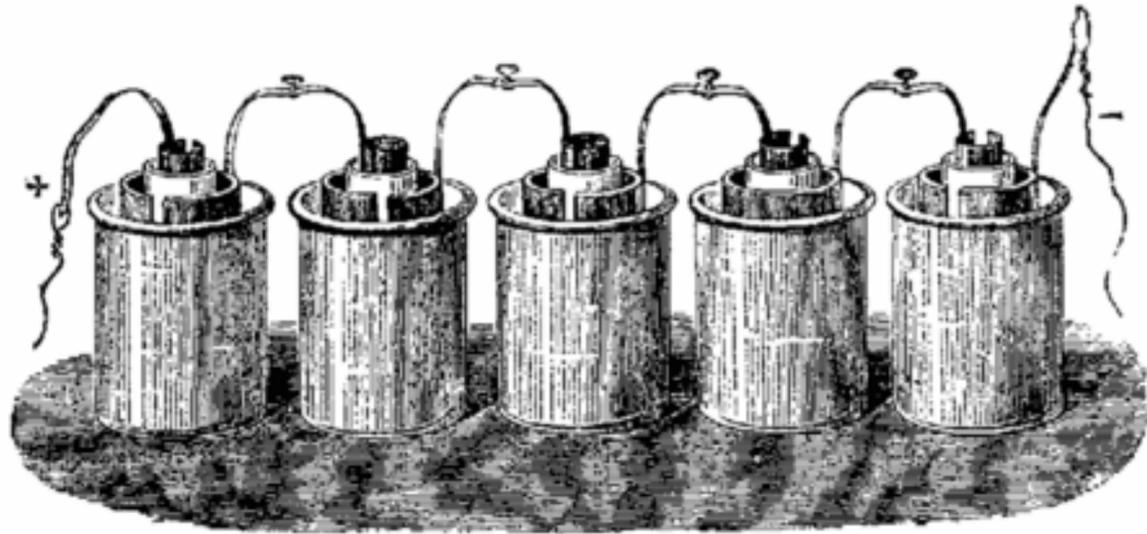
... L'atome ... en 1905

De quoi est fait l'atome ?

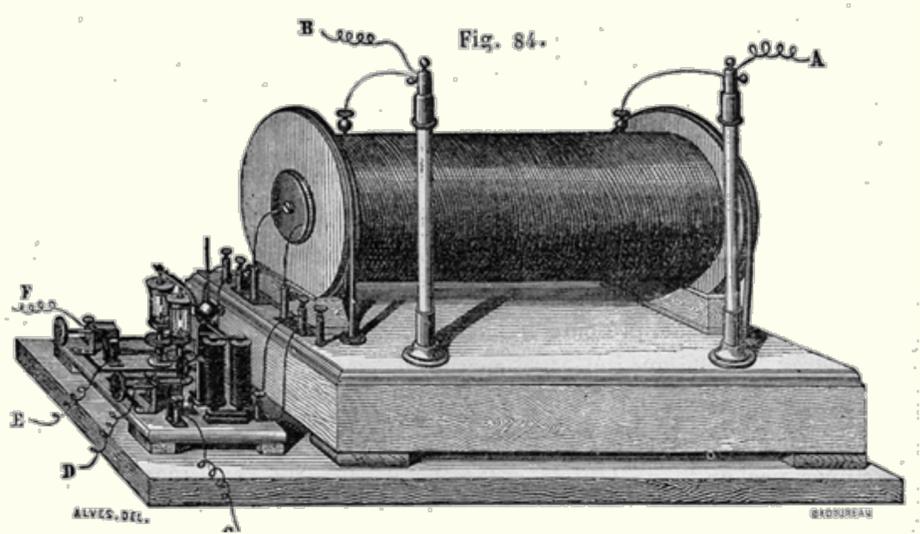
Le monde de 1895 - 1896

Les labos

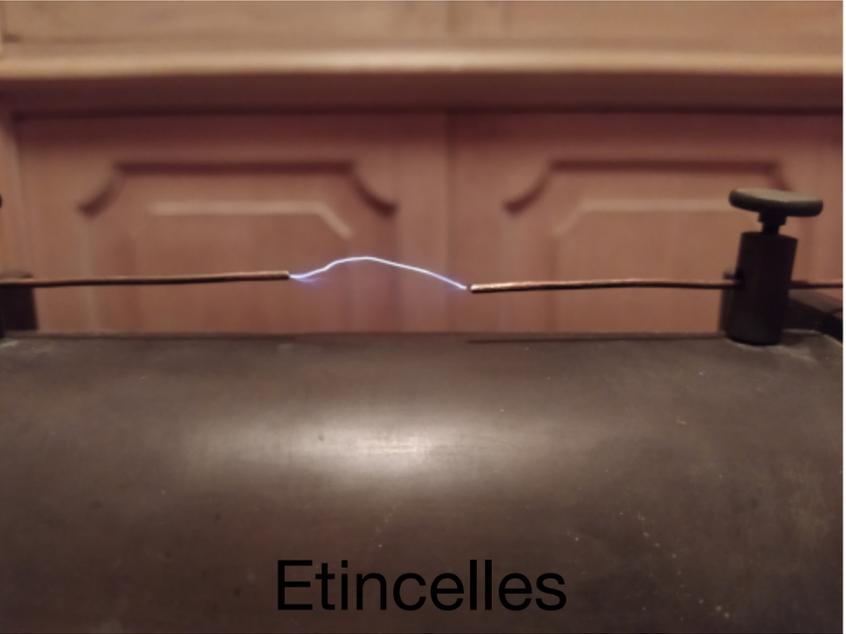




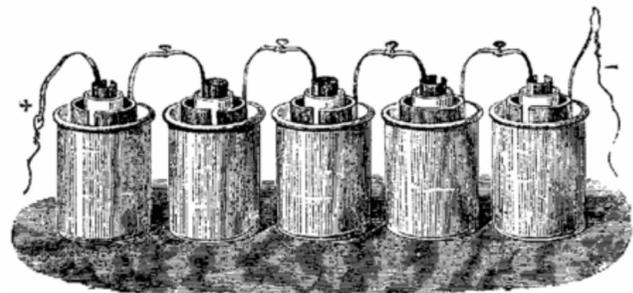
Piles électriques, Volta 1800



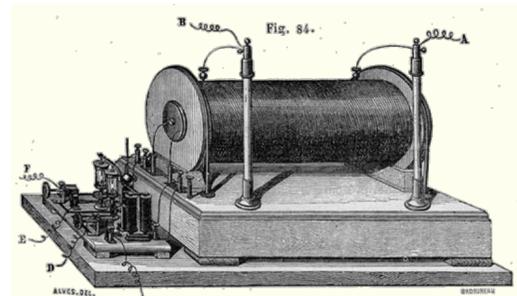
Bobine de Rühmkorff, 1850



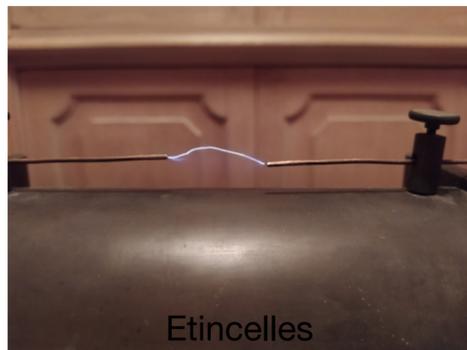
Etincelles



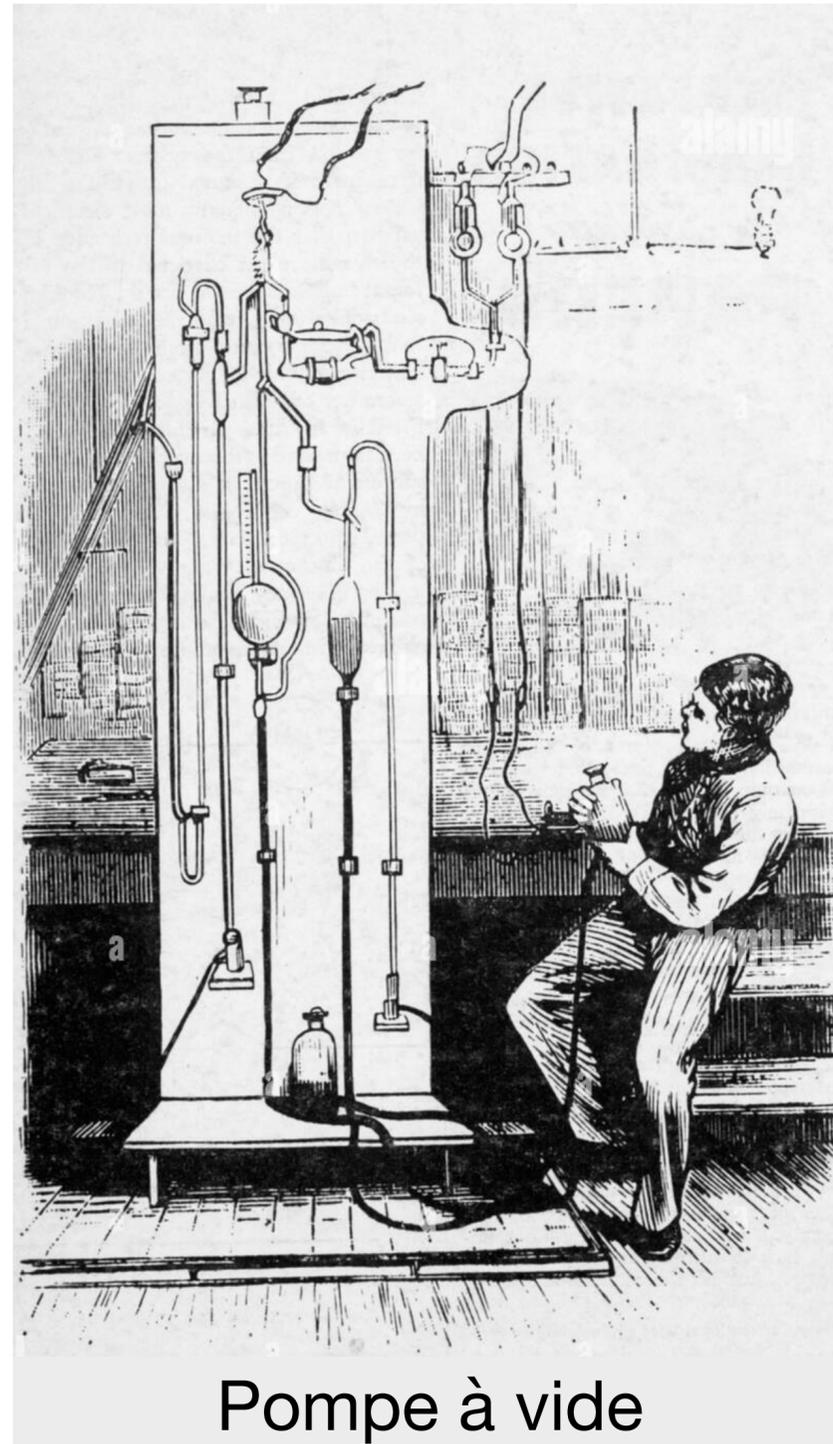
Piles électriques, Volta 1800



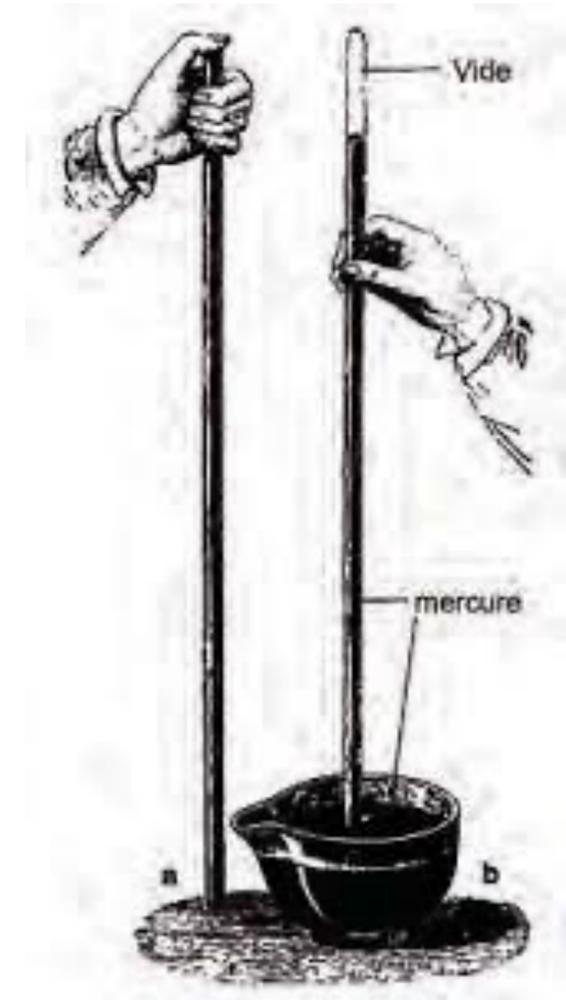
Bobine de Rühmkorff, 1850



Etincelles



Pompe à vide

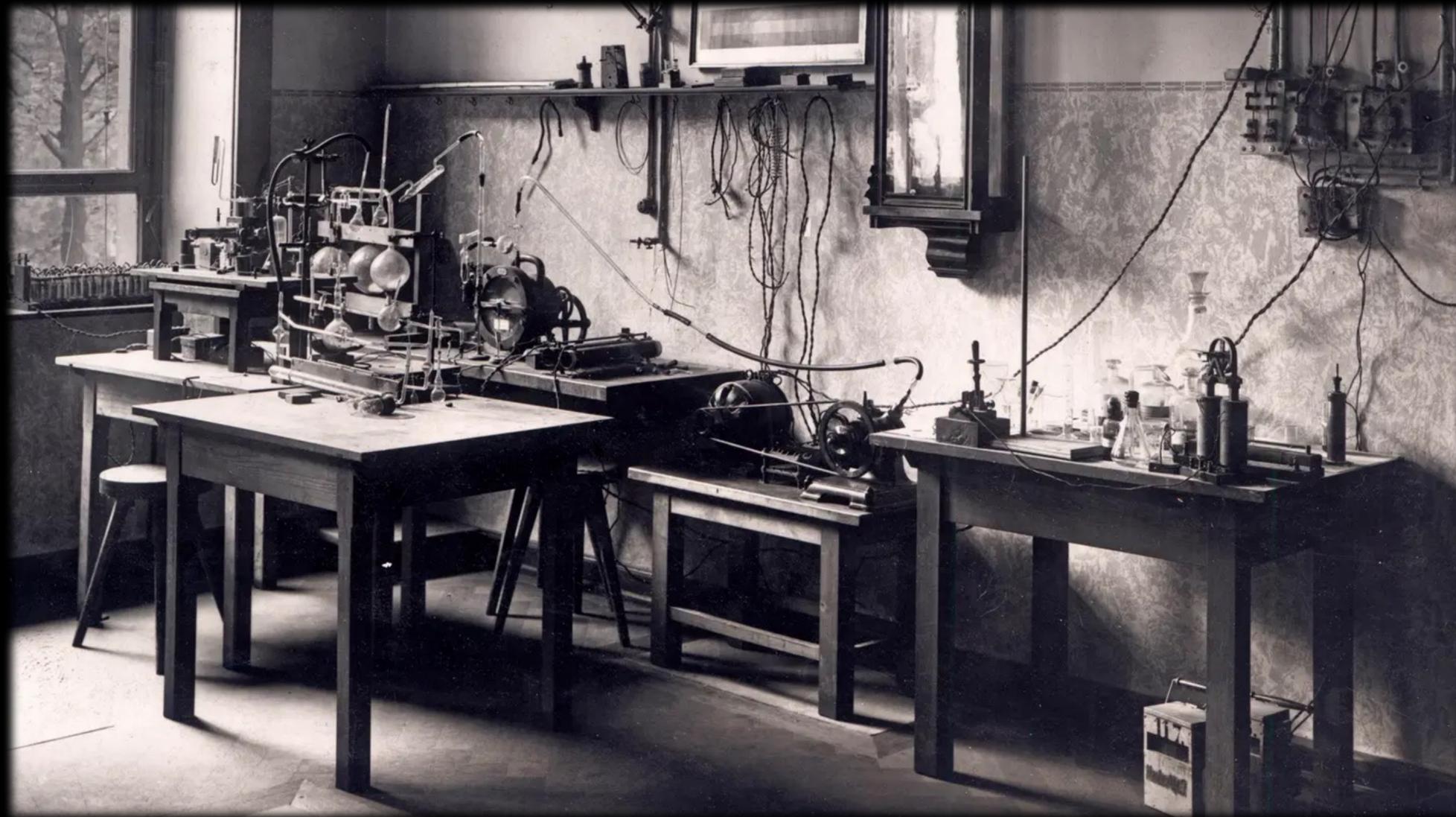


Torricelli 1644

1895 - 1897

Le début de l'histoire des hommes

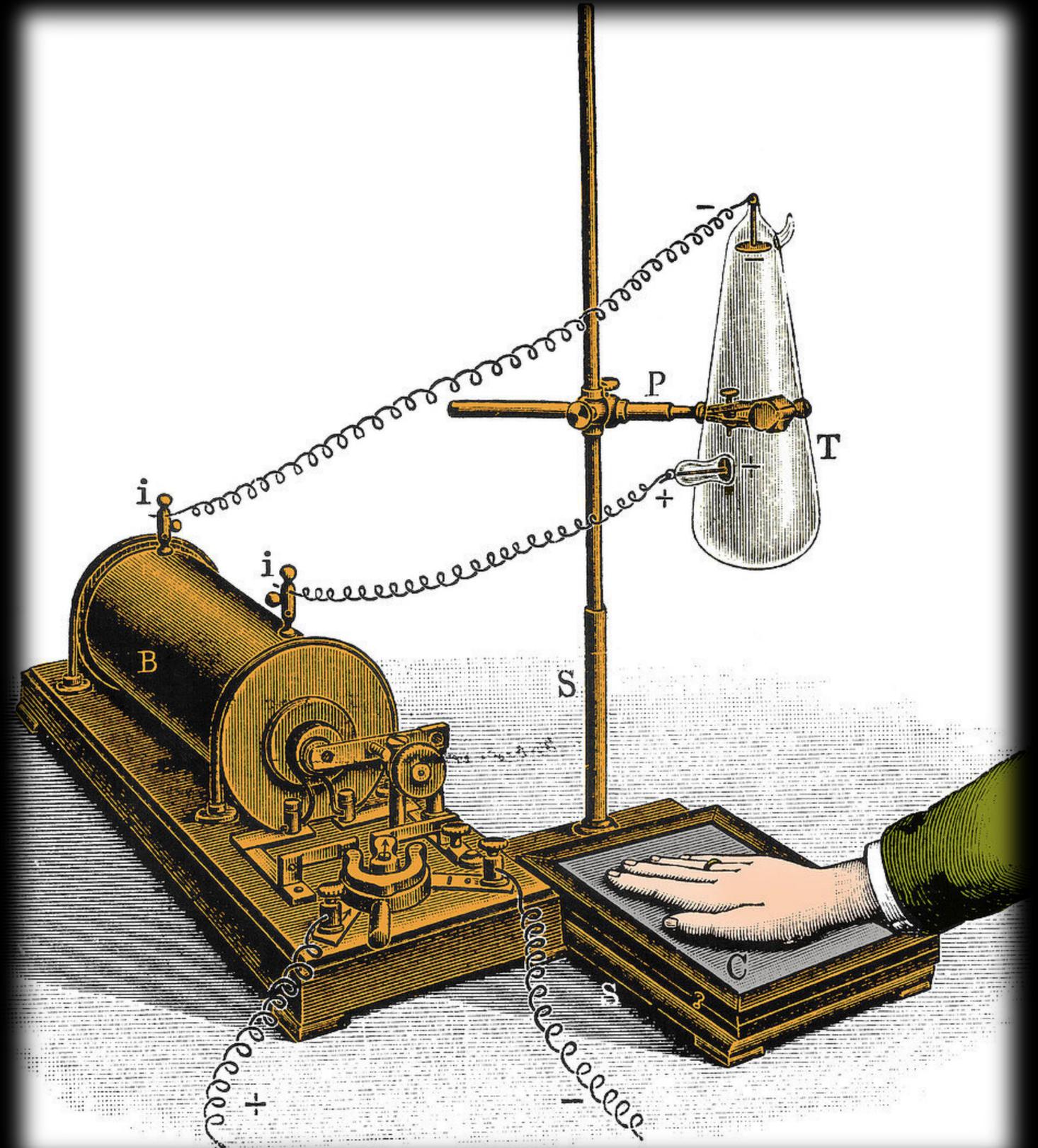
1. Wilhelm Röntgen et les rayons X



1895 - 1897

Le début de l'histoire des hommes

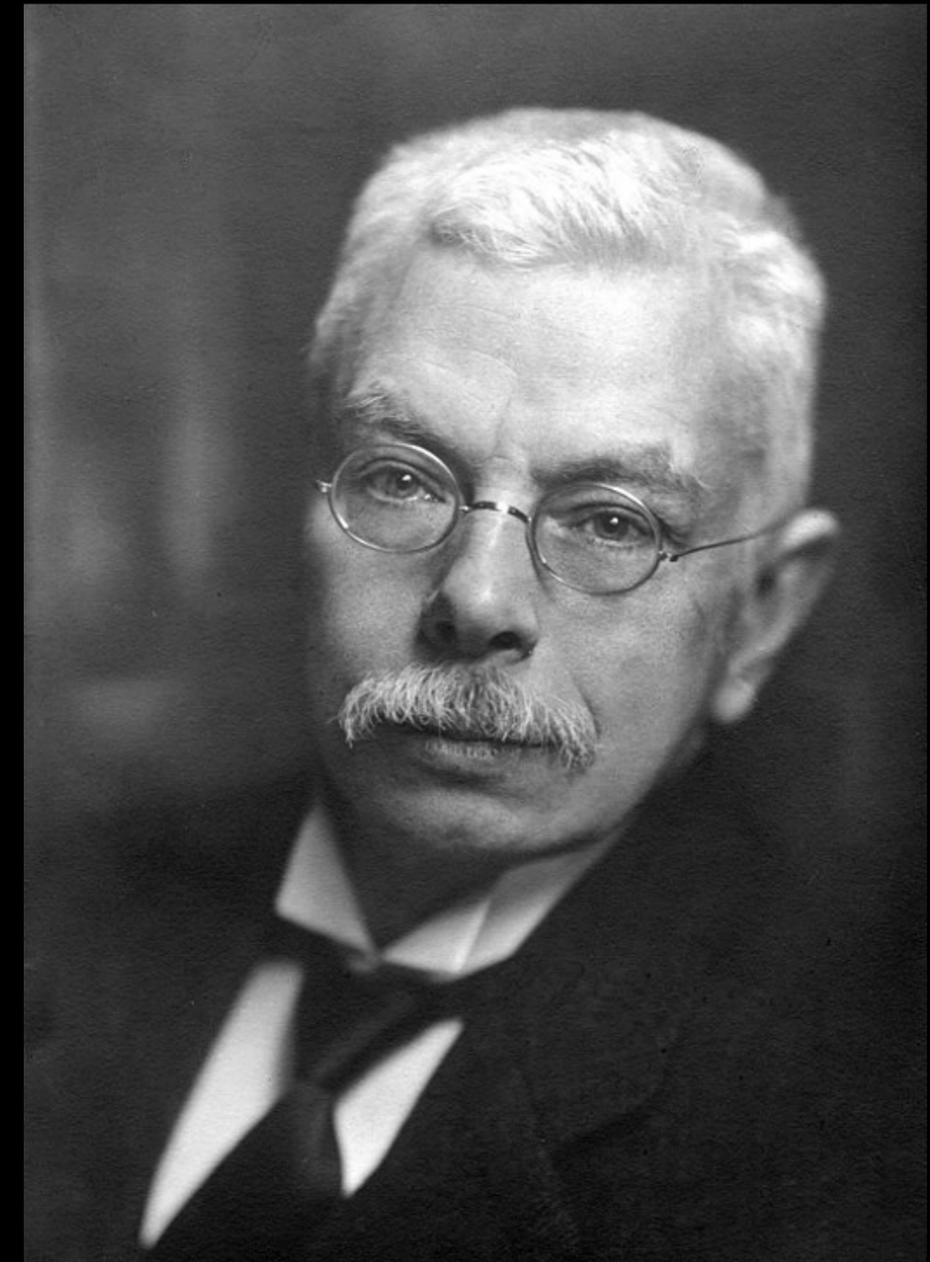
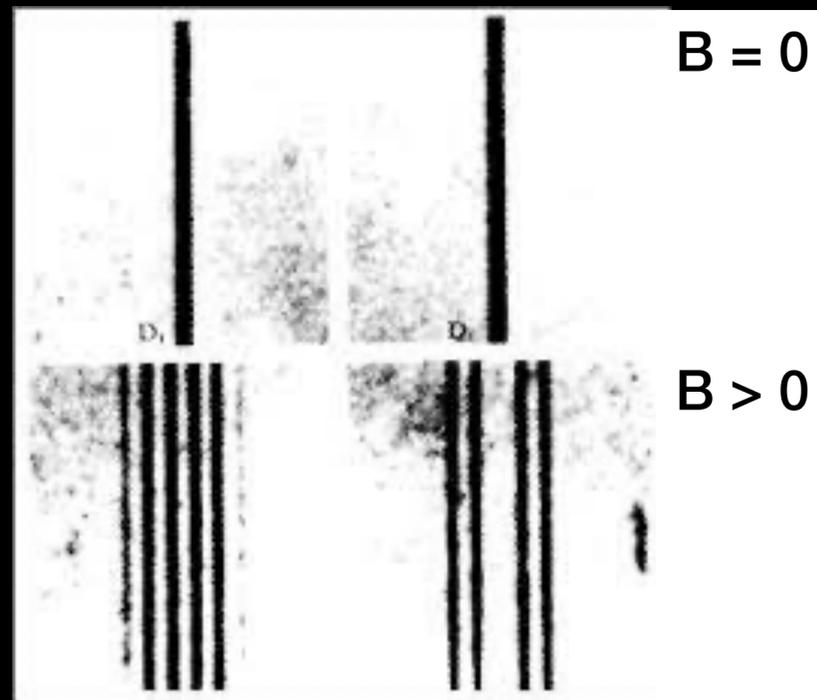
1. Wilhelm Röntgen et les rayons X



1895 - 1897

Le début de l'histoire des hommes

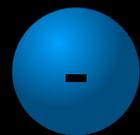
1. Wilhelm Röntgen et les rayons X
2. Pieter Zeeman et l'effet ... Zeeman



1895 - 1897

Le début de l'histoire des hommes

1. Wilhelm Röntgen et les rayons X
2. Pieter Zeeman et l'effet ... Zeeman

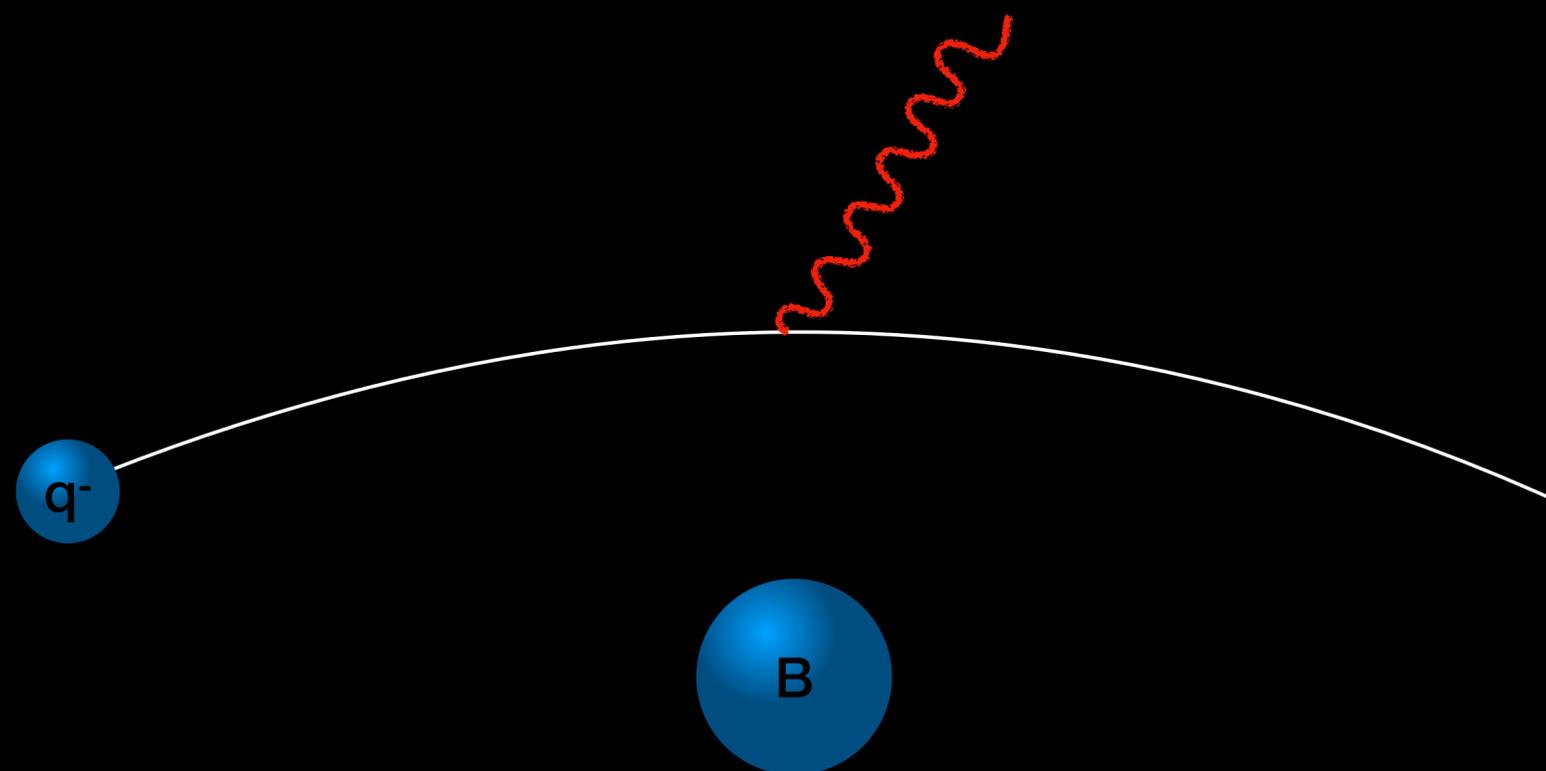


$$\frac{q}{m} = 1000 \times \frac{Z_H}{m_H} !!!$$

1895 - 1897

Le début de l'histoire des hommes

1. Wilhelm Röntgen et les rayons X
2. Pieter Zeeman et l'effet ... Zeeman

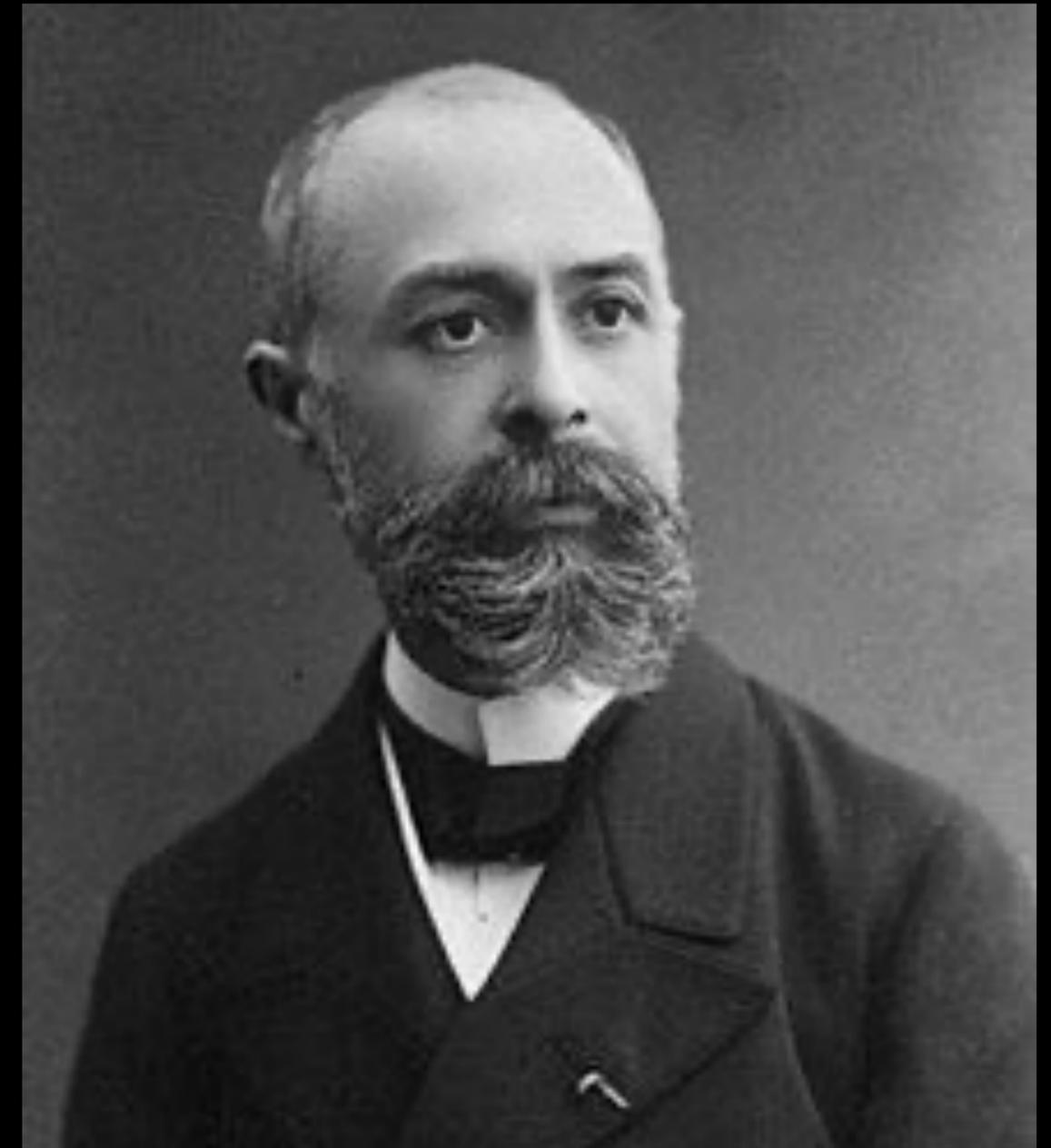


$$\frac{q}{m} = 1000 \times \frac{Z_H}{m_H} !!!$$

1895 - 1897

Le début de l'histoire des hommes

1. Wilhelm Röntgen et les rayons X
2. Pieter Zeeman et l'effet ... Zeeman
3. Henri Becquerel et les rayons uranifères



1895 - 1897

Le début de l'histoire des hommes

1. Wilhelm Röntgen et les rayons X
2. Pieter Zeeman et l'effet ... Zeeman
3. Henri Becquerel et les rayons uranifères



Radioactivité de l'Uranium

1895 - 1897

Le début de l'histoire des hommes

1. Wilhelm Röntgen et les rayons X
2. Pieter Zeeman et l'effet ... Zeeman
3. Henri Becquerel et les rayons uranifères
4. Joseph John Thomson et l'électron



1895 - 1897

Le début de l'histoire des hommes

1. Wilhelm Röntgen et les rayons X
2. Pieter Zeeman et l'effet ... Zeeman
3. Henri Becquerel et les rayons uranifères
4. Joseph John Thomson et l'électron
5. Percival Lowell et son observatoire



L'électron

Décharges électriques dans les gaz

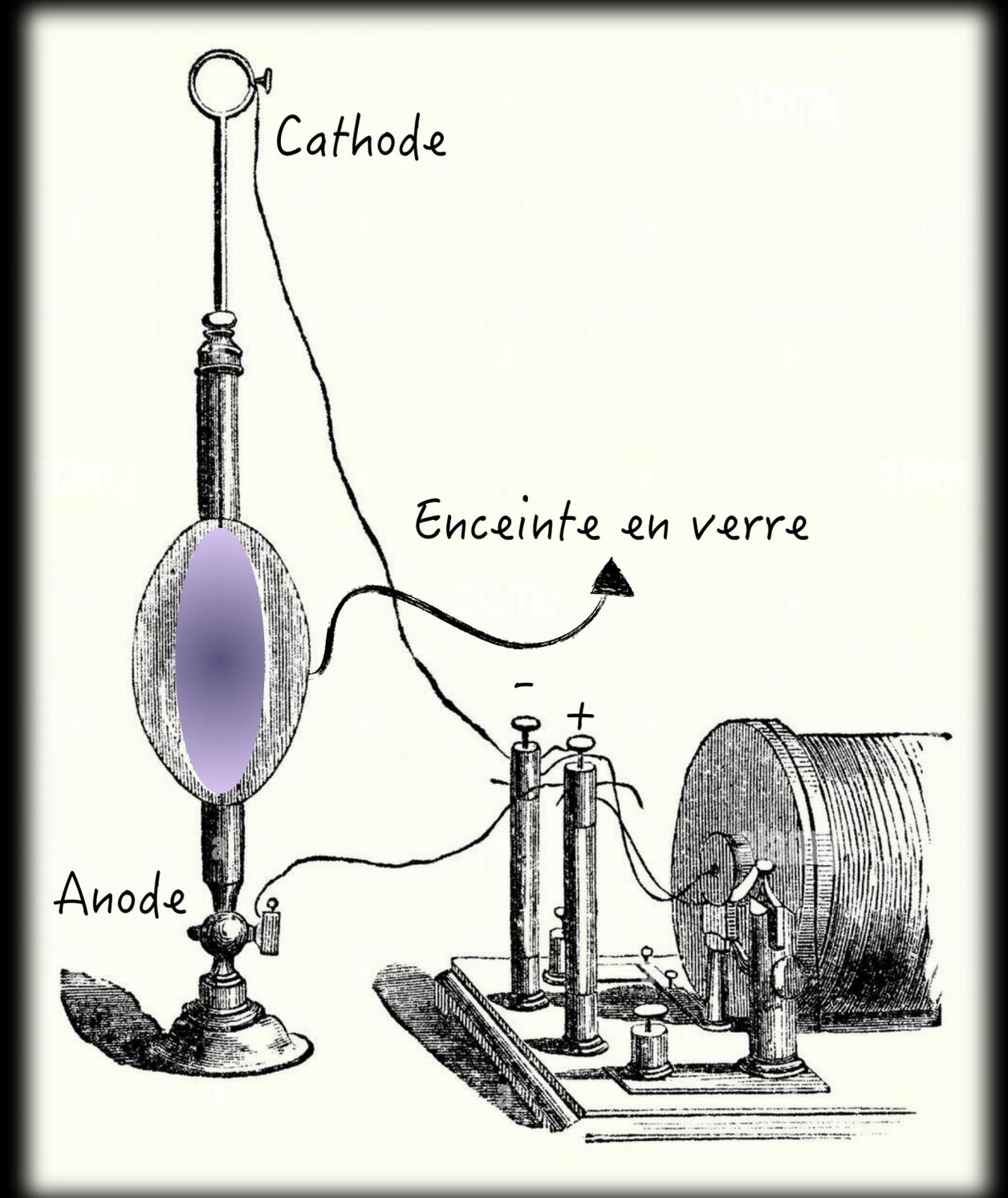
1838 Michael Faraday



Décharges électriques dans les gaz raréfiés

1838 Michael Faraday

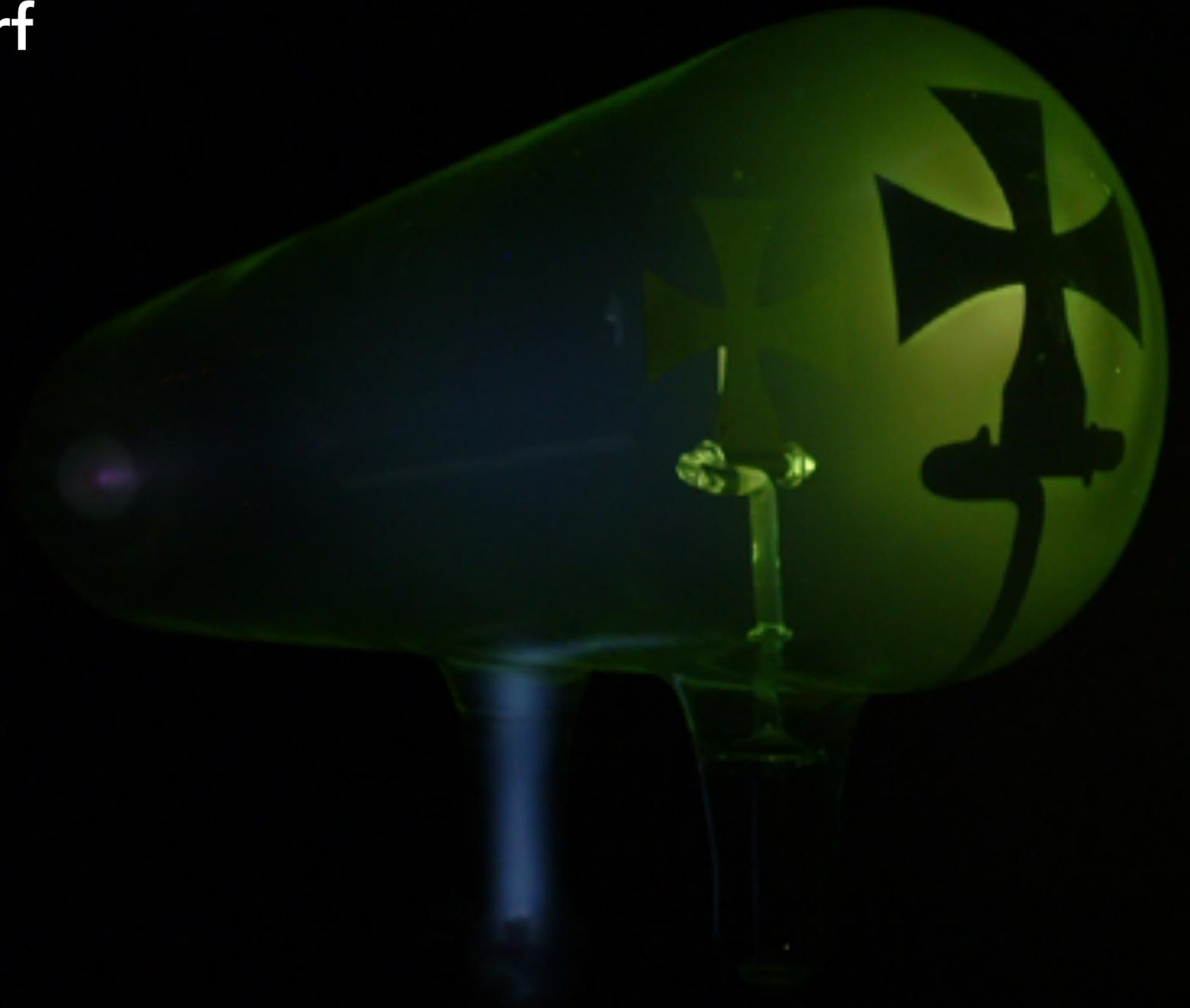
- Pression normale : étincelle
- Basse pression : incandescence



Les rayons cathodiques

1869 Julius Plücker & Johann Hittorf

- Des rayons qui se propagent en ligne droite depuis la cathode ...
- ... déviés par un champ magnétique



Tube de Crookes

1879 William Crookes

Dans un vide élevé, les rayons

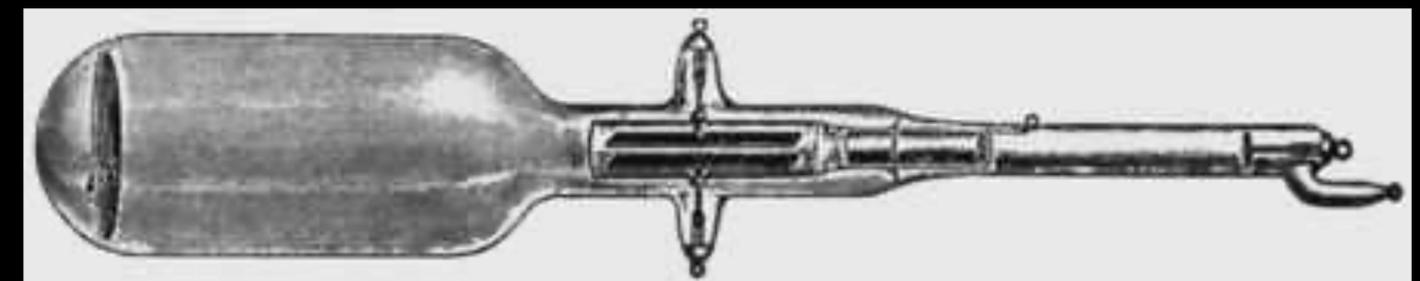
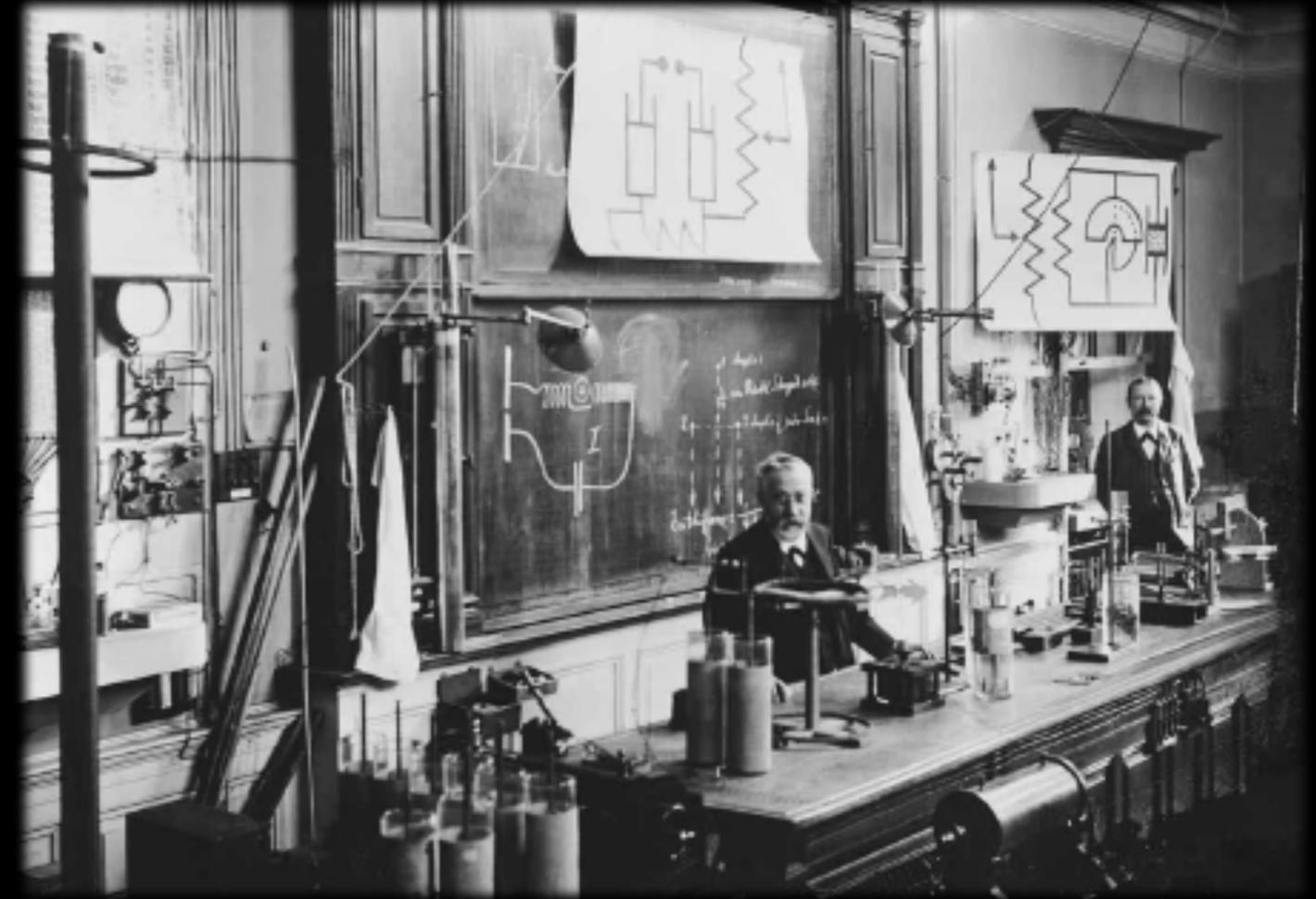
- sortent de la cathode
- rendent lumineuse la paroi opposée
- se déplacent en ligne droite
- sont déviés par un aimant



Le tube alsacien (Braunsche Rohre)

1895 Karl Ferdinand Braun

- Oscilloscope, téléviseur, ...
- Braun Telegrafien GmbH
- Telefunken AG
- Prix Nobel 1909



Les rayons cathodiques

1895 Lumière ou matière ?

Ecole allemande (Hertz, Lenard,...)



des vibrations de l'éther

Ecole anglaise (Crookes, Thomson,...)



de la matière chargée négativement

Les rayons cathodiques

Jean Perrin (1870-1942)

- Nature des rayons cathodiques
- Rayons X comme une lumière ultra violette
- Valide l'hypothèse de l'atome
- Observatoire de Haute Provence, Palais de la Découverte, CNRS

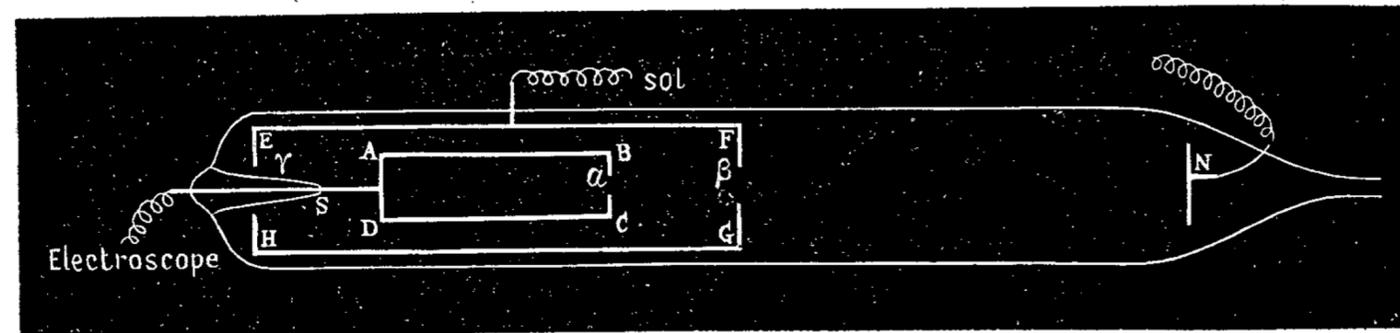


Les rayons cathodiques

1895 ~~Lumière ou~~ matière : des corpuscules de matière chargés négativement

ÉLECTRICITÉ. — *Nouvelles propriétés des rayons cathodiques.*
Note de M. JEAN PERRIN, présentée par M. Lippmann.

Fig. 1.



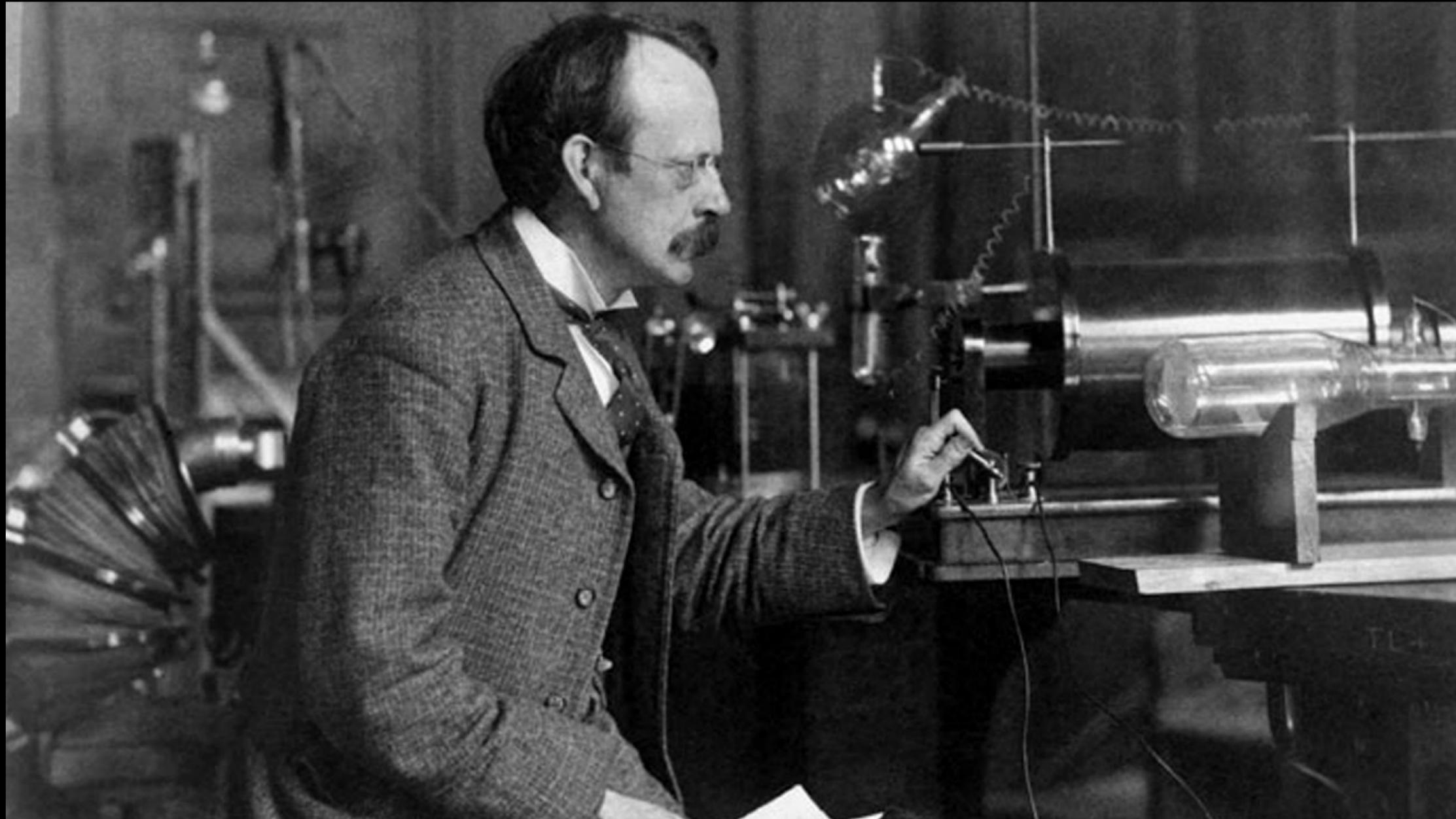
30 décembre 1895

Les rayons cathodiques sont chargés d'électricité négative...on peut les dévier avec un aimant.

L'ensemble de ces résultats [...] s'accordent [...] avec la théorie qui en fait un rayonnement matériel.

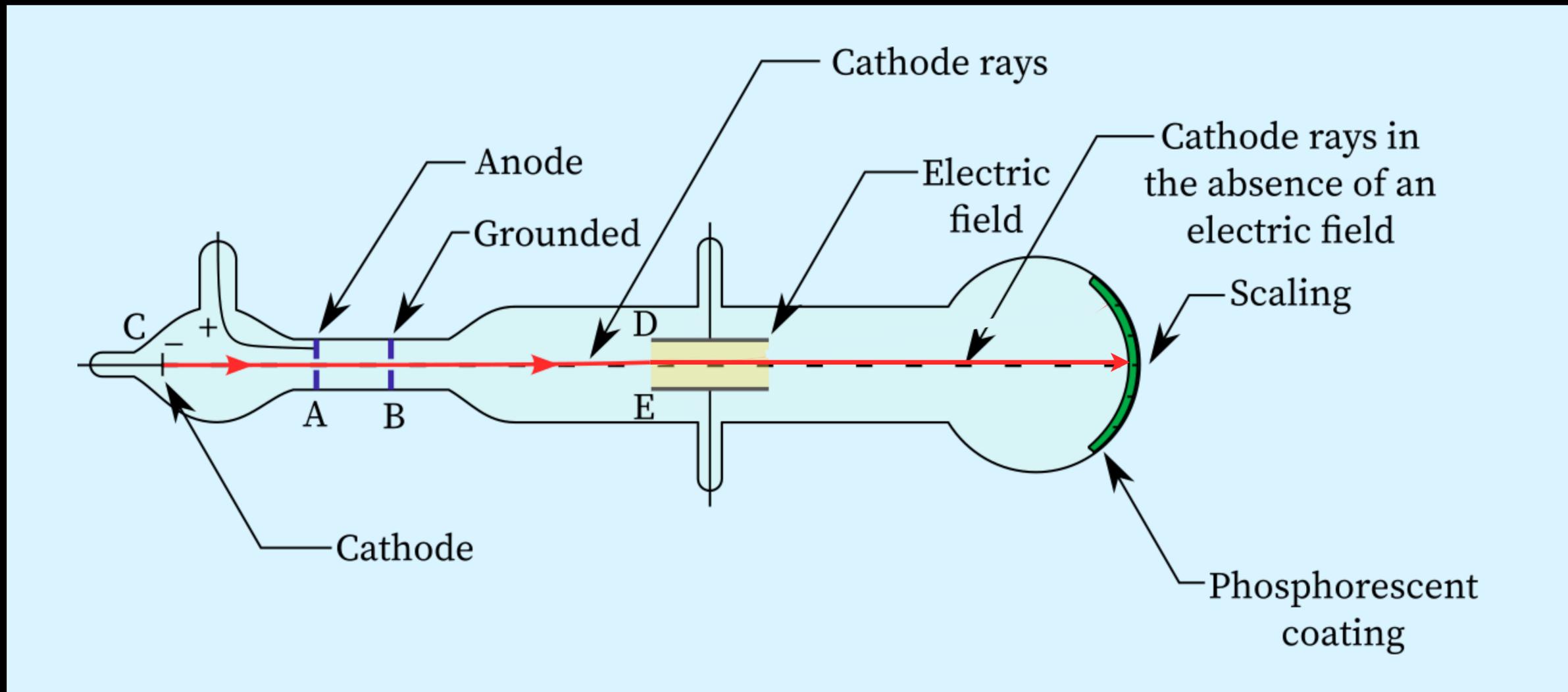
Les rayons cathodiques

Joseph John Thomson (1856-1940) : l'homme qui a cassé l'atome



Les rayons cathodiques

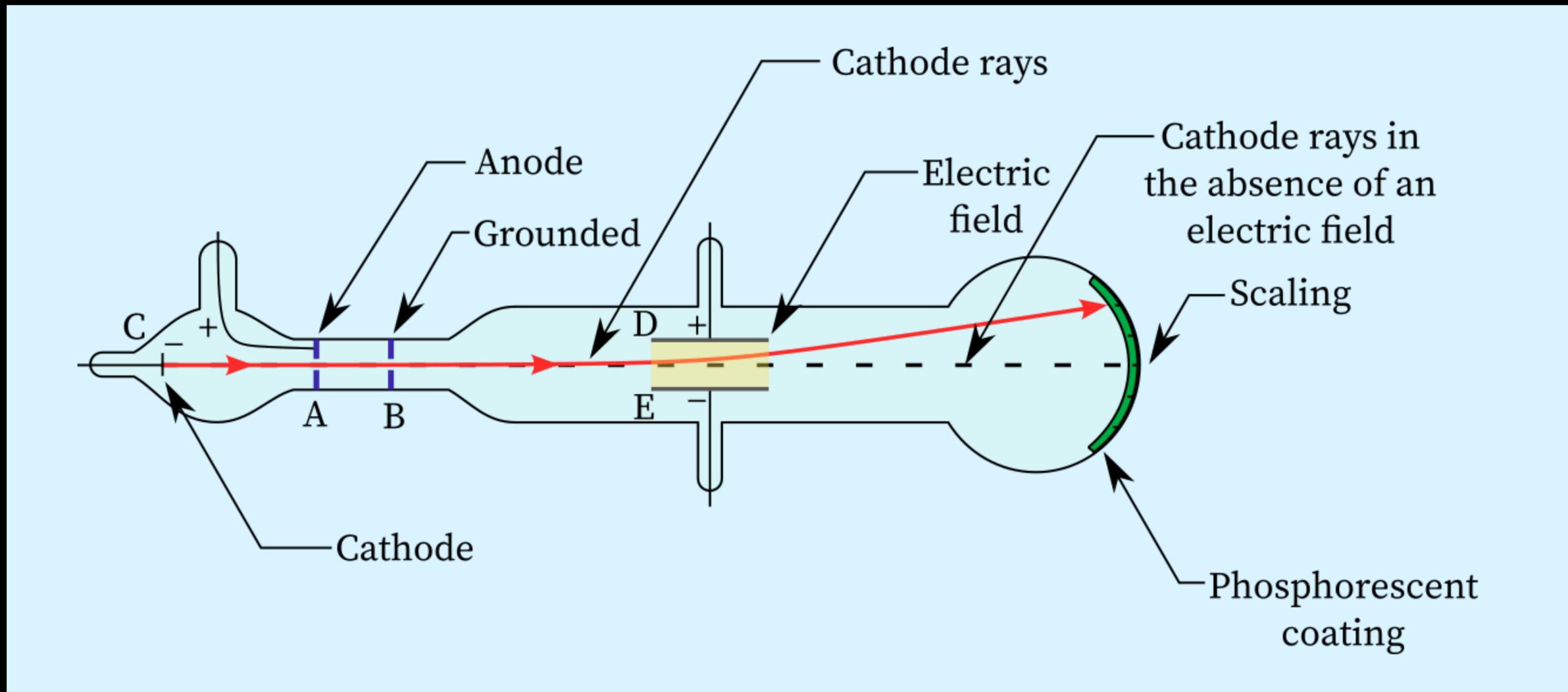
1897 Joseph John Thomson



Les rayons cathodiques

1897 Joseph John Thomson

$$\frac{q}{m} \sim 1000 \times \frac{q_H}{m_H}$$



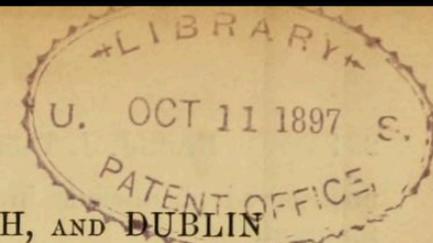
Les rayons cathodiques

1897 Joseph John Thomson

Les rayons cathodiques sont des corpuscules :

- viennent de l'intérieur de l'atome
- chargés négativement
- Q/M mille fois supérieur à H
- composants de tous les éléments

**L'électron constituant universel de
toute matière**



THE
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

OCTOBER 1897.

XL. *Cathode Rays.* By J. J. THOMSON, M.A., F.R.S.,
Cavendish Professor of Experimental Physics, Cambridge.*

THE experiments † discussed in this paper were undertaken in the hope of gaining some information as to the nature of the Cathode Rays. The most diverse opinions are held as to these rays; according to the almost unanimous opinion of German physicists they are due to some process in the æther to which—inasmuch as in a uniform magnetic field their course is circular and not rectilinear—no phenomenon hitherto observed is analogous: another view of these rays is that, so far from being wholly ætherial, they are in fact wholly material, and that they mark the paths of particles of matter charged with negative electricity. It would seem at first sight that it ought not to be difficult to discriminate between views so different, yet experience shows that this is not the case, as amongst the physicists who have most deeply studied the subject can be found supporters of either theory.

The electrified-particle theory has for purposes of research a great advantage over the ætherial theory, since it is definite and its consequences can be predicted; with the ætherial theory it is impossible to predict what will happen under any given circumstances, as on this theory we are dealing with hitherto

* Communicated by the Author.

† Some of these experiments have already been described in a paper read before the Cambridge Philosophical Society (Proceedings, vol. ix. 1897), and in a Friday Evening Discourse at the Royal Institution ('Electrician,' May 21, 1897).

Charge de l'électron

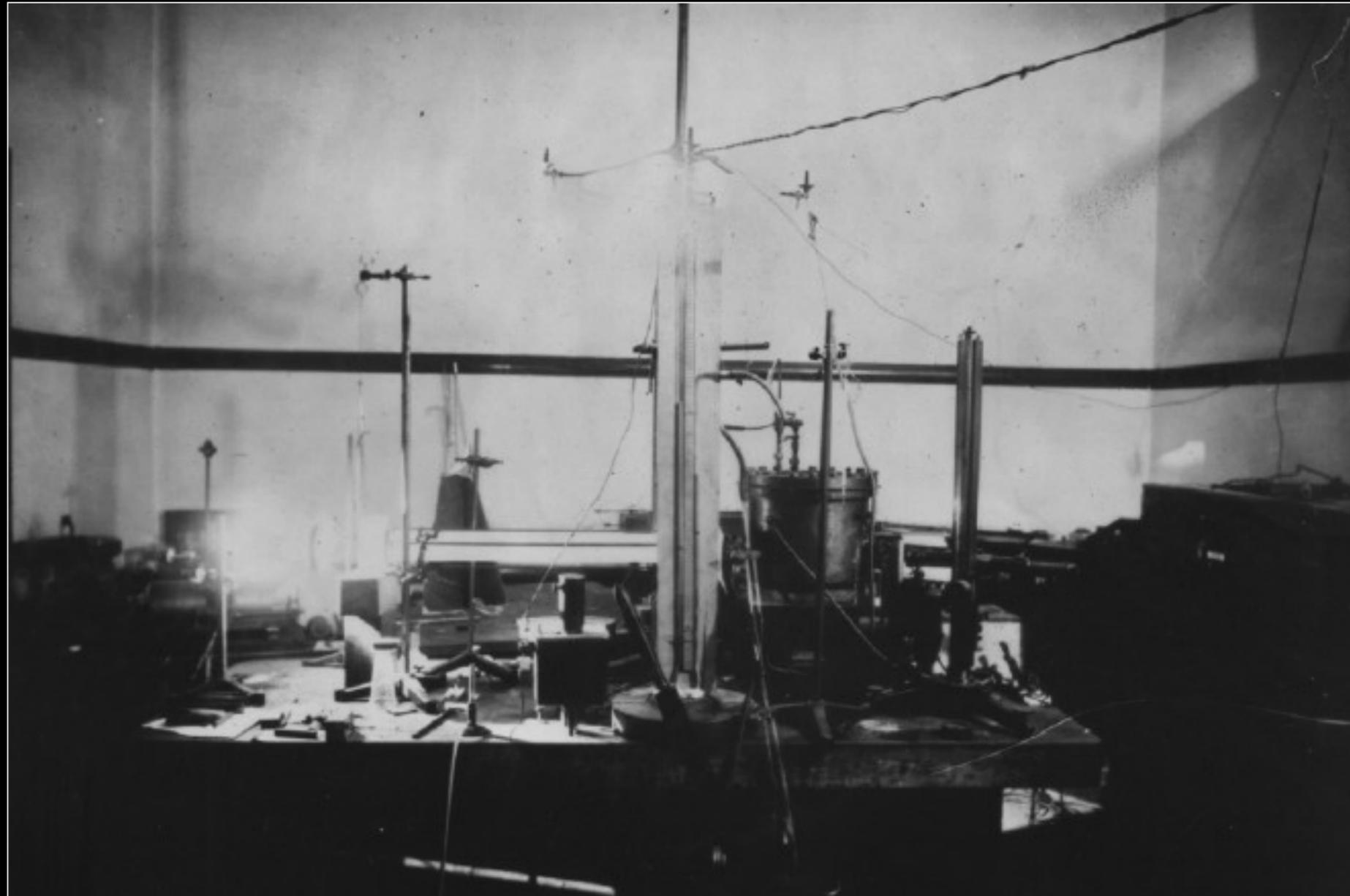
Charge de l'électron

Robert Millikan (1868-1963)



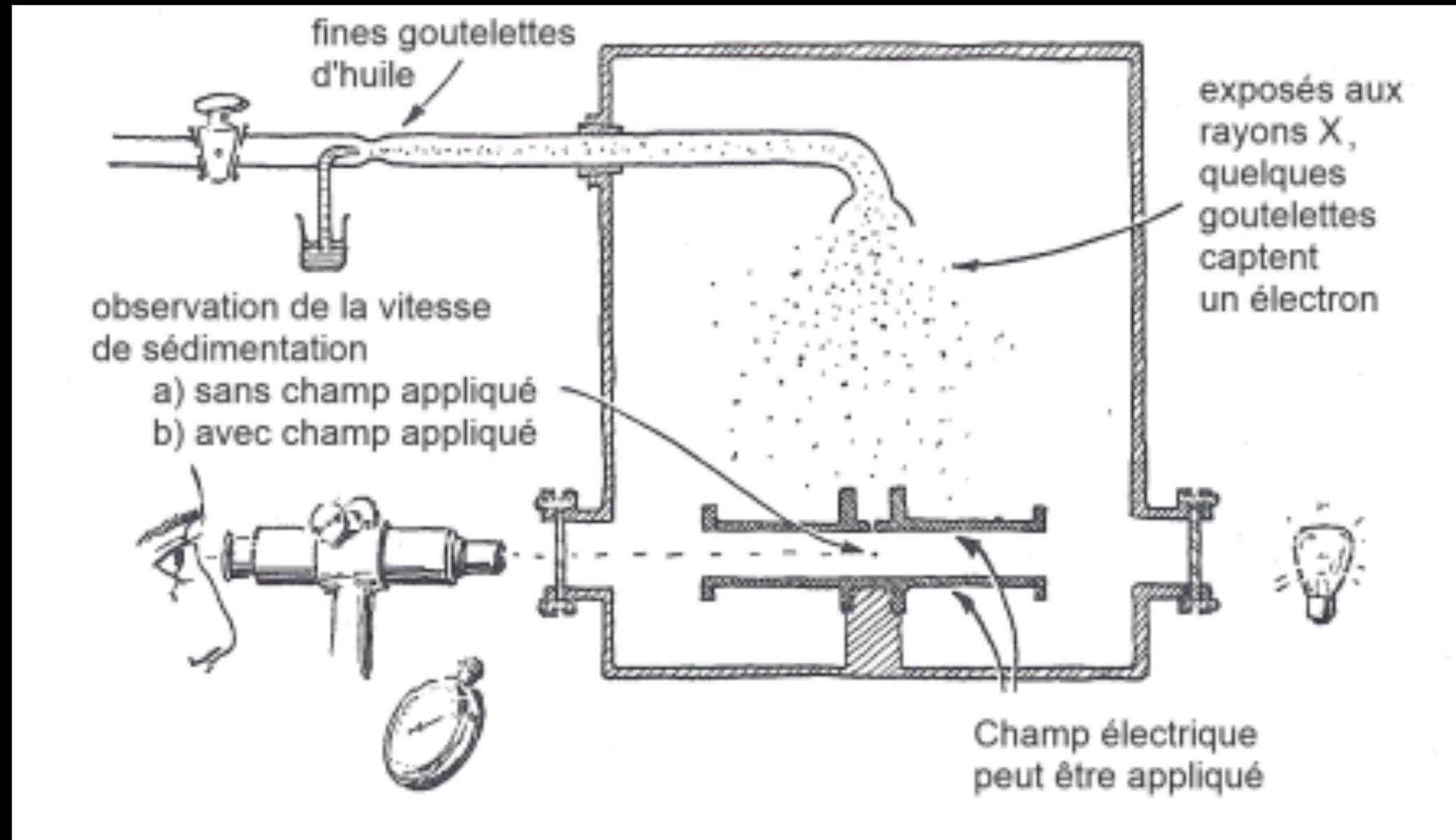
Charge de l'électron

1909 Robert Millikan



Charge de l'électron

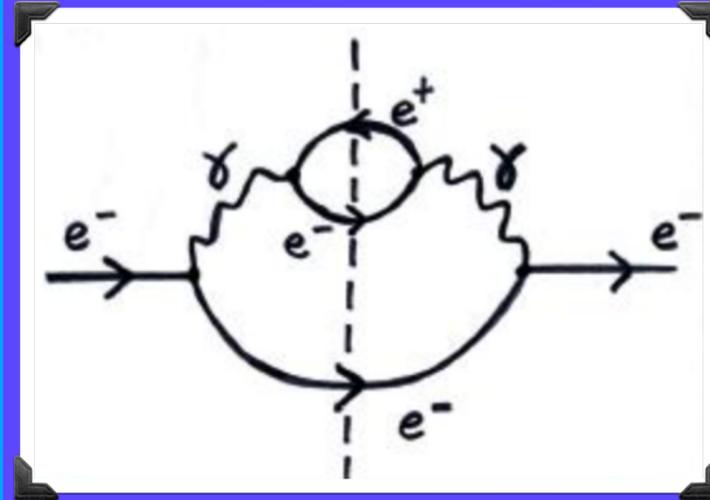
1913 Robert Millikan



$$F_G = F_E$$
$$Mg = nqE$$

Electron

Carte d'identité



Nom	électron
Symbole	e^-
Classification	particule élémentaire
Groupe	lepton
Famille	fermion
Génération	première
Masse	$9,109 \times 10^{-31}$ kg (511 keV/c ²)
Charge électrique	-1 e ($1,602 \times 10^{-19}$ C)
Spin	1/2
Durée de vie	$> 2,1 \times 10^{36}$ s
Découverte	1897
Découvreur	Joseph John Thomson

Electron

Corpuscule ou onde ?

Louis de Broglie (1924) :

« Des corpuscules tels que les électrons
peuvent se comporter comme des ondes »



Electron

Corpuscule ou onde ?

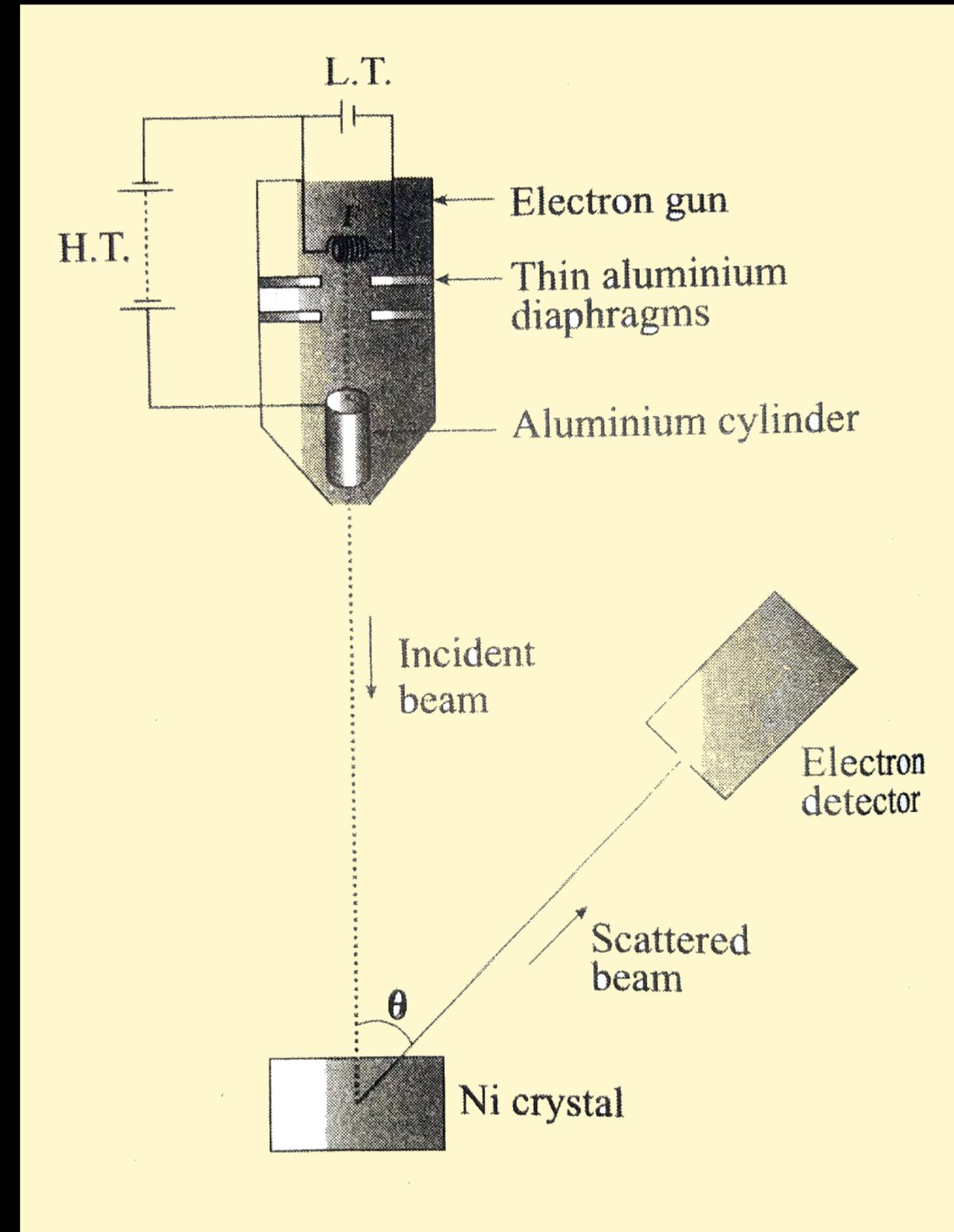
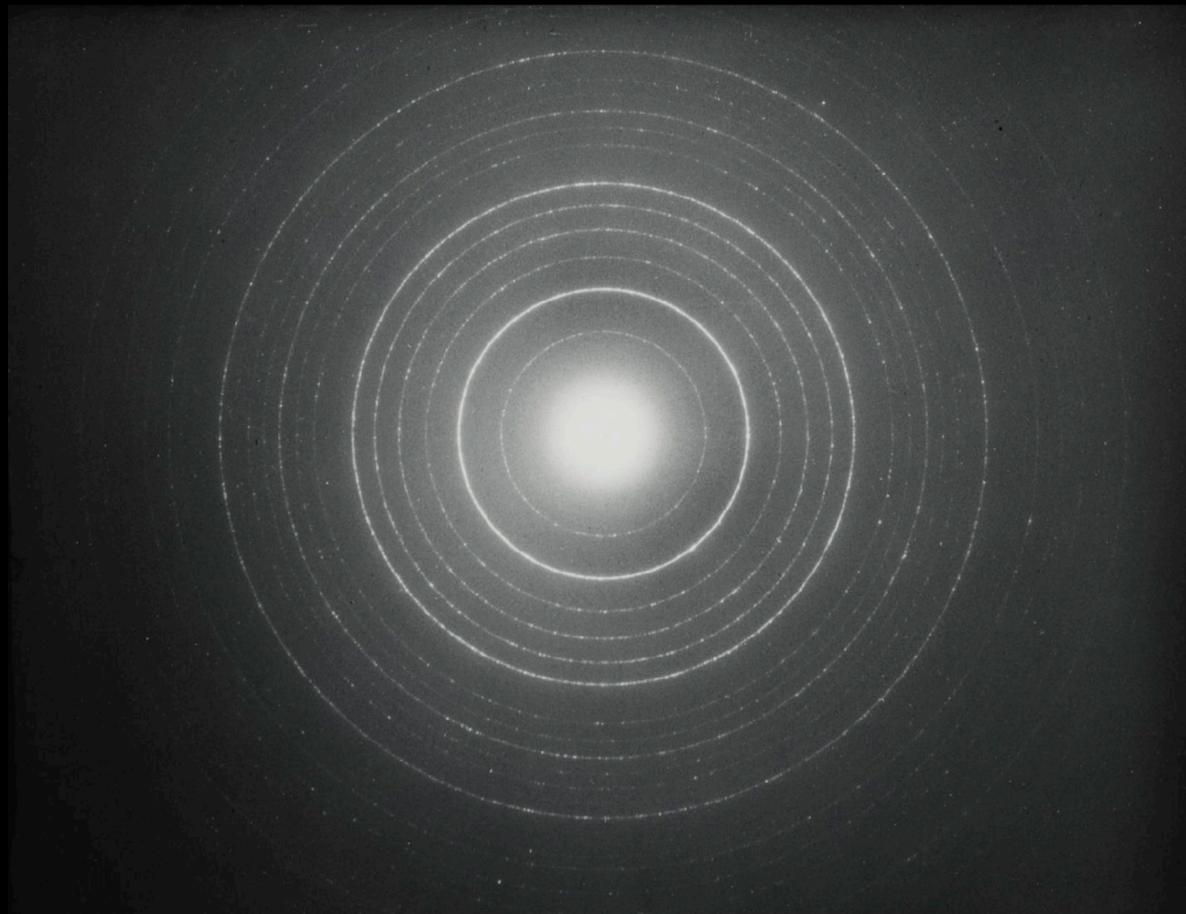
Clinton Davisson & Lester Germer, George
Paget Thomson (1927)



Electron

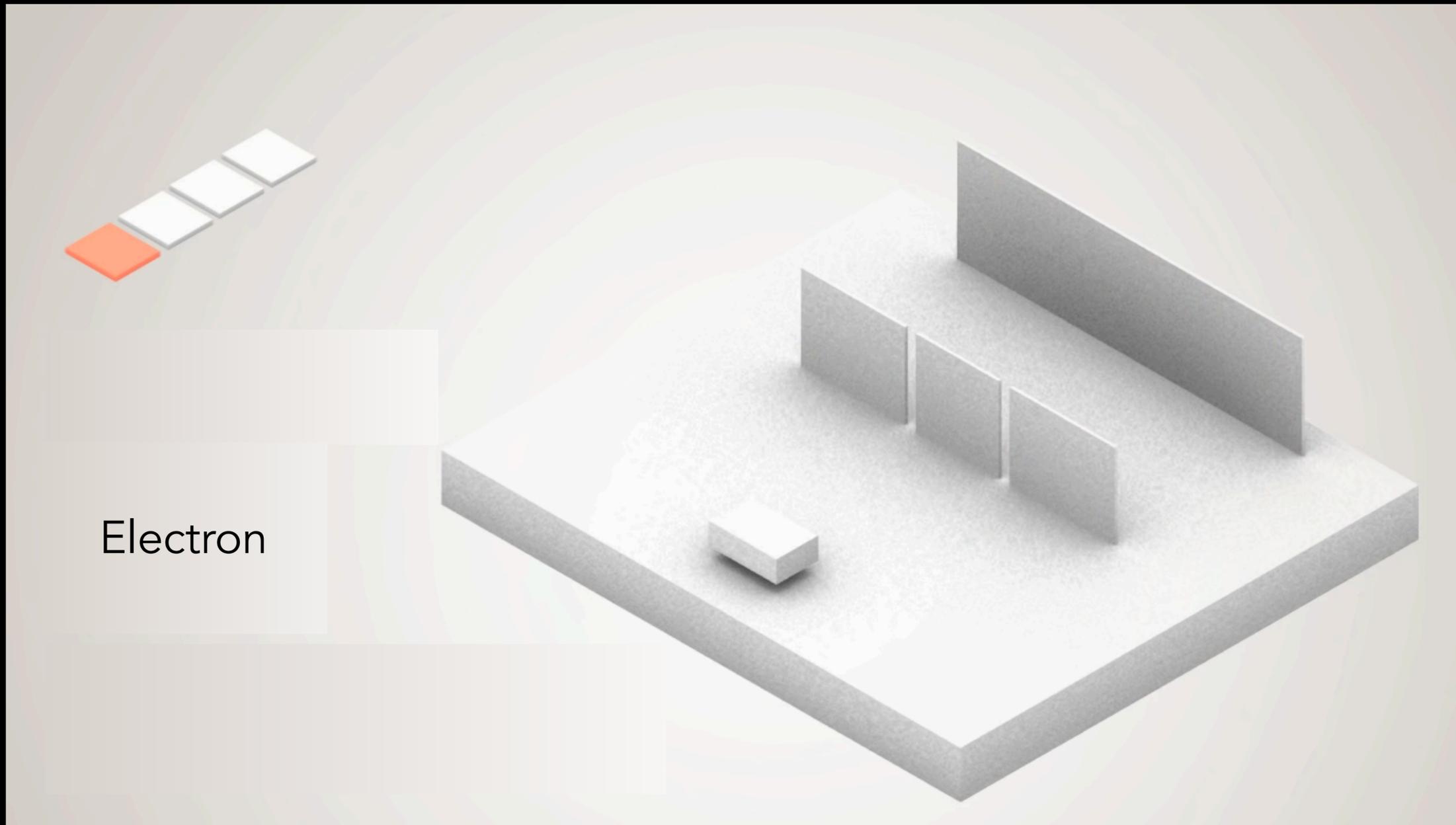
~~Corpuscule ou onde ?~~ Particule quantique

Clinton Davisson & Lester Germer, George Paget Thomson (1927)



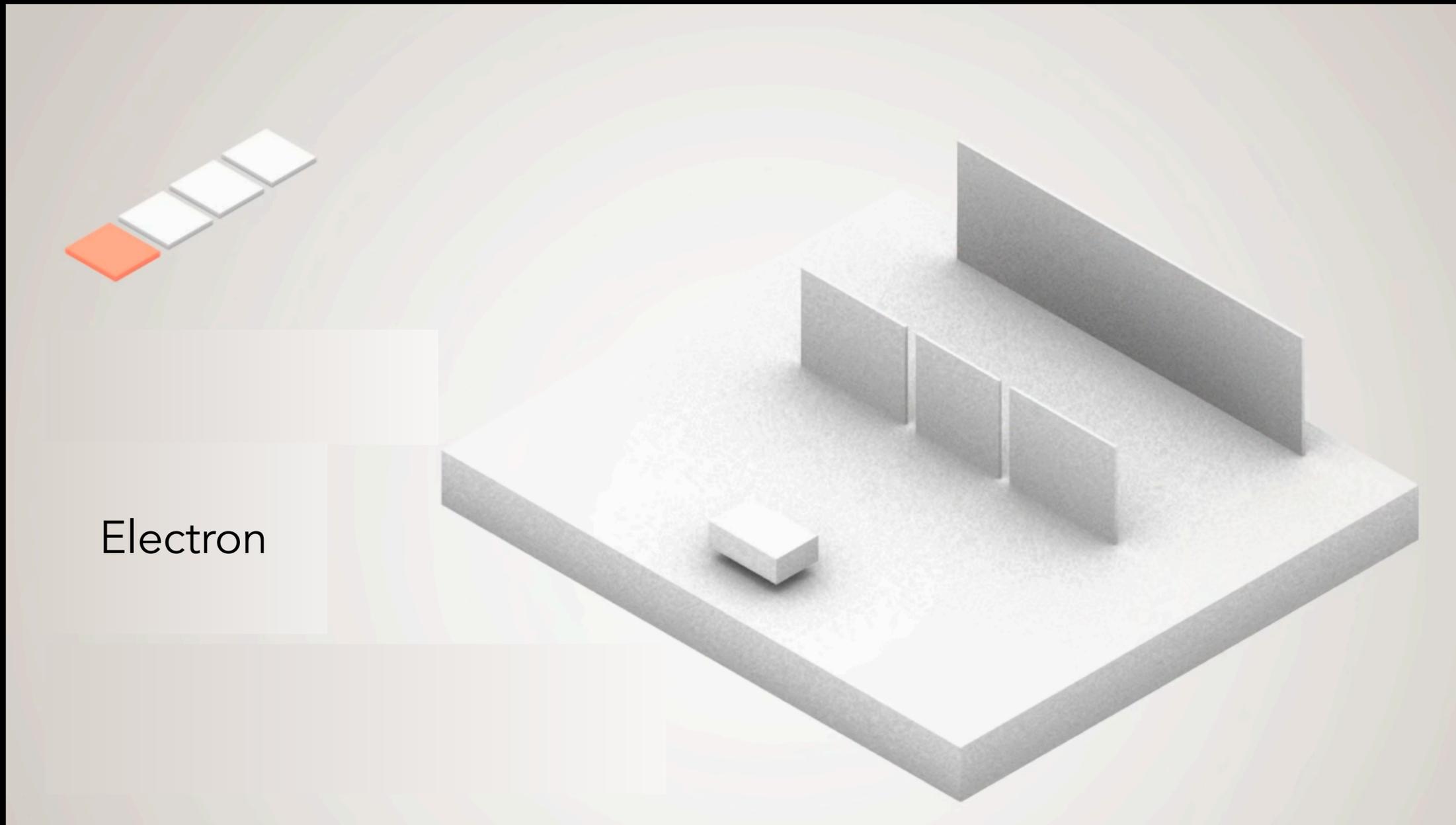
Expérience des fentes de Young

Réalisation : électron



Expérience des fentes de Young

Réalisation : électron



Expérience des fentes de Young

Electron

Ni corpuscule, ni onde mais particule quantique

*C*e que nous observons n'est pas la nature elle-même, mais la nature soumise à notre méthode de questionnement. La particule n'a pas de position, ni de vitesse avant la mesure, seule la mesure oblige la particule à prendre position.

Werner Heisenberg

Histoires de Particules

5 étapes

1. Du corpuscule et de l'onde ... à la particule quantique
2. De l'électron ... au zoo de particules
3. Du chaos ... au cosmos
4. Des particules élémentaires ... aux champs quantiques
5. Fin des histoires ou nouvelle histoire ?