



GARRA Group



Instituto Argentino de
Radioastronomía



¿DE QUÉ ESTÁ HECHO EL MUNDO?

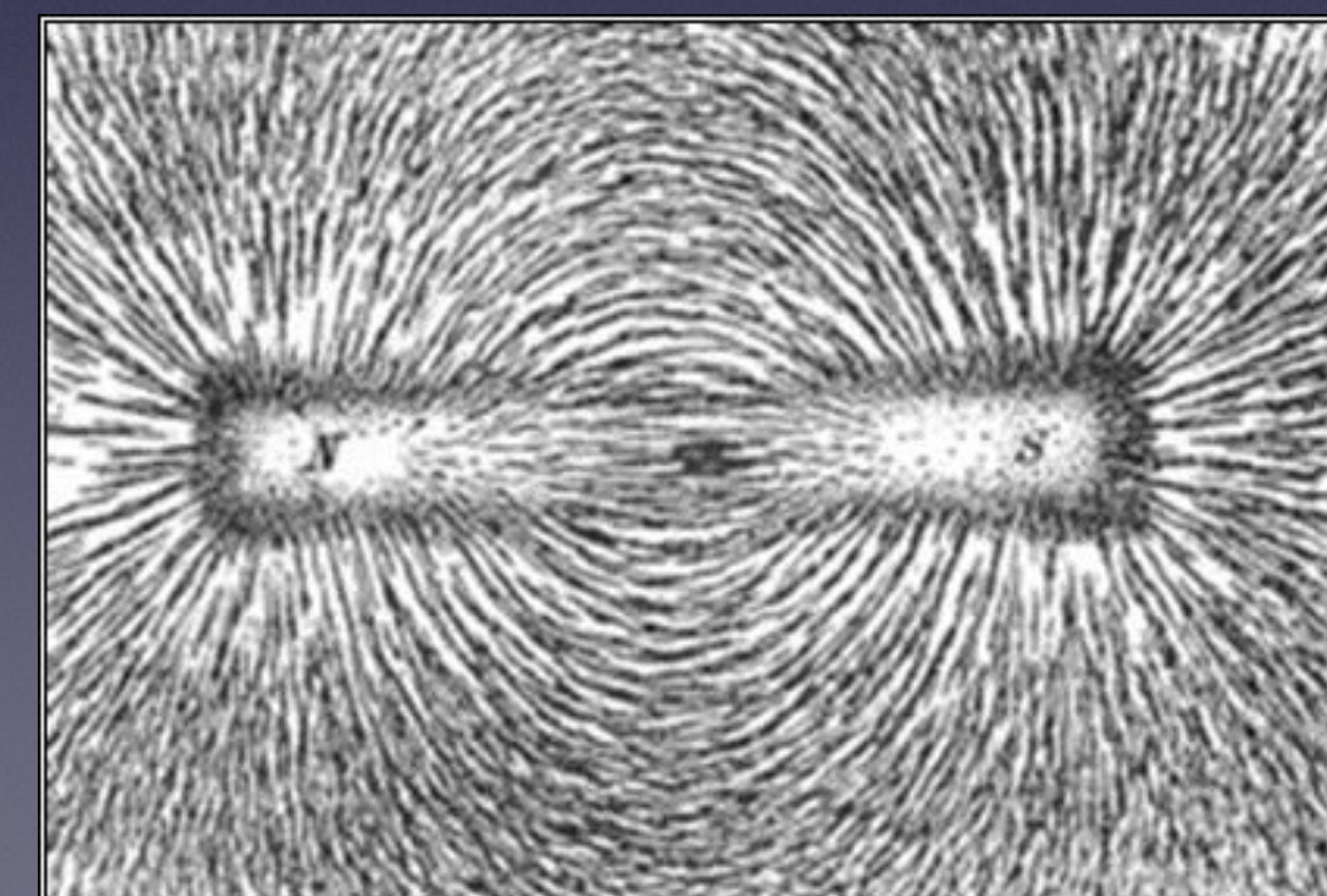
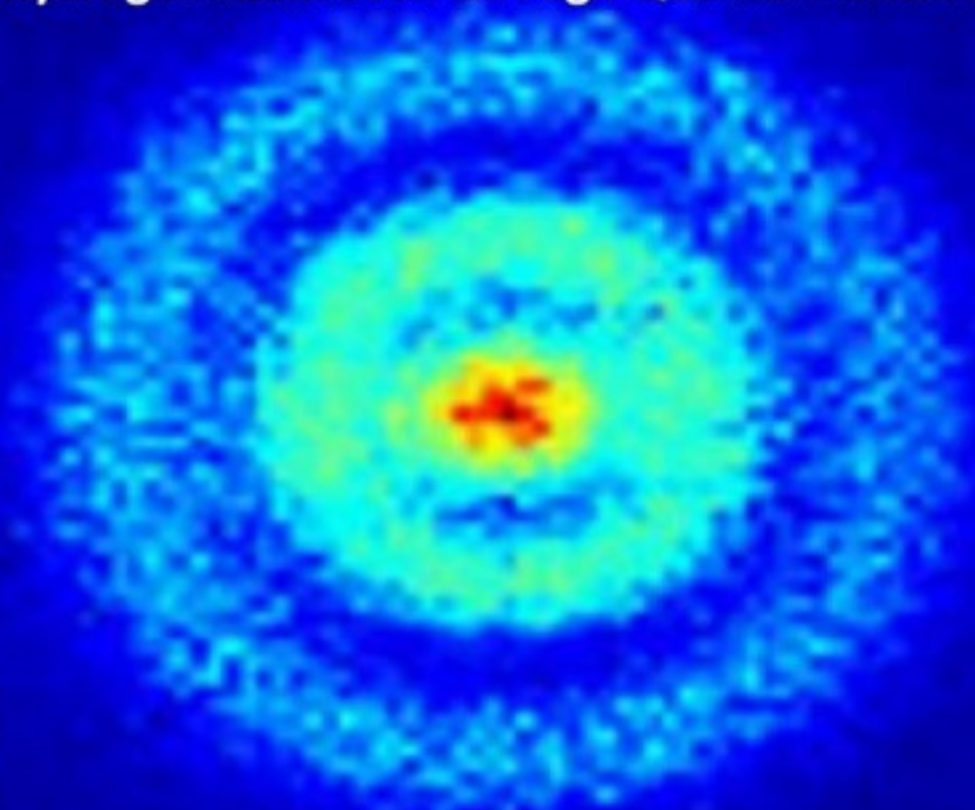
Gustavo E. Romero

IAR-CONICET/FCAyG-UNLP, Argentina

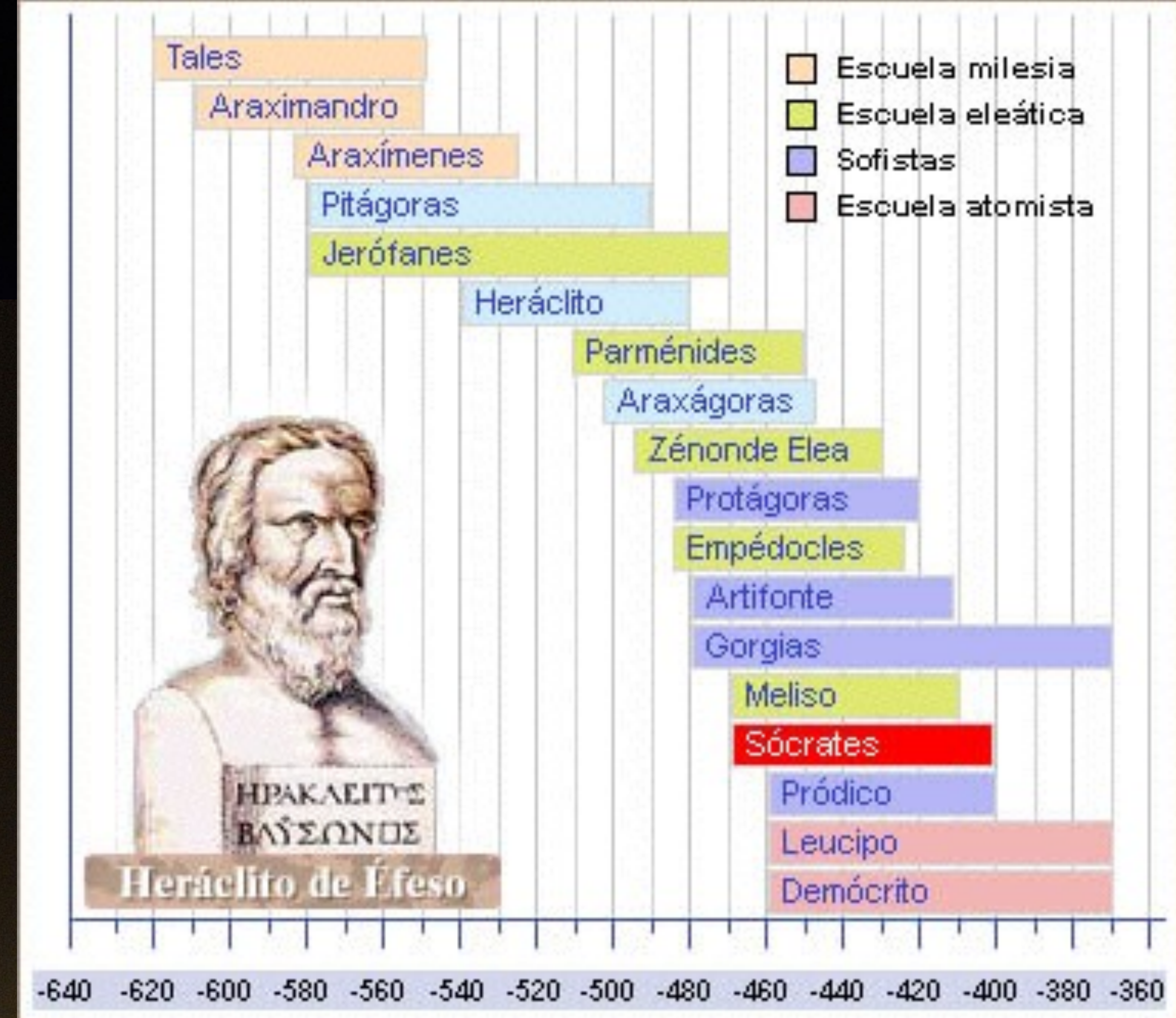
FCAyG, Planetario, UNLP,
noviembre de 2016

Ciclo de Filosofía Científica

The Hydrogen Atom seen through Quantum Microscope



Filósofos Pre-Socráticos

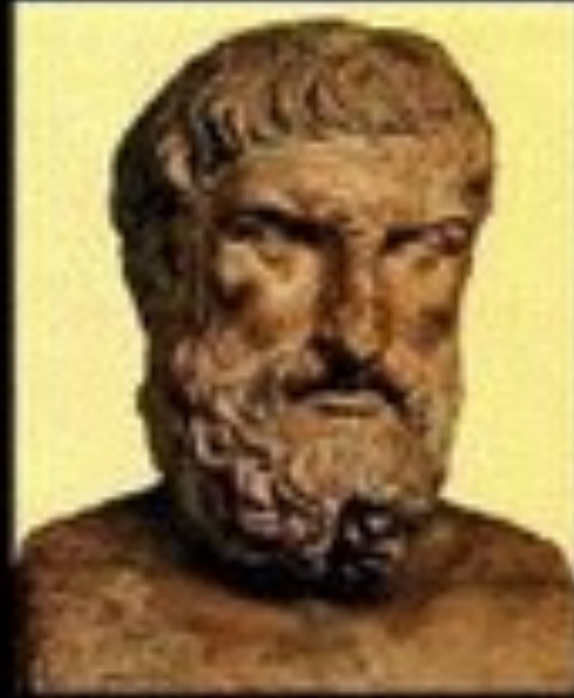




Leucipo



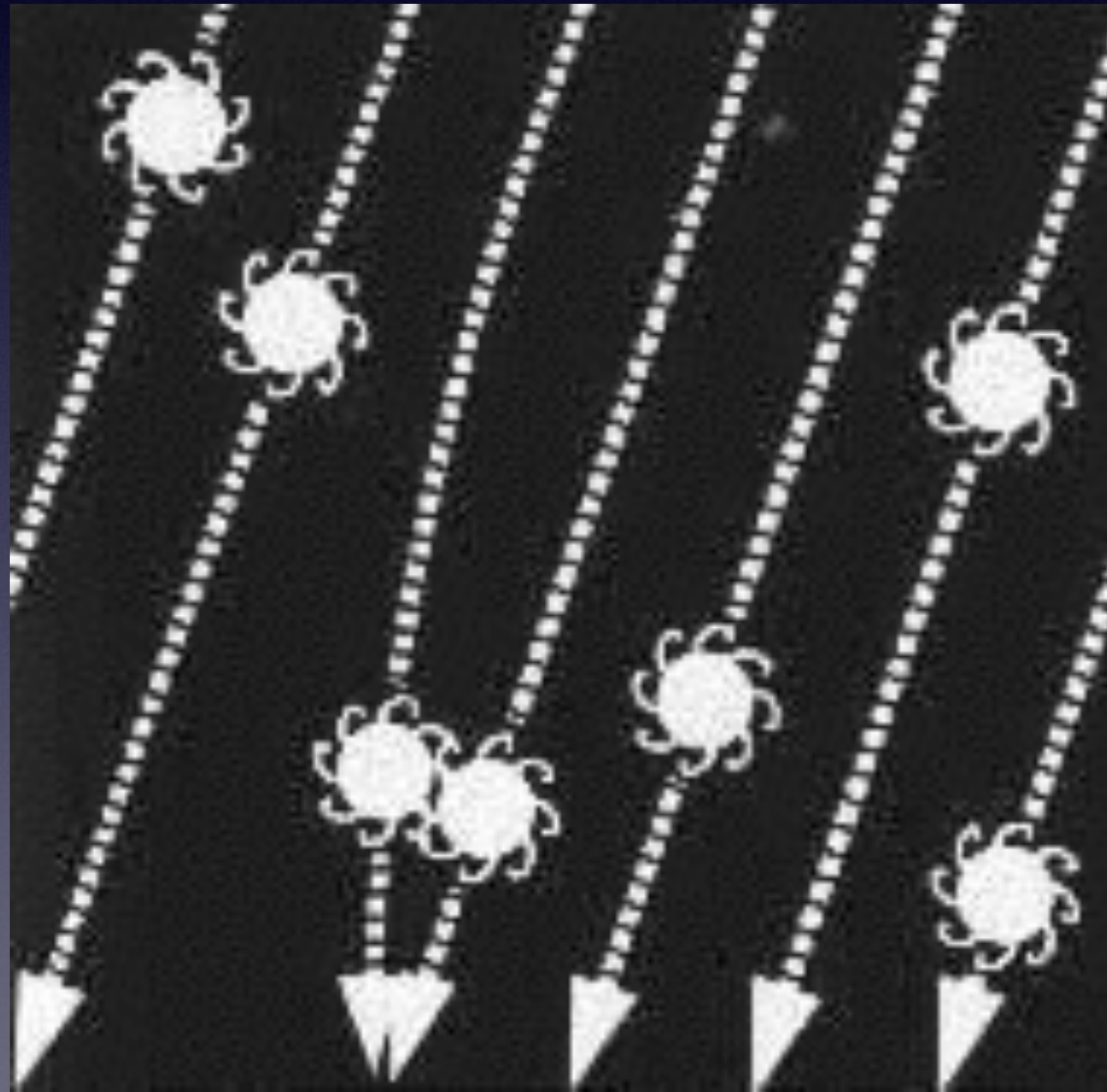
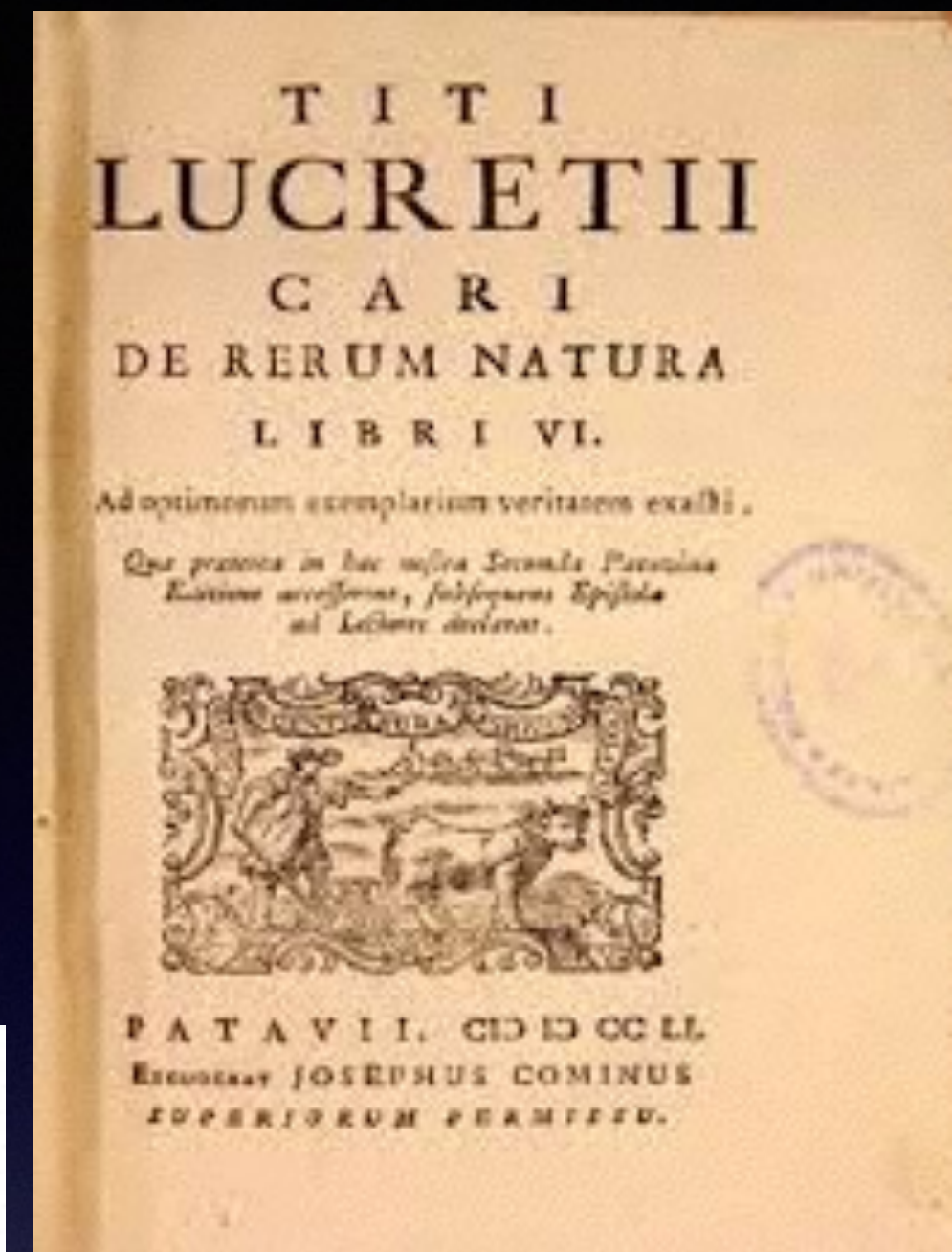
Demócrito



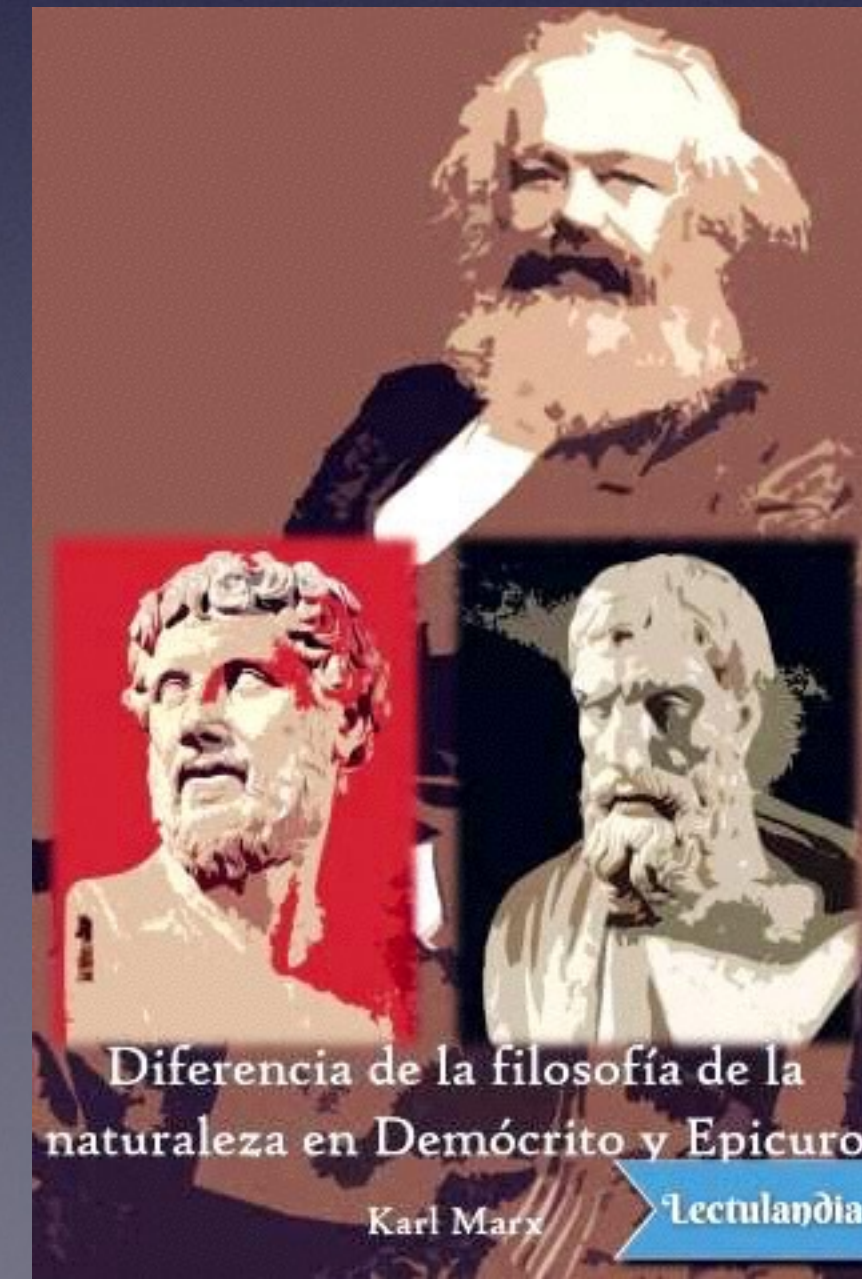
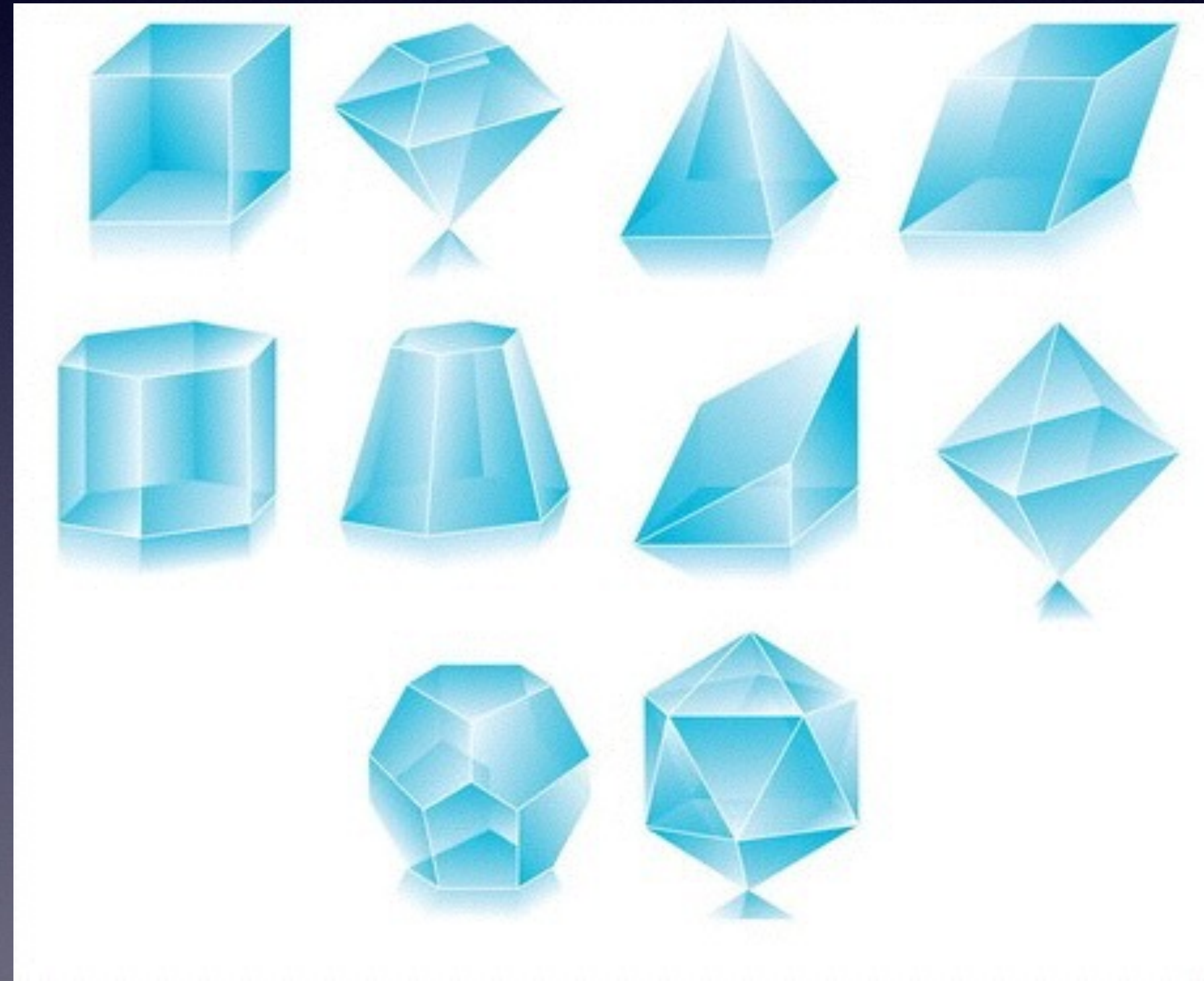
Epicuro



Lucrecio

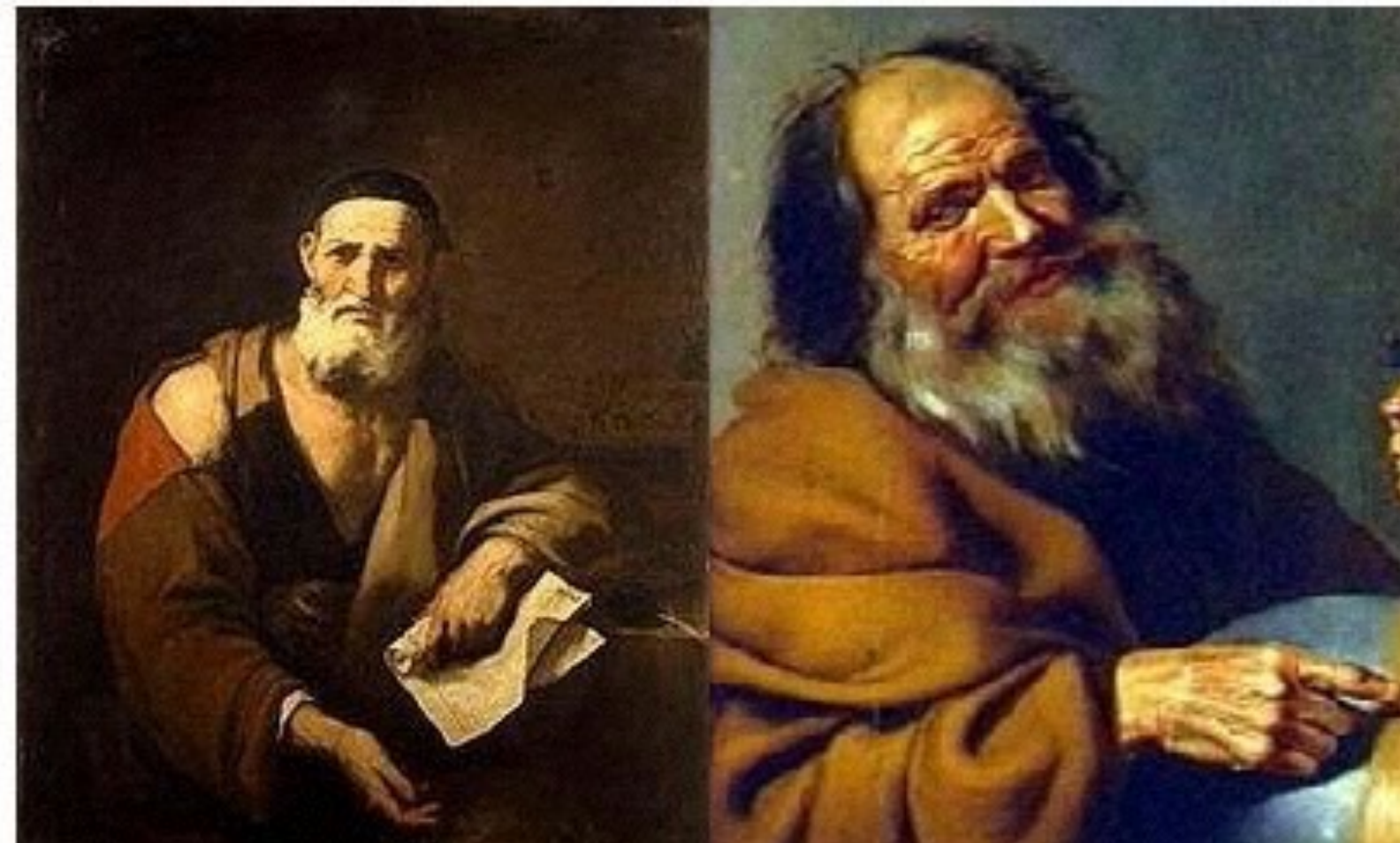


Clinamen



Los postulados del atomismo griego establecían que:

1. Los átomos son sólidos.
2. Entre los átomos sólo existe el vacío.
3. Los átomos son indivisibles y eternos.
4. Los átomos de diferentes cuerpos difieren entre sí por su forma, tamaño y distribución espacial.
5. Las propiedades de la materia varían según el tipo de átomos y como estén agrupados.



Durante la Edad Media dominó el concepto aristotélico de que el mundo es un plenum y está compuesto por sustancias. Hay 4 sustancias básicas en la tierra y una en el cielo: tierra, aire, agua, fuego y en las esferas celestiales la quintaesencia.



Aristóteles



El mundo sublunar, en efecto, está formado por los cuatro elementos y sometido a la generación y a la corrupción, es decir al cambio y al movimiento. El mundo supralunar, por el contrario, está formado por una materia especial, incorruptible, el éter o quintaesencia, que solamente está sometido a un tipo de cambio, el movimiento circular

EL UNIVERSO ARISTOTÉLICO

MUNDO SUPRA-LUNAR	MUNDO SUBLUNAR
Los astros son incorruptibles y eternos,	Se caracteriza por la generación y la corrupción
están constituidos por el "quinto elemento", el éter	Las sustancias se componen de los cuatro elementos
Tienen un movimiento perfecto: circular, eterno, regular.	El movimiento es el rectilíneo, natural
Cada astro se instala en una esfera de éter movida por un motor.	
La penúltima esfera es la de las "estrellas fijas"	
En la última se sitúa el Motor Inmóvil	

•El universo es cosmos: un mundo ordenado,

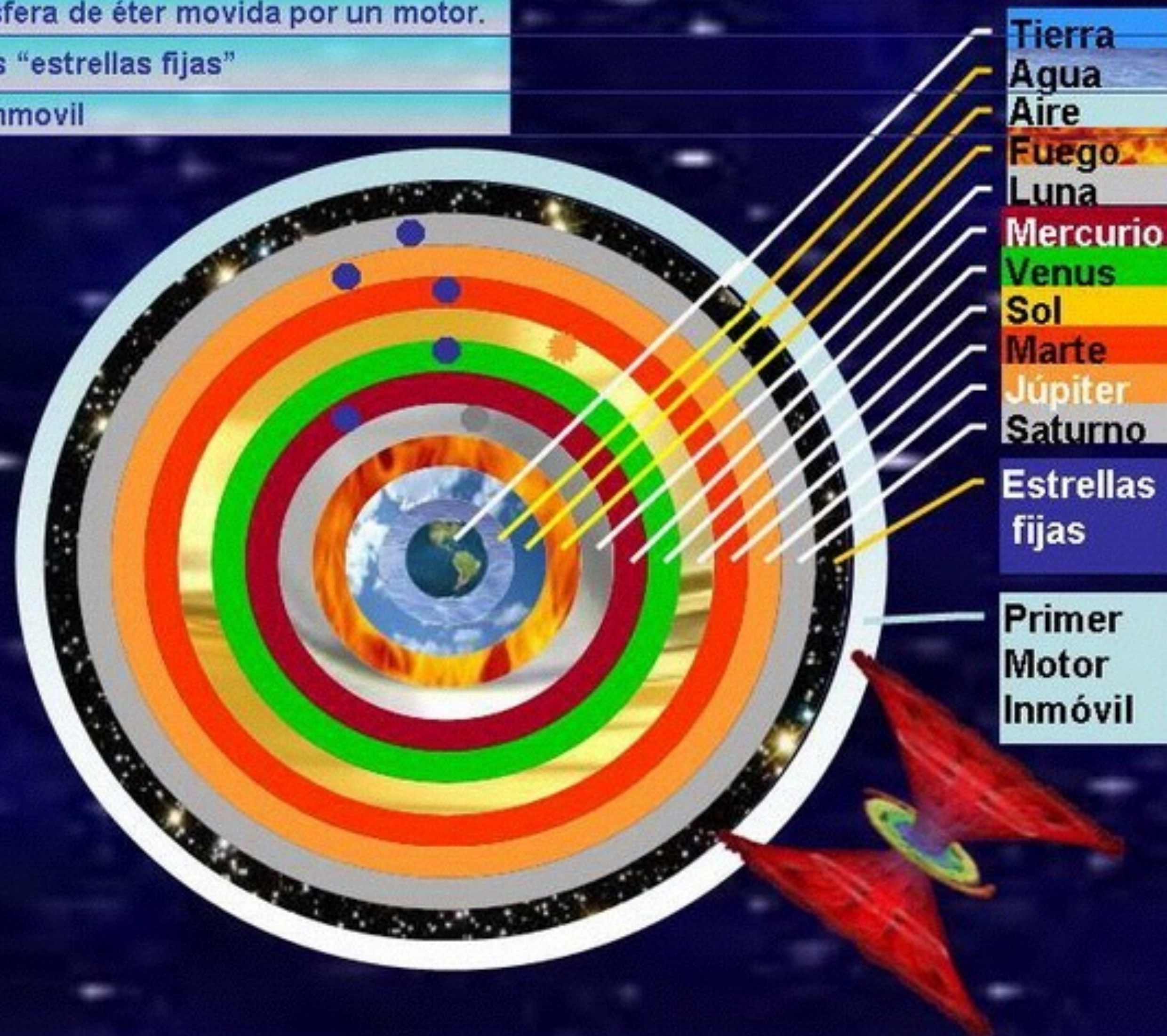
- eterno,
- finito,
- simétrico y esférico.

•Es jerárquico: Está constituido por dos mundos distintos:

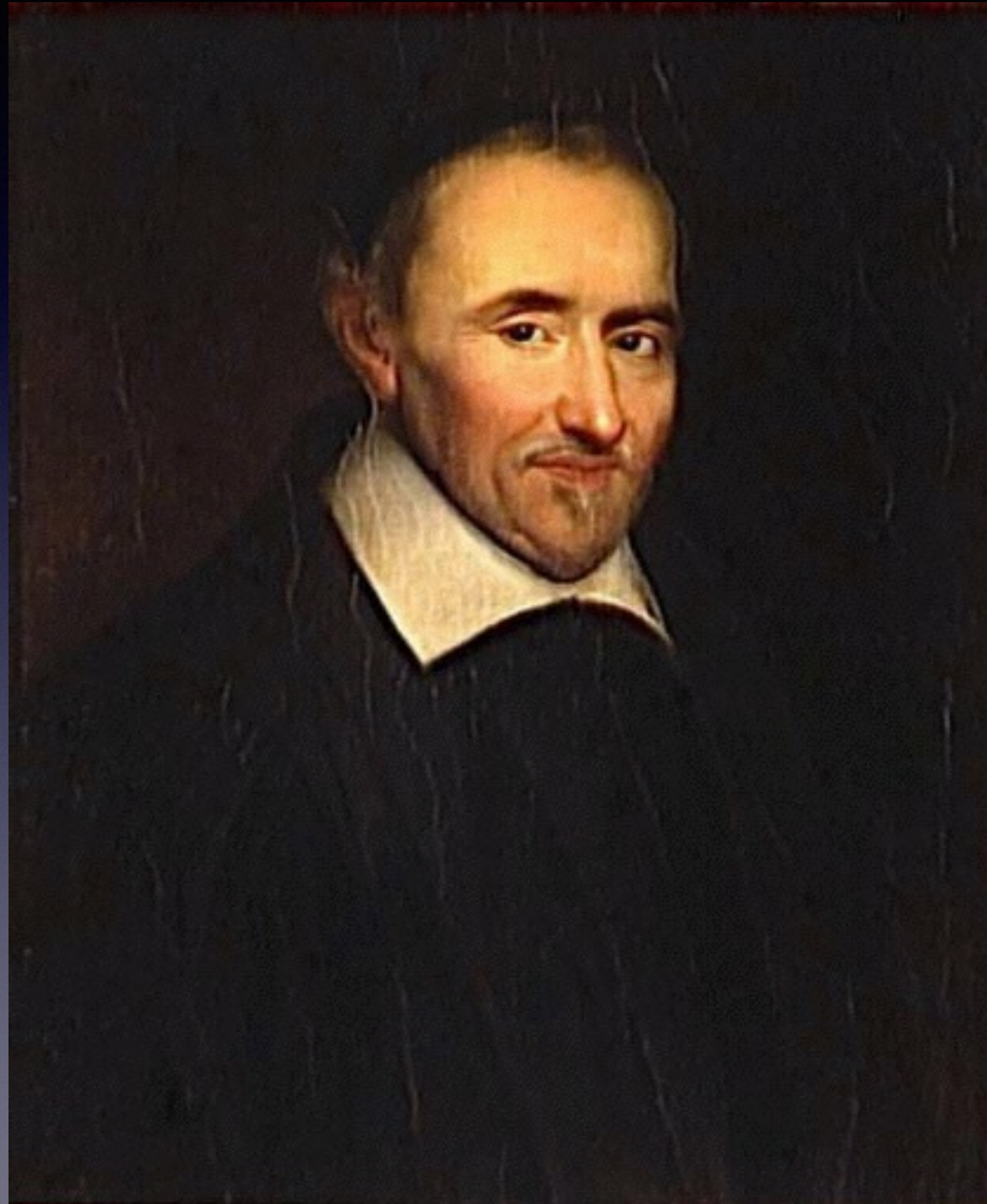
- el sublunar y
- el supralunar.

•El movimiento es común a todas las sustancias

- Es finito y en él
- No existe el vacío.



Pierre Gassendi (1592 - 1655).



Trató de reconciliar el atomismo de Epicuro con el pensamiento cristiano, sustituyendo los átomos infinitos, eternos y auto-móviles de Epicuro por un número finito de átomos creados e impulsados por Dios.

- La materia está formada por partículas indivisibles o átomos.
- Imaginó a los átomos diminutos, no eternos, compactos, de tamaños diferentes de acuerdo a las diferentes sustancias.

1627-1691 **Robert Boyle**, el más eminente químico del siglo, sostuvo:

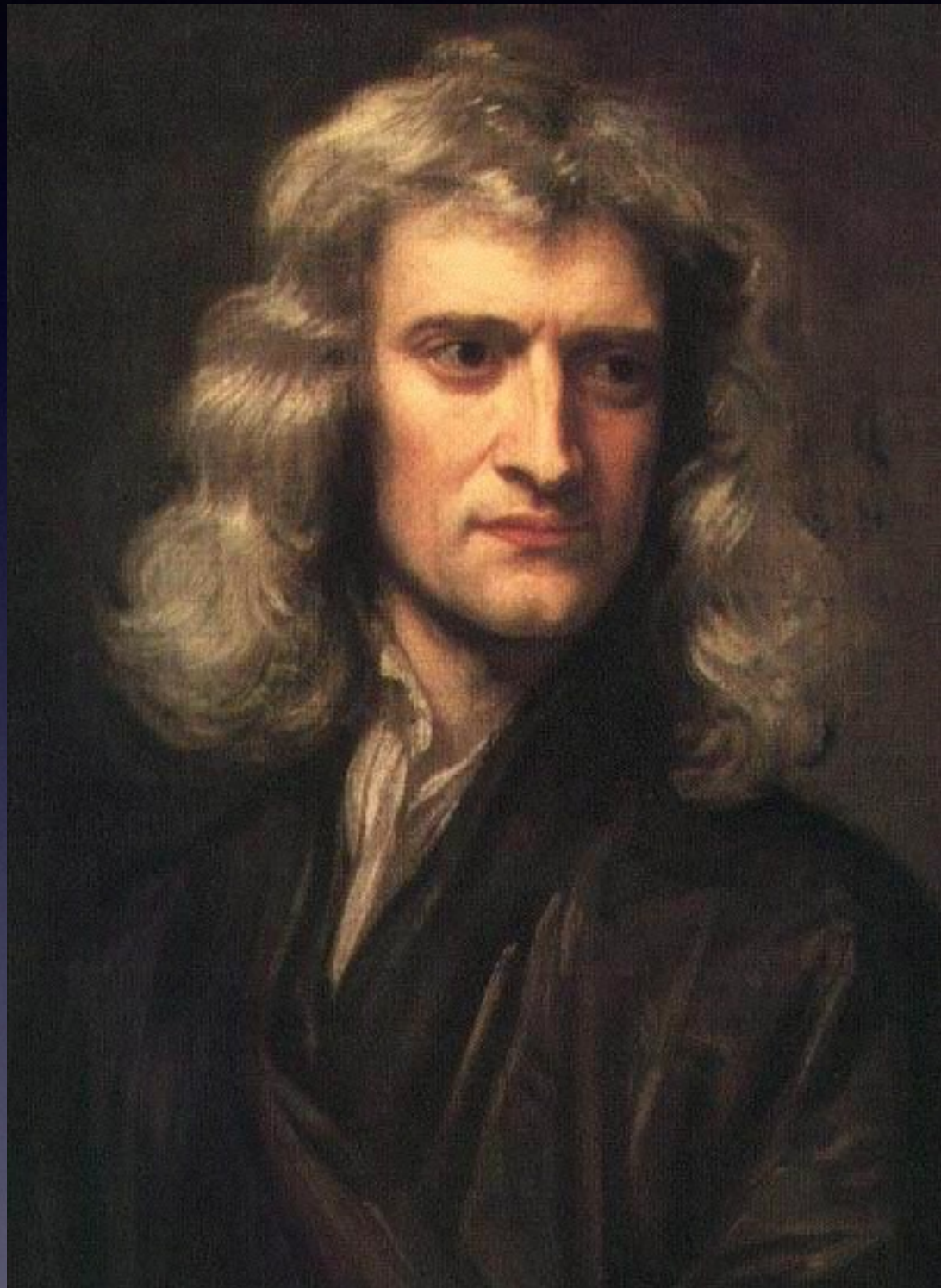
“Átomos son corpúsculos que poseen una inmensa variedad de formas: puntas, rastrillos, ramificaciones y corchetes”



➤ Los átomos de agua son esféricos por eso pueden girar y se desplaza el agua.

➤ Los átomos del fuego tienen pinchos o puntas por eso quema.

Isaac Newton
(1642-1727)



OPTICKS:
OR, A
TREATISE
OF THE
REFLEXIONS, REFRACTIONS,
INFLEXIONS and COLOURS
OF
L I G H T.
ALSO
Two TREATISES
OF THE
SPECIES and MAGNITUDE
OF
Curvilinear Figures.

L O N D O N,
Printed for **SAM. SMITH**, and **BENJ. WALFORD**,
Printers to the Royal Society, at the *Prince's Arms* in
St. Paul's Church-yard. MDCCIV.

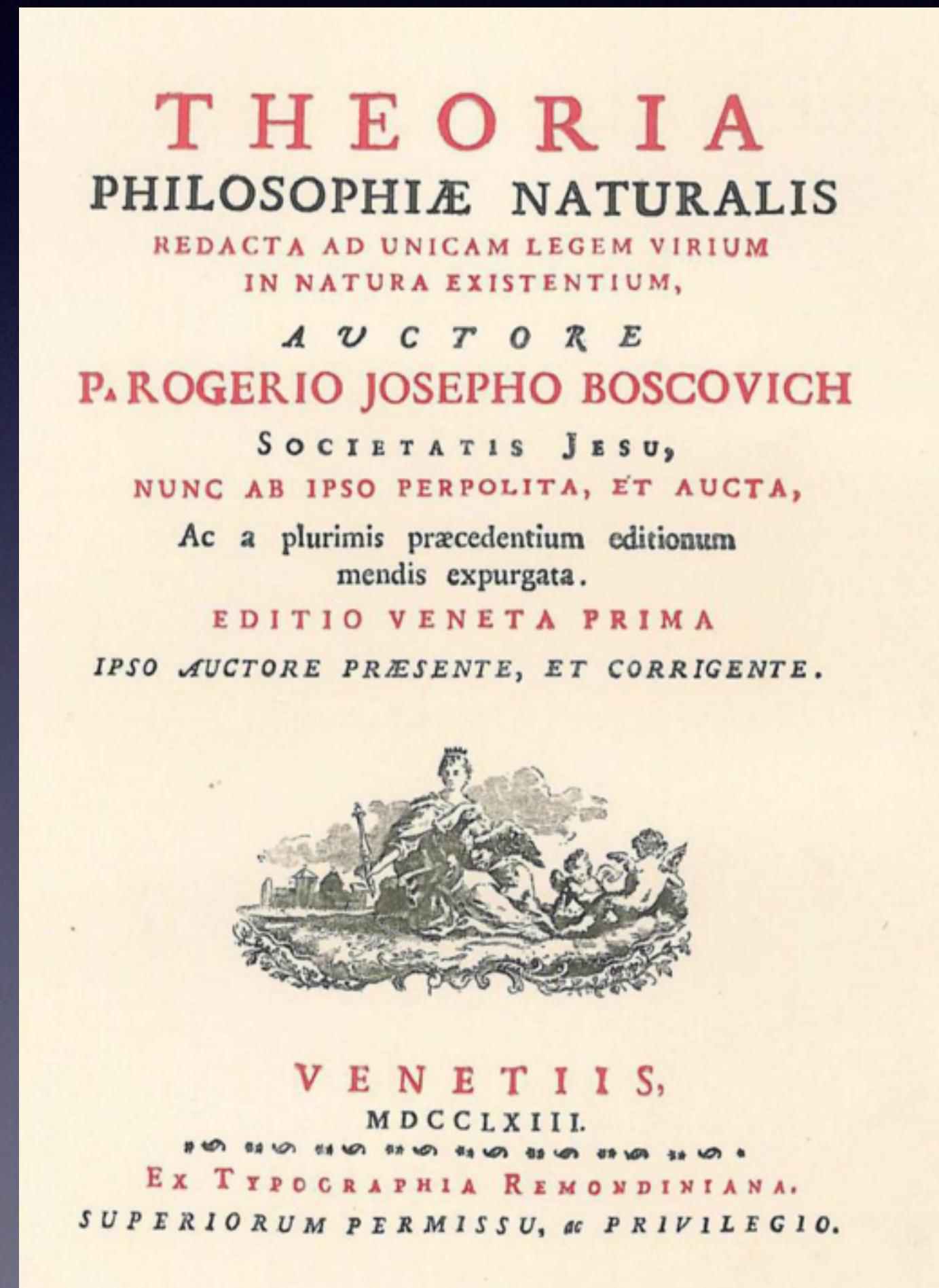
La luz está formada por
corpúsculos con masa.

Ruđer Josip Bošković
(1711 – 1787)



Roger Joseph Boscovich (1711-1787) fue físico, astrónomo, matemático, filósofo, diplomático, poeta, teólogo, sacerdote jesuita, arquitecto y politólogo de la ciudad de Dubrovnik en la República de Ragusa (hoy Croacia).

En 1758, Boscovich publicó en Viena la primera edición de su famosa obra, *Teoría de la Filosofía Natural Derivada de la Ley Única de las Fuerzas que Existen en la Naturaleza*. Este libro contenía su teoría atómica y su teoría de las fuerzas. Una segunda edición fue publicada en 1763 en Venecia y una tercera edición en Viena en 1764.



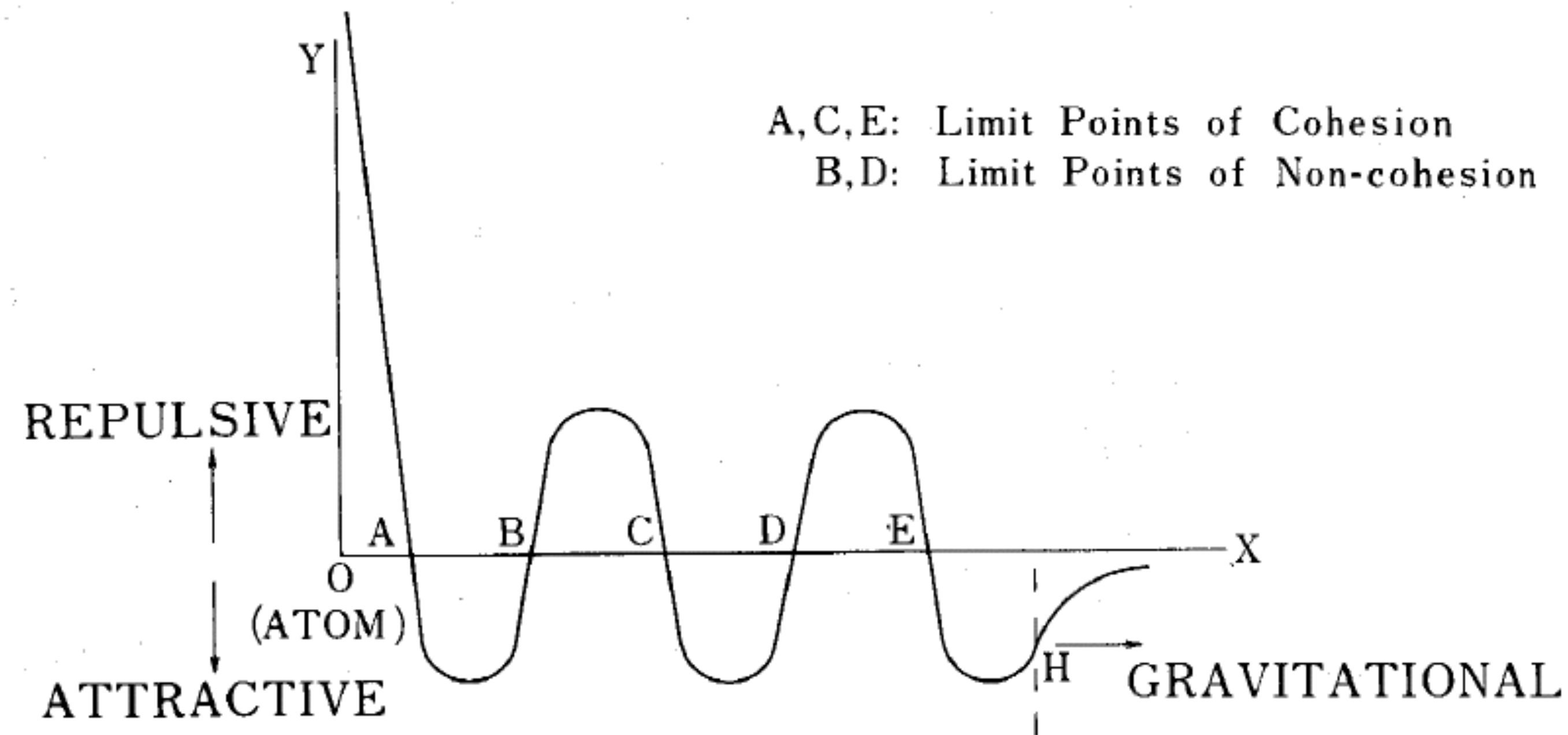


Figure 1. Boscovich's Force-Curve

En la abscisa se indican distancias en la ordenada hay valores de fuerzas entre partículas puntuales que pueden ser repulsivas (valores positivos) o atractivas (valores negativos) o "en equilibrio " (valores cero). La parte extrema derecha de la curva sigue la ley de gravedad inversa de Newton.

Atomismo de Boscovich

"Ahora bien, como la fuerza repulsiva se incrementa indefinidamente cuando las distancias son indefinidamente disminuidas, es fácil ver que ninguna parte de la materia puede ser contigua a ninguna otra parte; porque la fuerza repulsiva las separaría inmediatamente de la otra. Por lo tanto, resulta necesariamente que los elementos primarios de la materia son perfectamente simples, y que no están compuestos de partes contiguas. Esta es una deducción inmediata y necesaria de la constitución de las fuerzas, que son repulsivas a distancias muy pequeñas y aumentan indefinidamente "(§ 81)

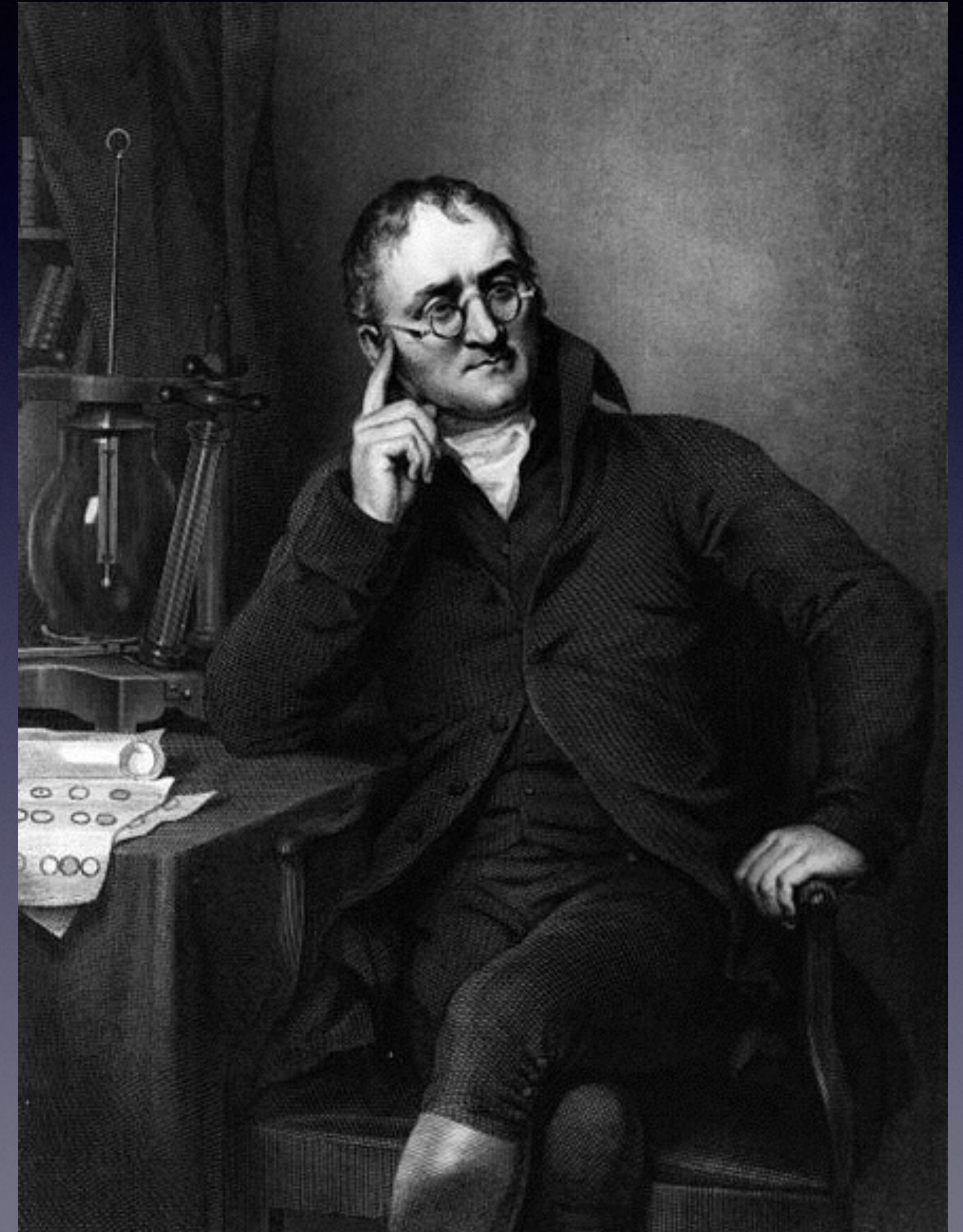
Estos "elementos primarios de la materia", partículas puntuales perfectamente simples, pueden ser considerados como átomos físicos metafísicamente concebidos de la realidad física.

"Para mí, la materia no es más que puntos indivisibles, no extendidos, dotados de una fuerza de inercia, y también de fuerzas mutuas representadas por una simple curva continua que tiene esas propiedades definidas que ya he dicho ..." (§ 516).

Boscovich usó la teoría de la gravitación de Newton y los conceptos de monada y simplicidad teórica de Leibniz para producir una primera teoría unificada de todas las interacciones.

Los cinco puntos principales de la teoría atómica de Dalton

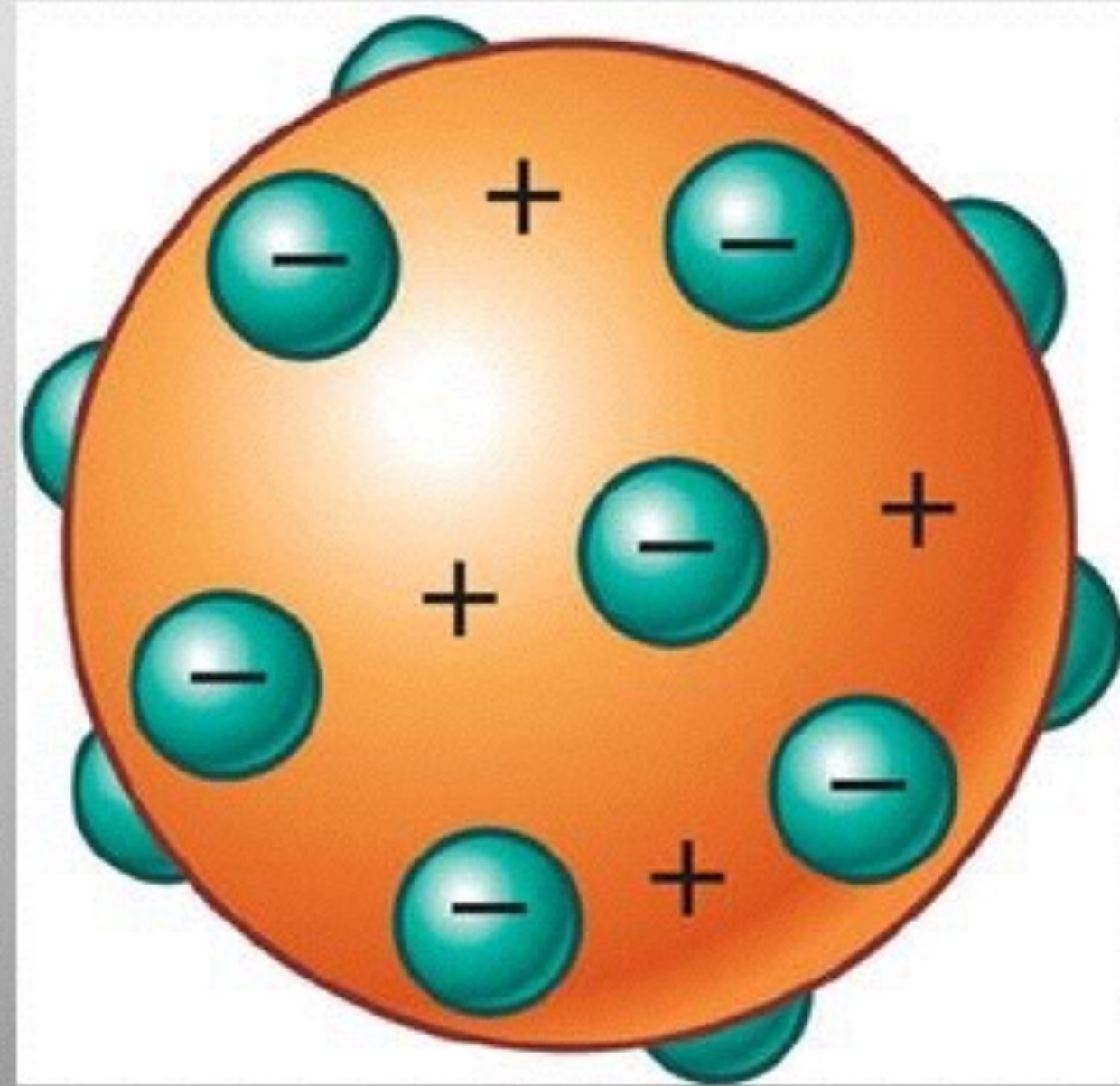
- Los elementos están hechos de partículas diminutas llamadas átomos que son indestructibles e indivisibles.
- Todos los átomos de un determinado elemento son idénticos.
- Los átomos de un elemento son diferentes de los de cualquier otro elemento, los átomos de elementos diferentes se pueden distinguir unos de otros por sus respectivos pesos atómicos relativos.
- Los átomos de un elemento se combinan con los átomos de otros elementos para formar compuestos químicos. Un compuesto dado siempre tiene el mismo número relativo de tipos de átomos.
- Una reacción química simplemente cambia la forma en que los átomos se agrupan.



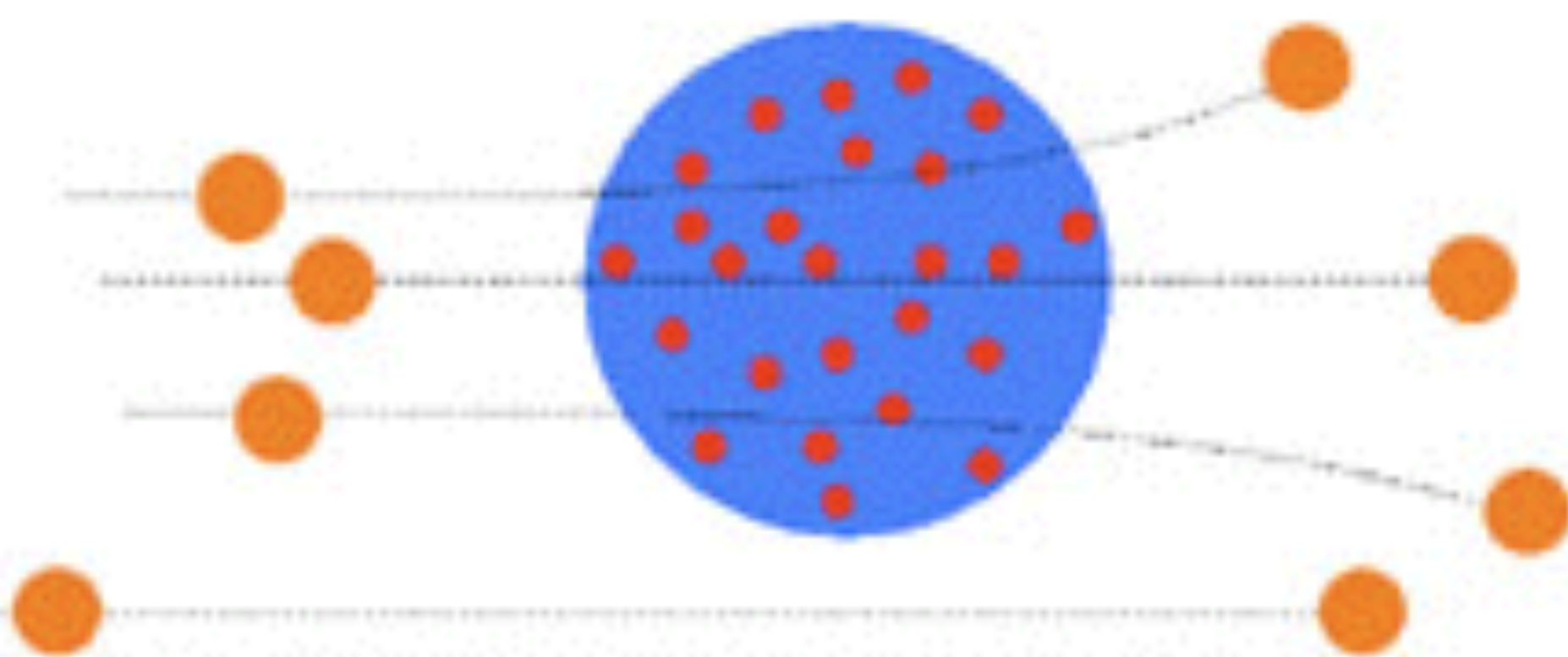
- Los cambios químicos son cambios en las combinaciones de los átomos entre sí, los átomos no se crean ni se destruyen.
- Los átomos que se combinan para formar un compuesto lo hacen siempre en la misma proporción, que será la **Ley de las proporciones múltiples**.



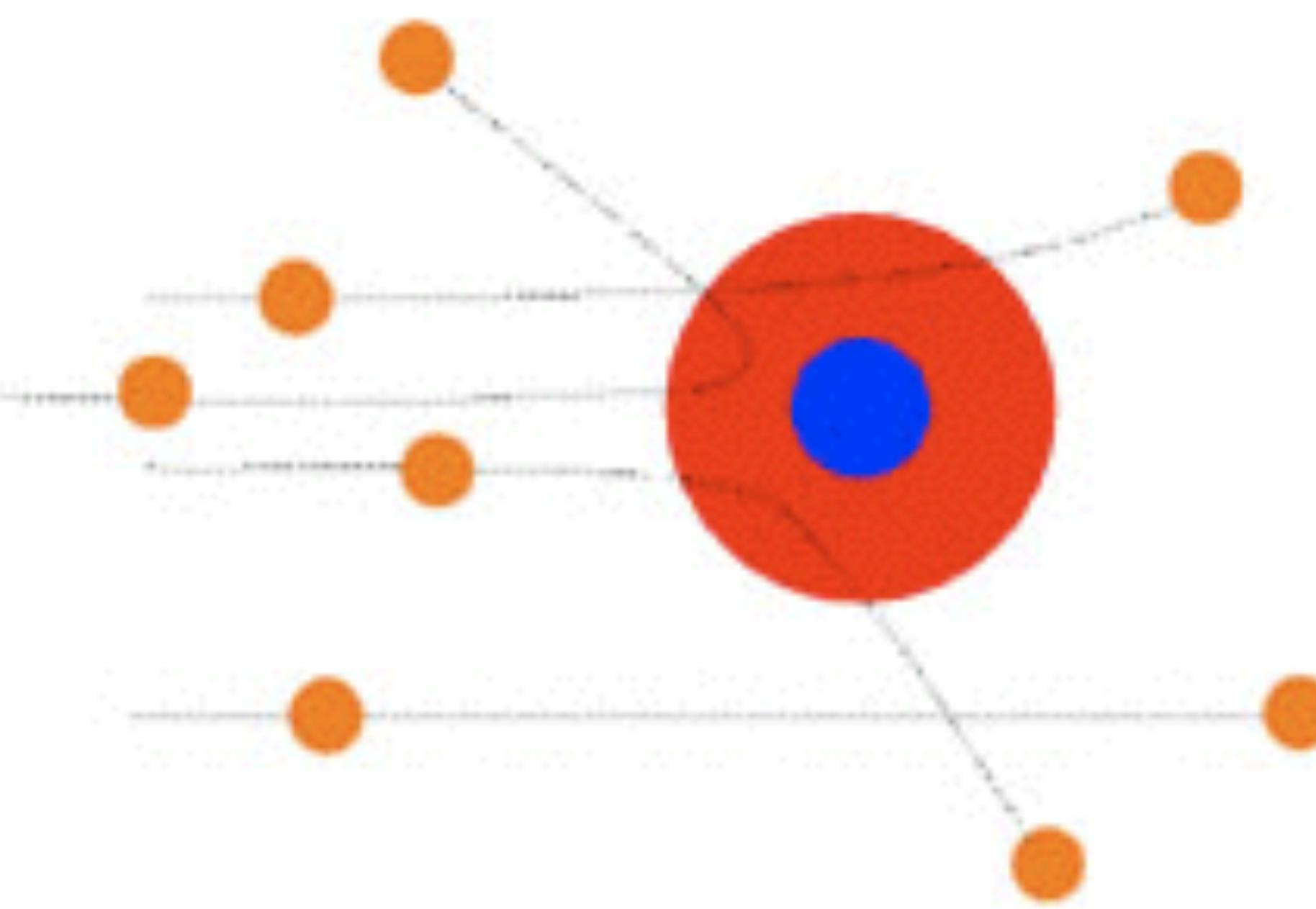
Modelo de Thomson (1897)



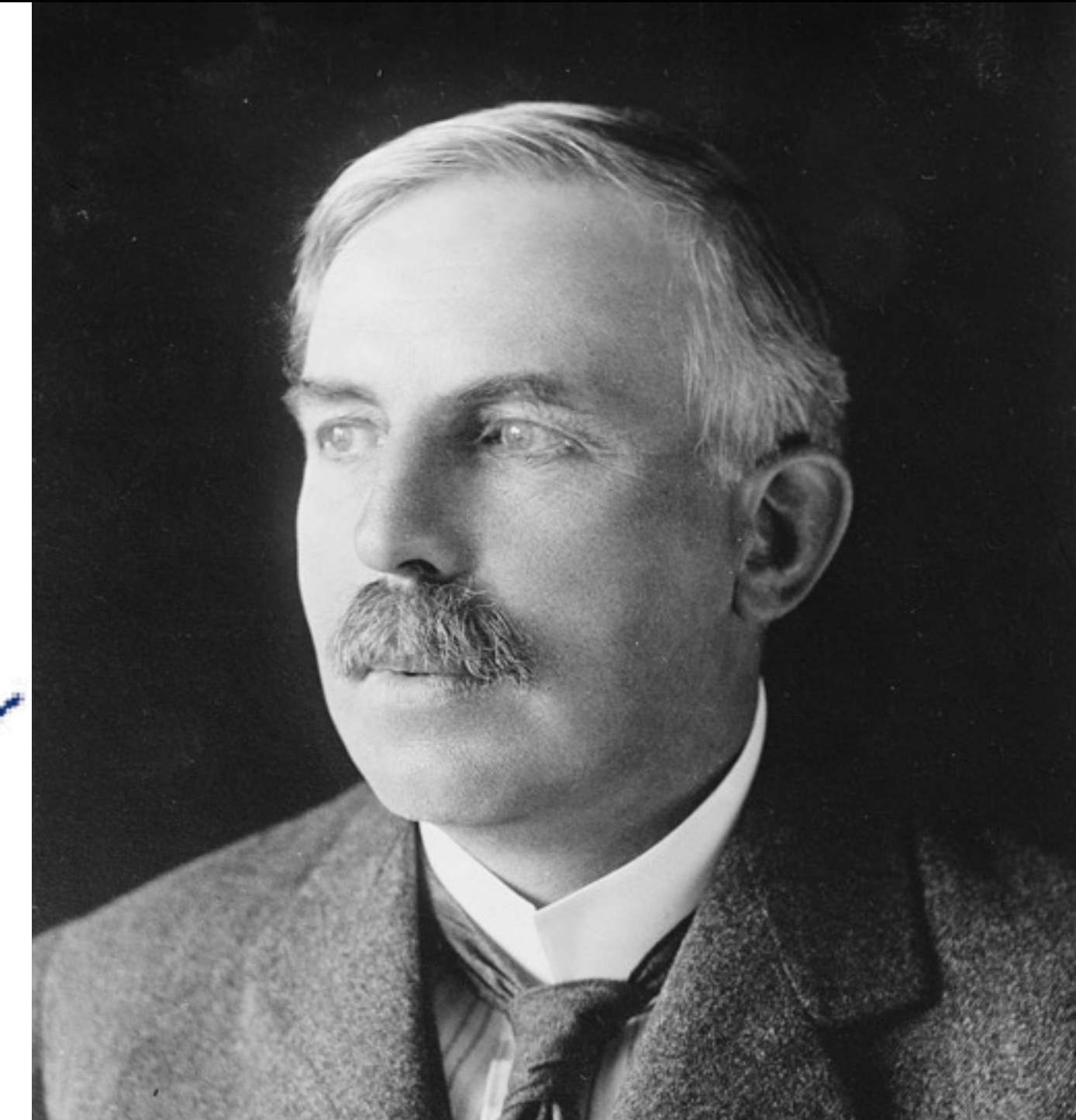
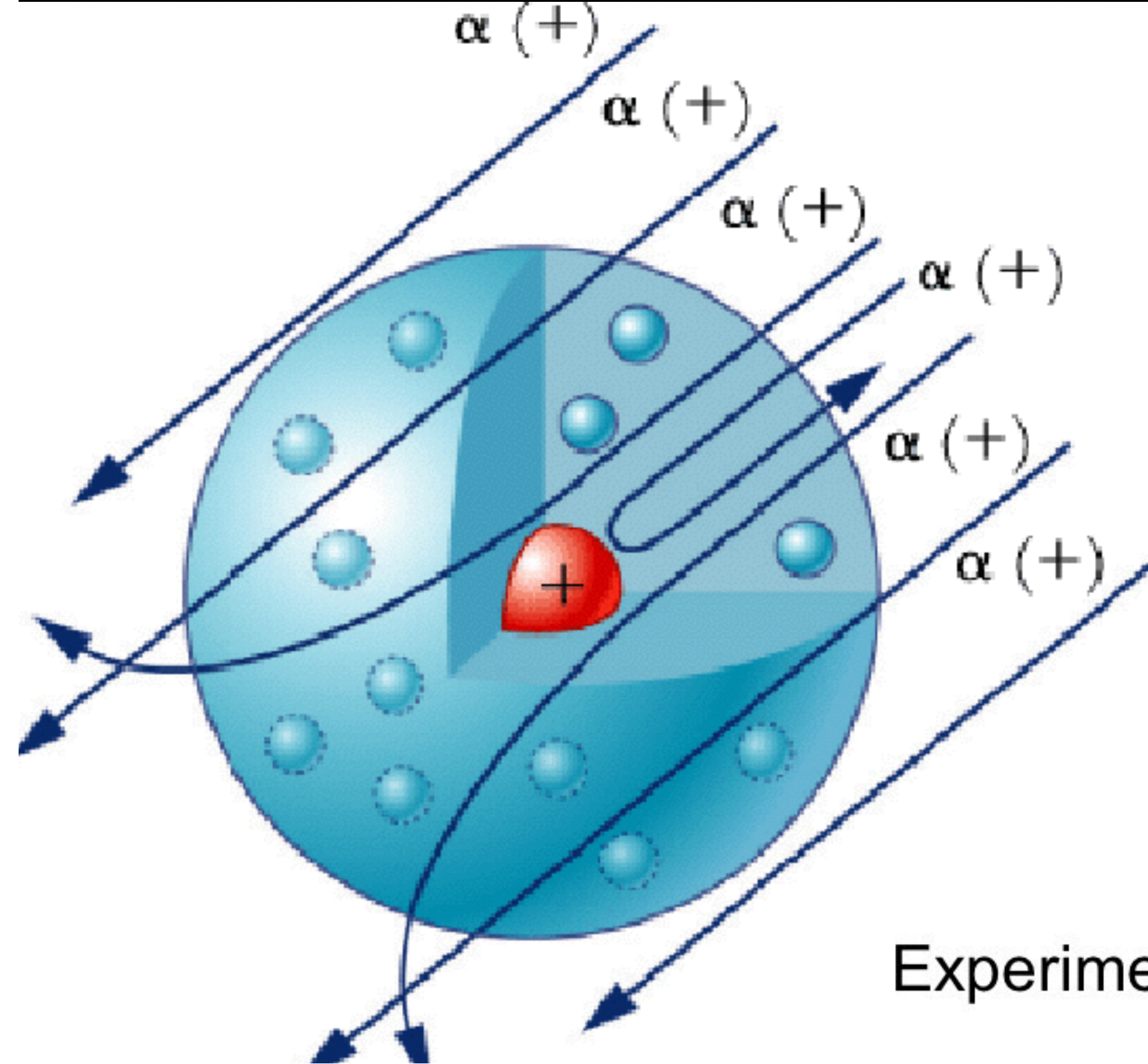
- **Esfera** cargada **positivamente**.
- **Electrones**, con carga negativa, incrustados en el interior.



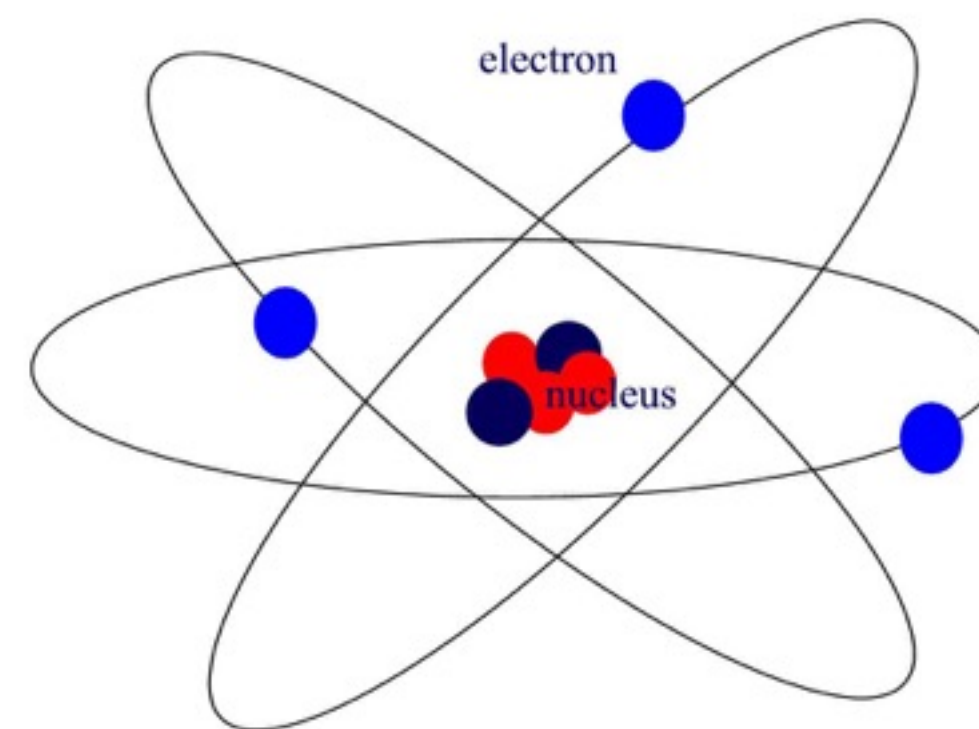
Según el modelo de Thomson, esta es la imagen más común de un átomo bombardeado por partículas de carga positiva



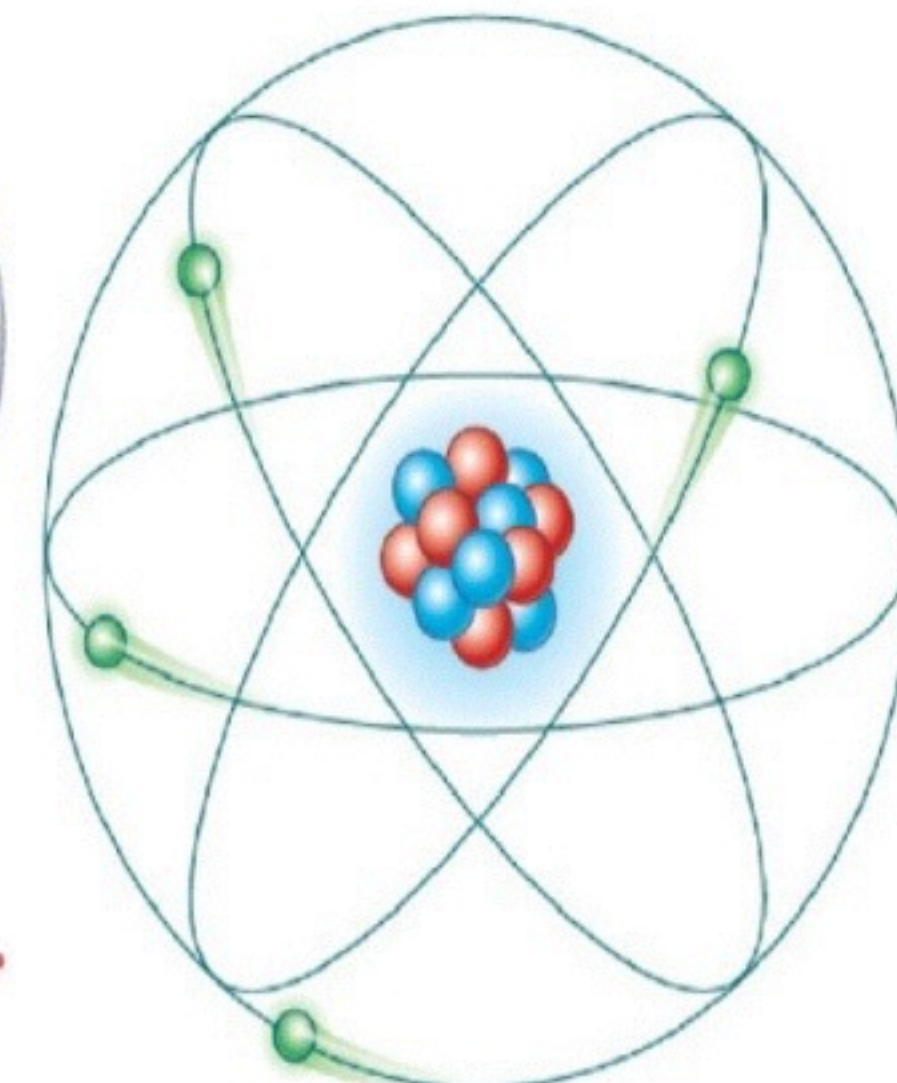
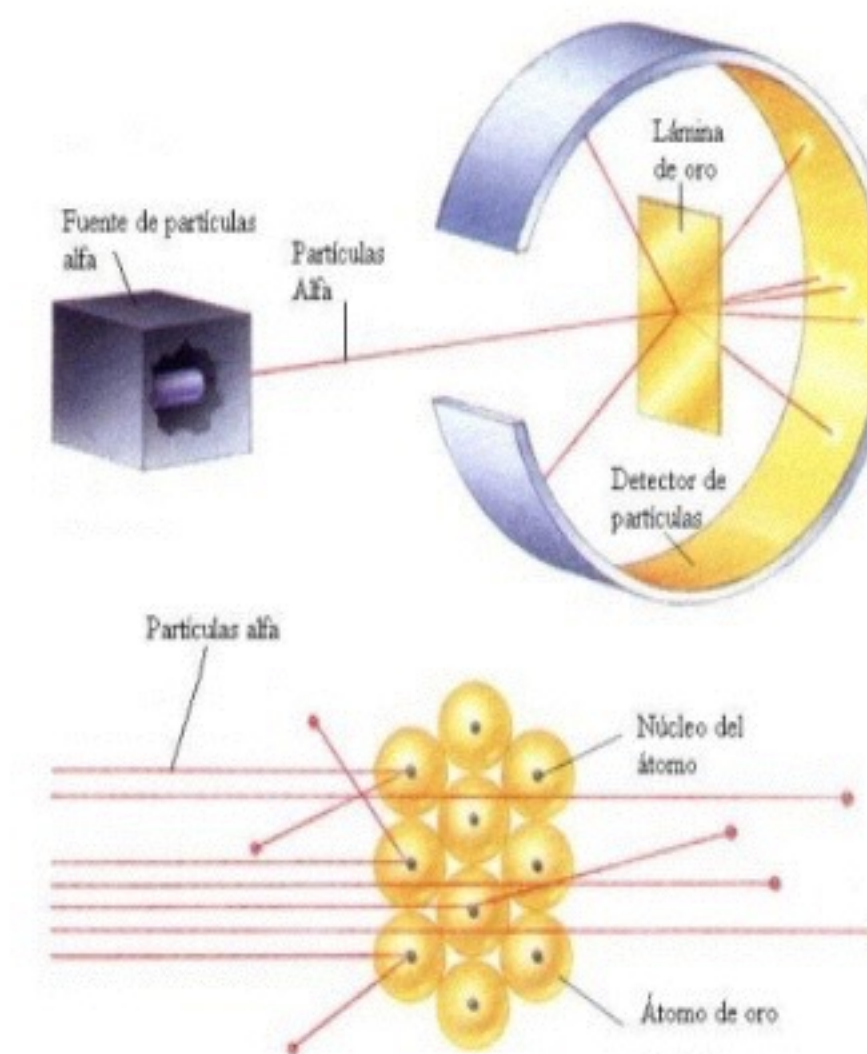
Rutherford observó no pocos eventos donde las partículas alfa retrocedían después del impacto



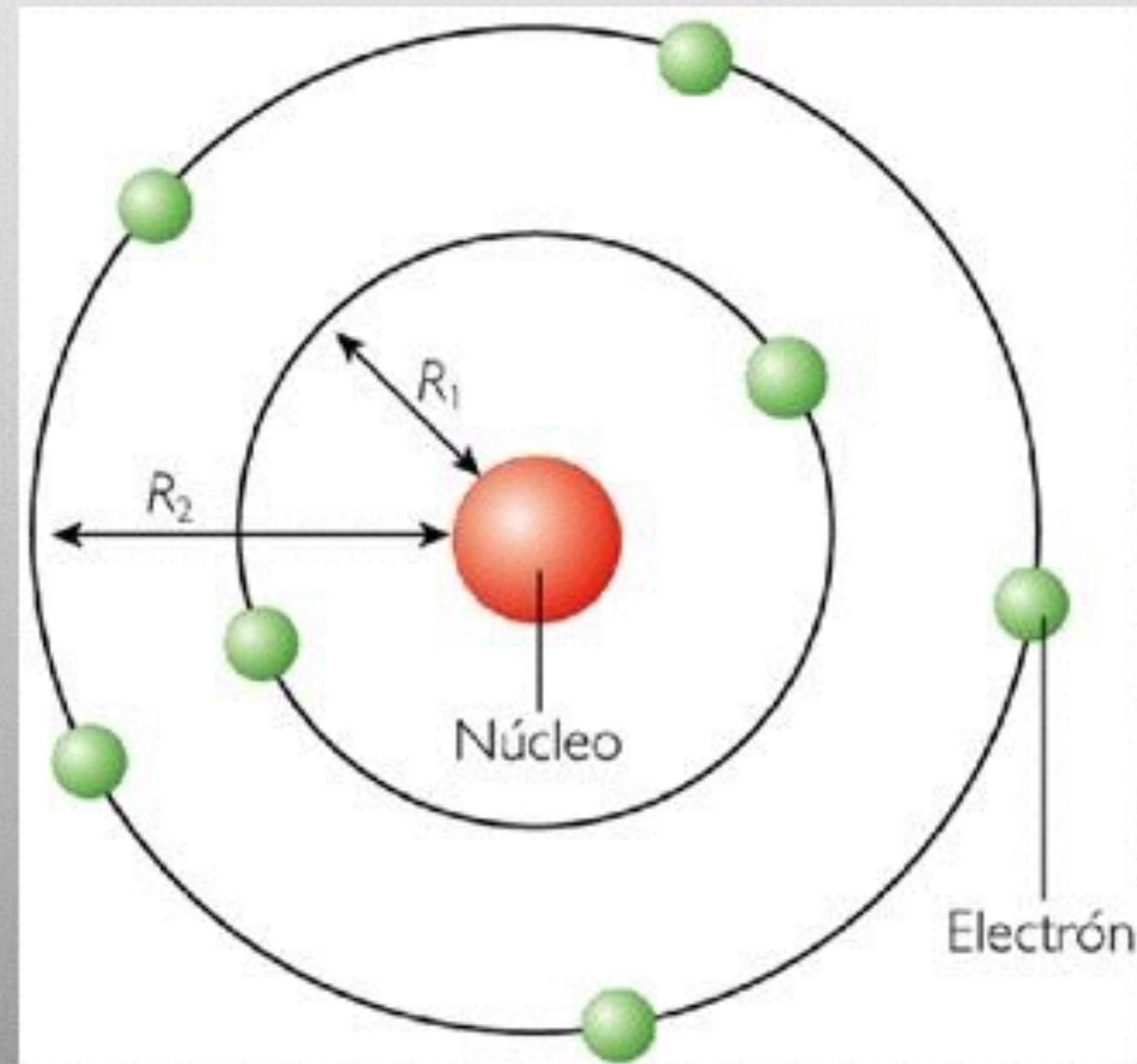
Experimento de Rutherford y Modelo atómico



Atomic Planetary Model



Modelo de Bohr (1913)



- **Órbitas estacionarias** con **energía constante**.
- Sólo están **permitidos** ciertos valores de **energía**.
- Los electrones pueden cambiar de órbita **absorbiendo** o **emitiendo** una cantidad de energía apropiada.

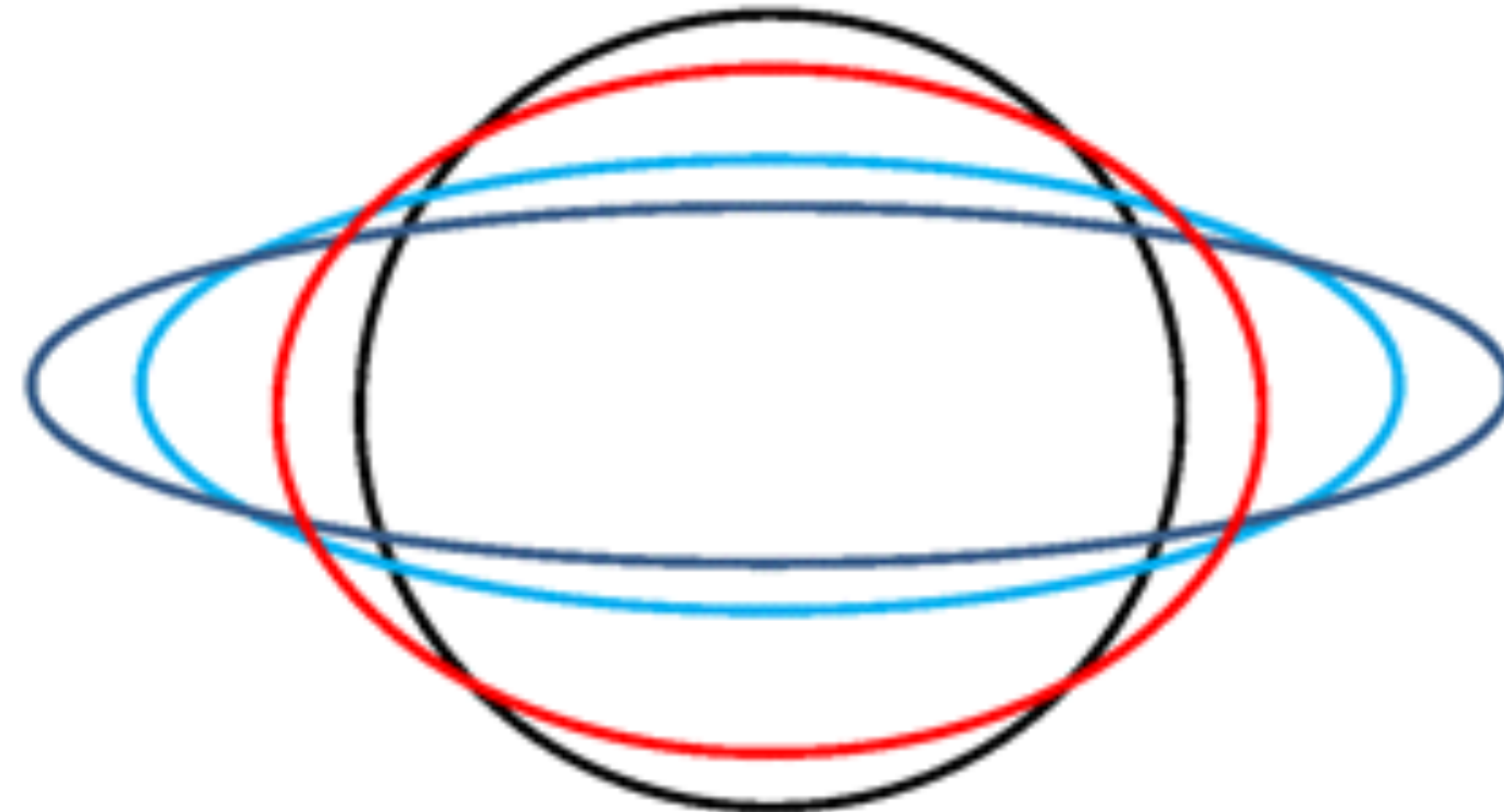
1916 - Modelo atómico de Sommerfeld

Teniendo en cuenta los anteriores modelos de Rutherford–Bohr, el físico alemán Arnold Sommerfeld (1868 – 1951) enunció en 1916 una nueva versión del modelo atómico, introduciendo una visión “relativista”.

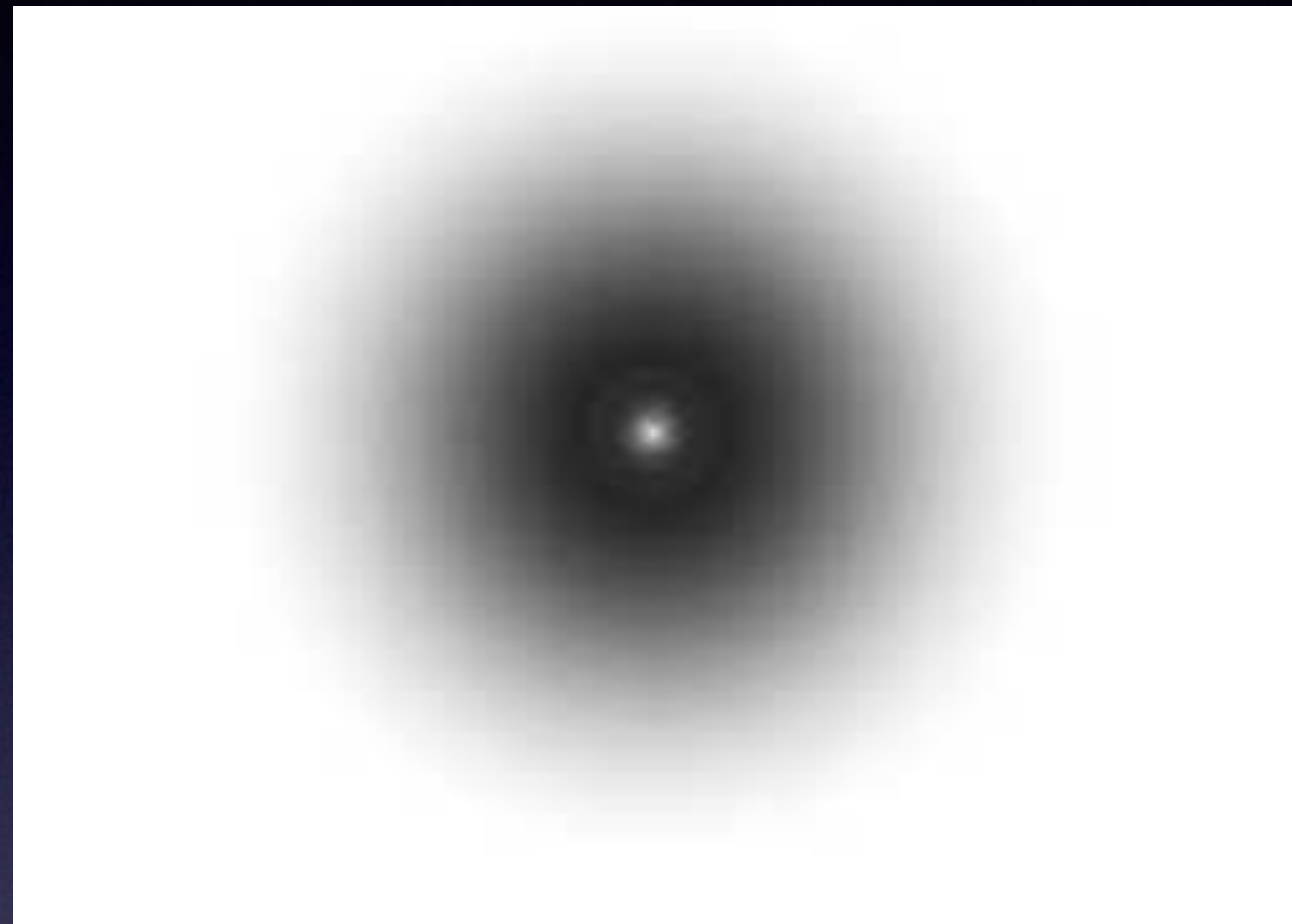
Generalizó la teoría agregando al “*número cuántico principal o radial*” de Bohr “ n ”, un segundo “*número cuántico azimutal*”, “ l ”.

Esto originó que del anterior concepto de órbitas circulares se pasara a la idea de órbitas “elípticas”, que fue finalmente la única idea válida agregada.

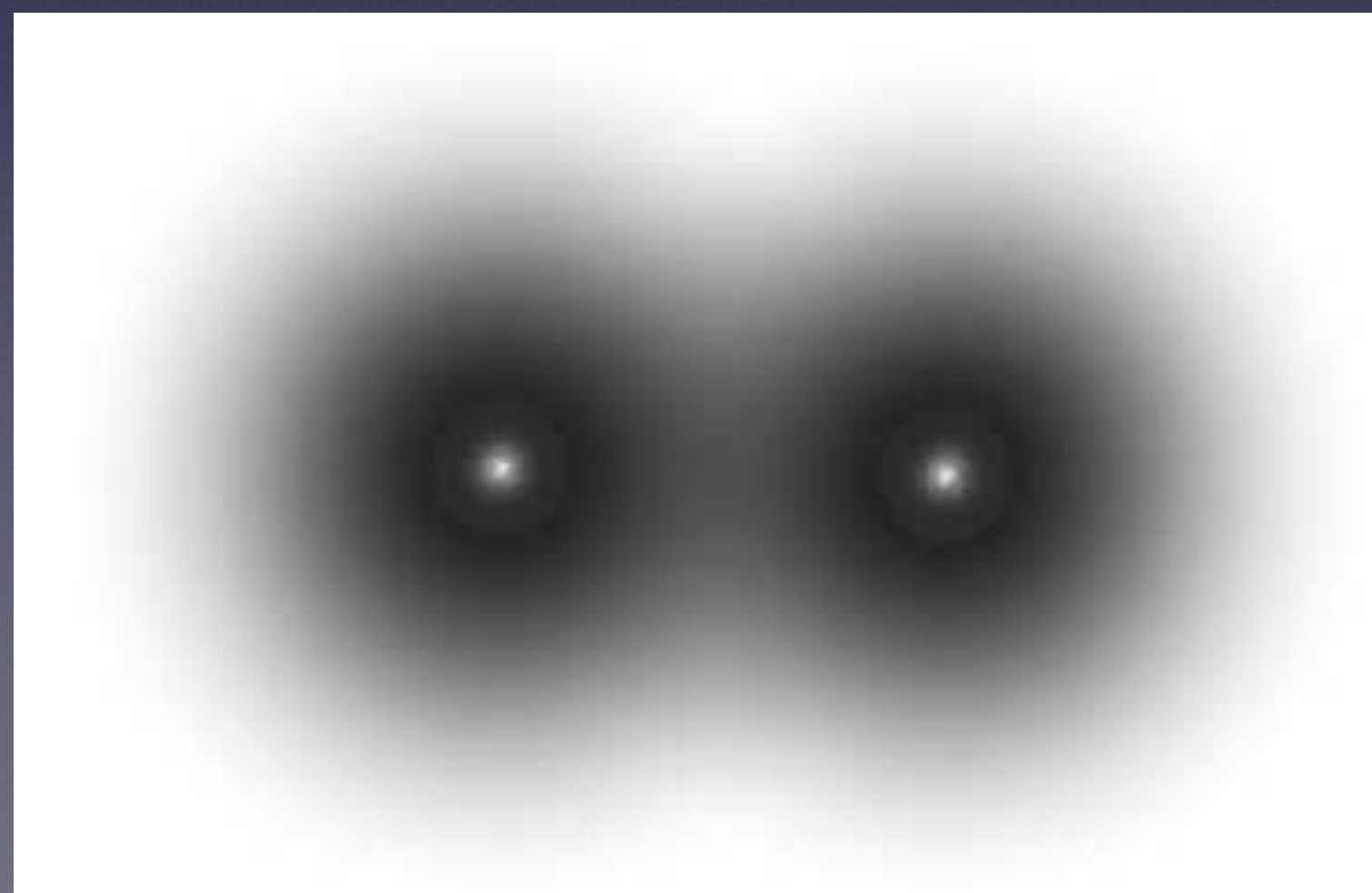
La modificación de las órbitas se cumple solo a partir del nivel “ $n=2$ ”



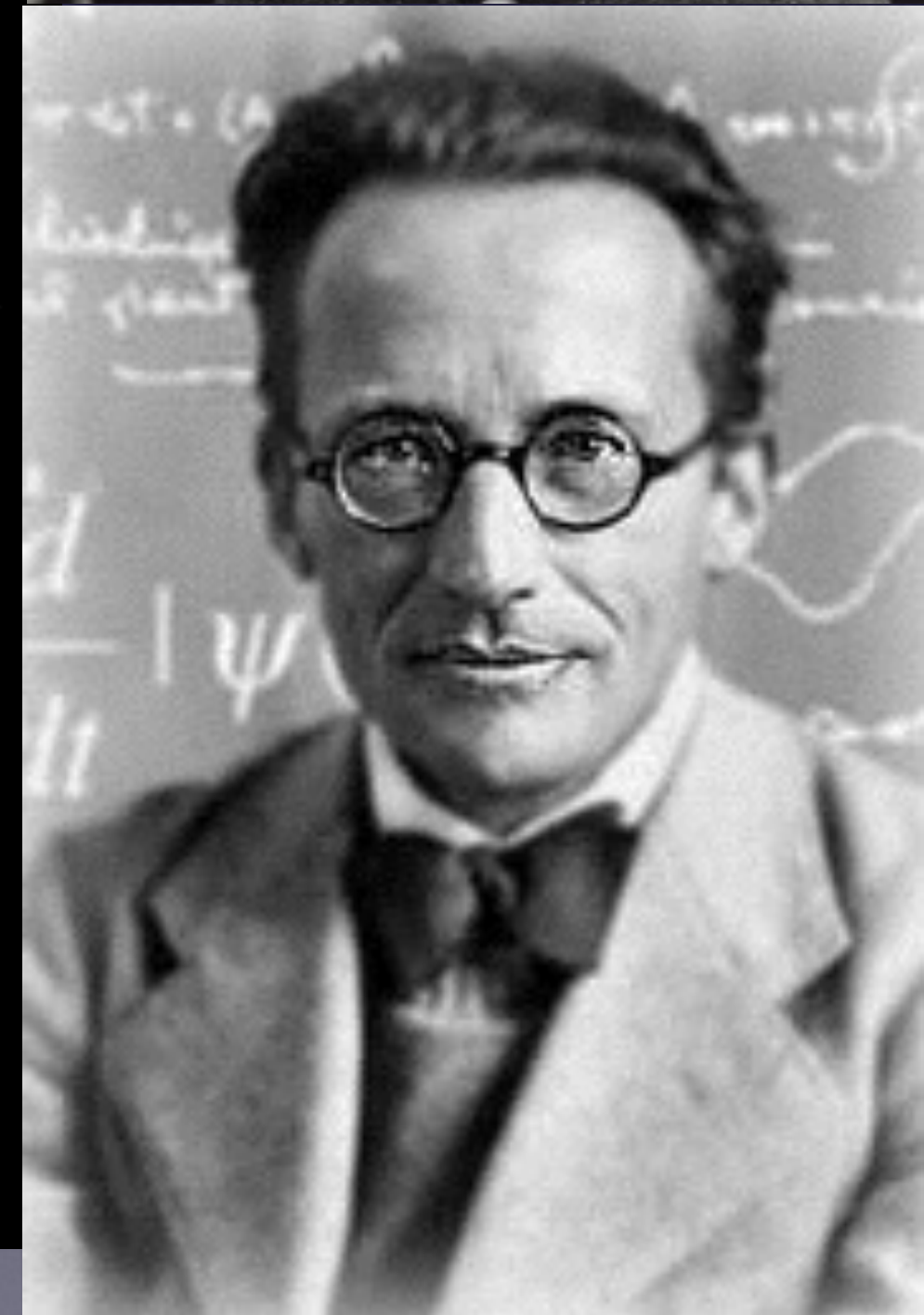
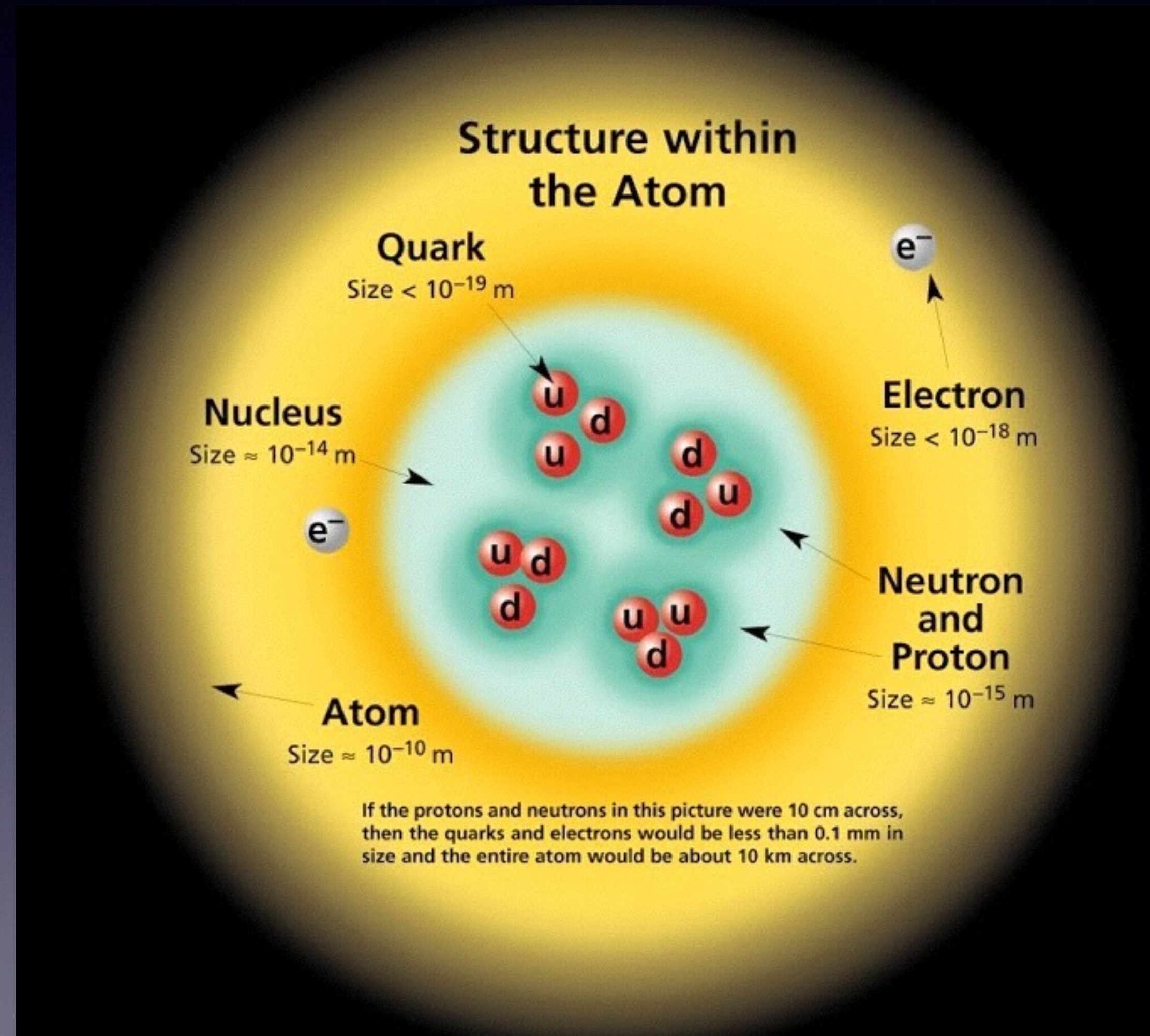
Modelo actual del átomo: basado en la mecánica cuántica



H



H₂



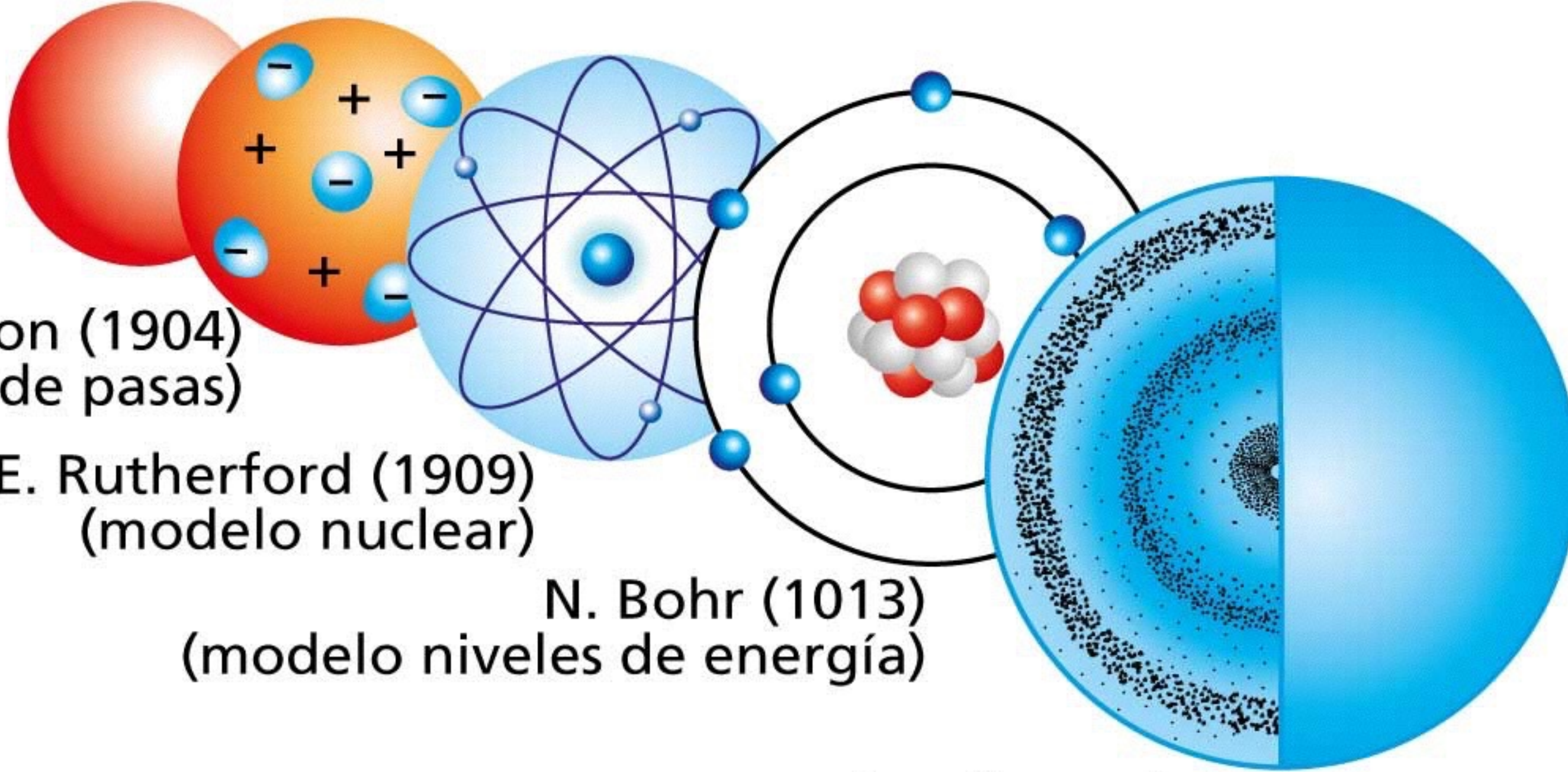
John Dalton
(1808)

J.J. Thomson (1904)
(modelo pastel de pasas)

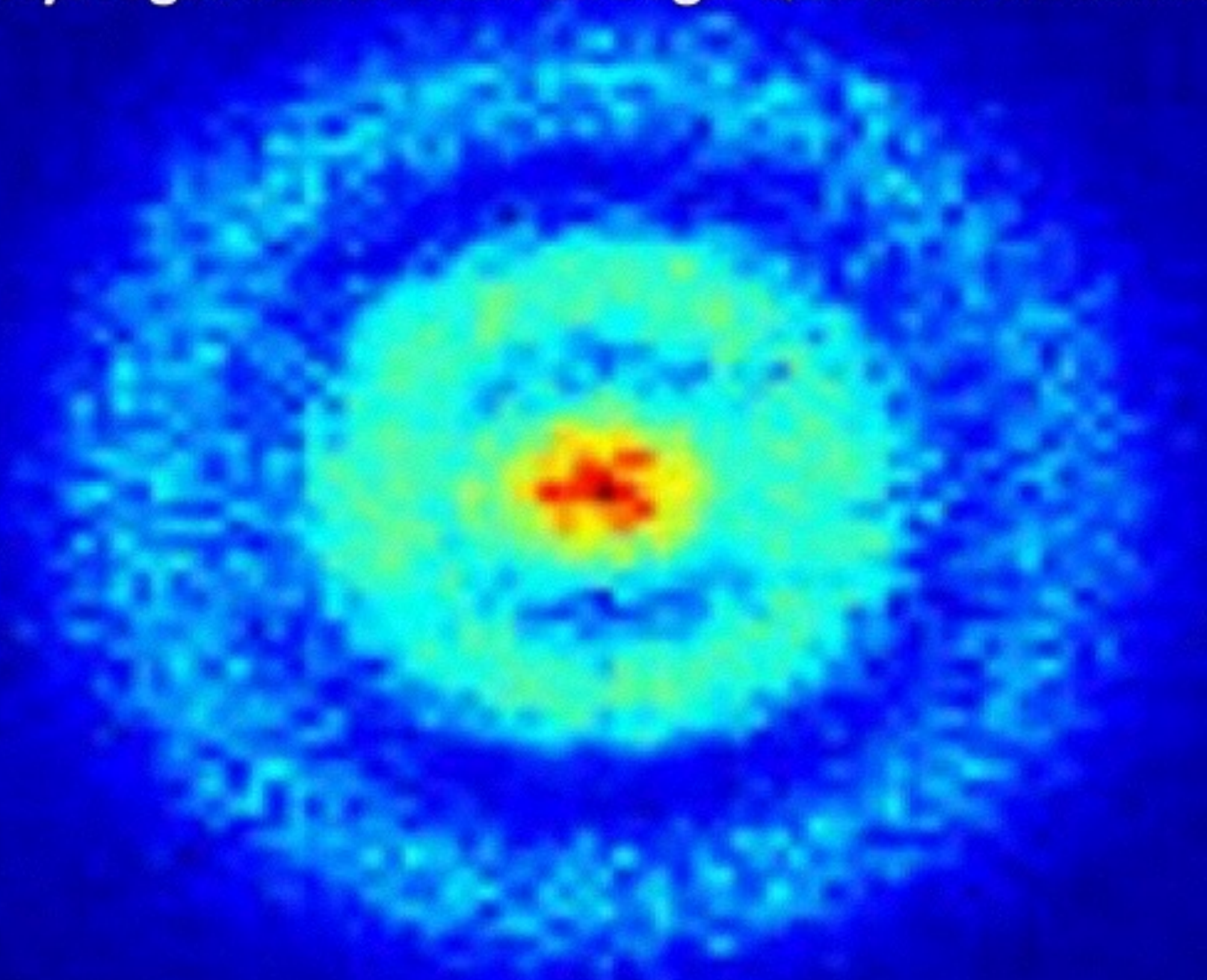
E. Rutherford (1909)
(modelo nuclear)

N. Bohr (1913)
(modelo niveles de energía)

E. Schrödinger (1926)
(modelo nube de electrones)



The Hydrogen Atom seen through Quantum Microscope



Campos

René Descartes



Varios pensadores y científicos sostuvieron que el mundo es un **plenum**, y que el vacío no existe: Parmenides, Descartes, Spinoza, Huygens, Leibniz. Las ideas de Boscovich sobre una fuerza que llena todo el universo fueron una influencia decisiva en Michael Faraday, que introduciría la idea moderna de un “**campo**” para describir los fenómenos magnéticos.

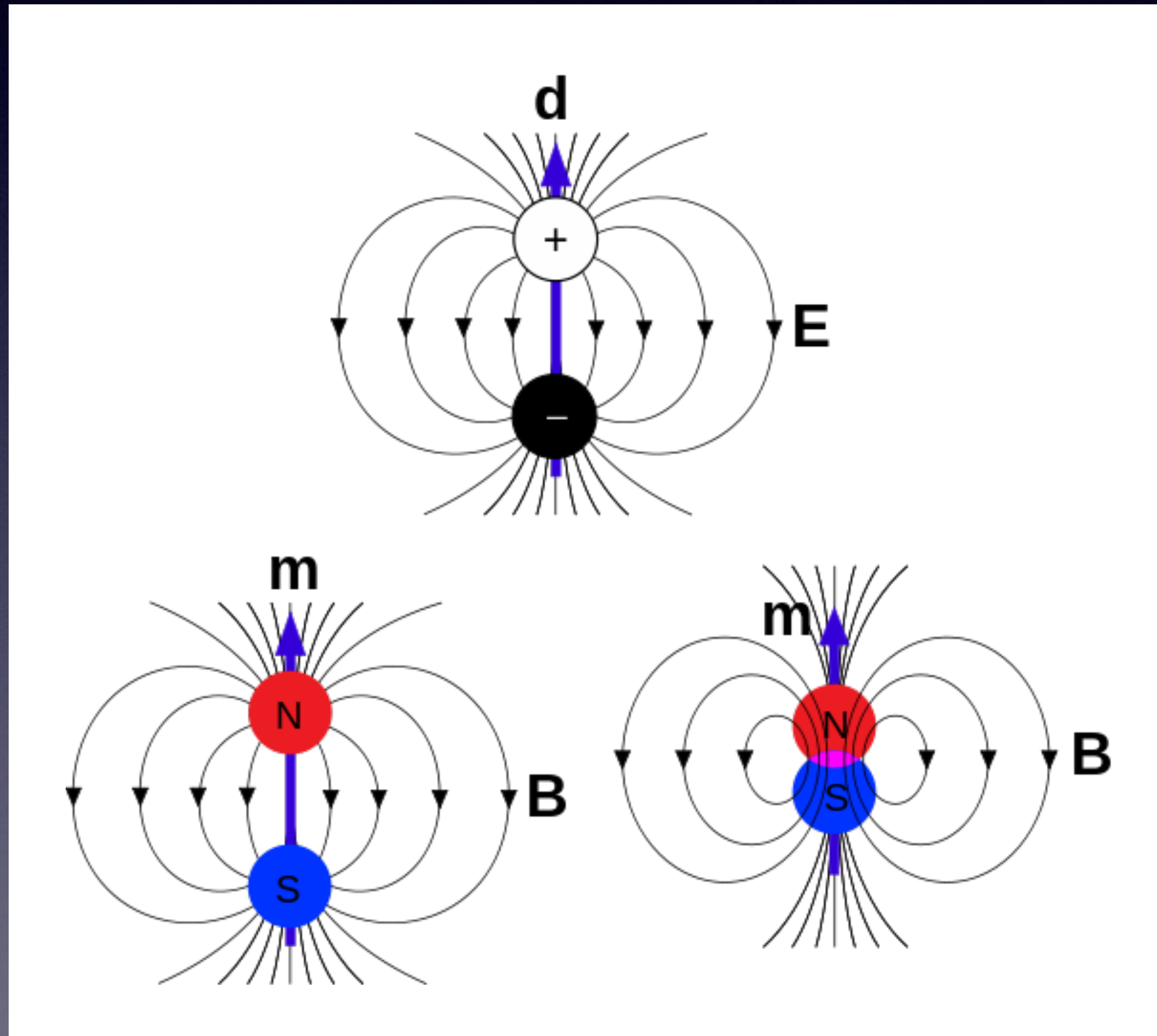
La idea de un “**éter luminiscente o luminífero**” también fue un antecedente importante de la idea de campo. Fue introducida en 1802 por Thomas Young y desarrollada por William Thomson y George Stokes en la década de 1840.

Thomas Young

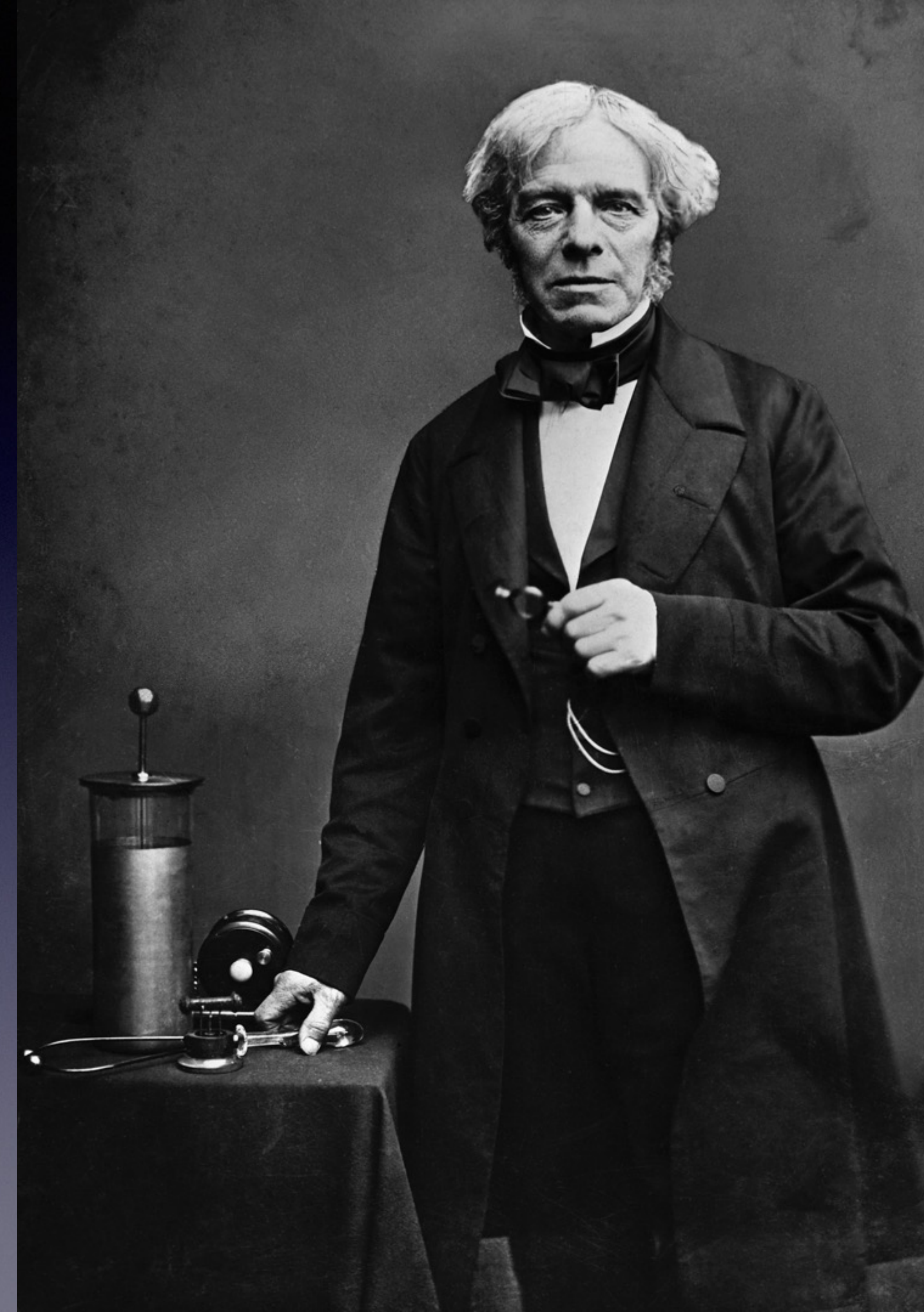


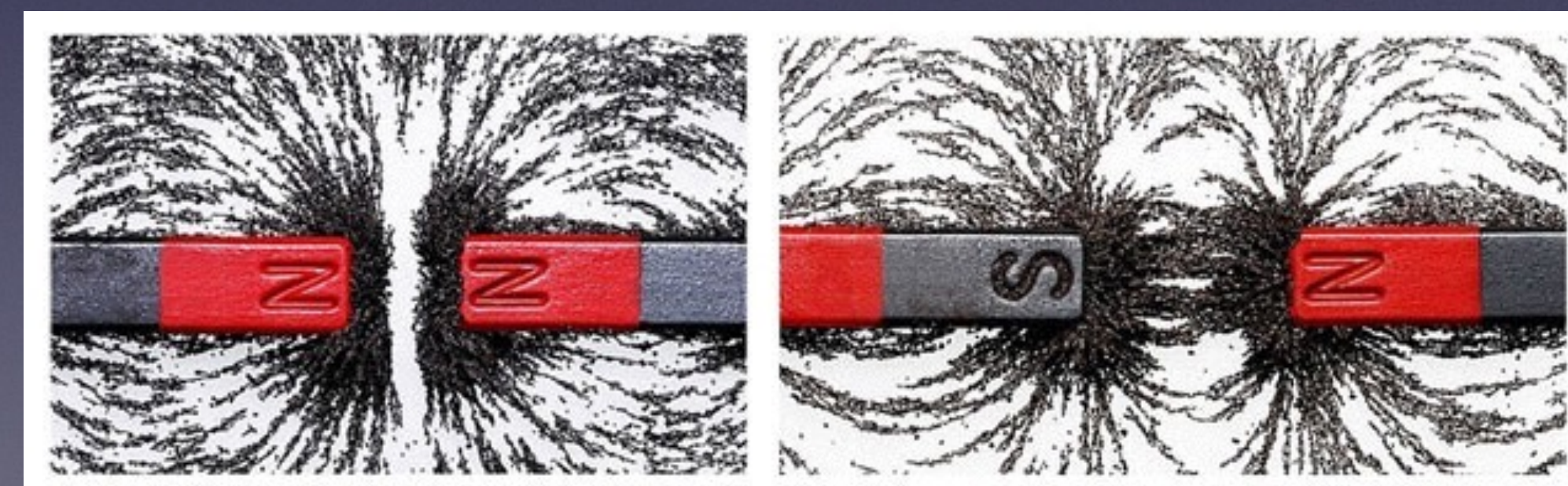
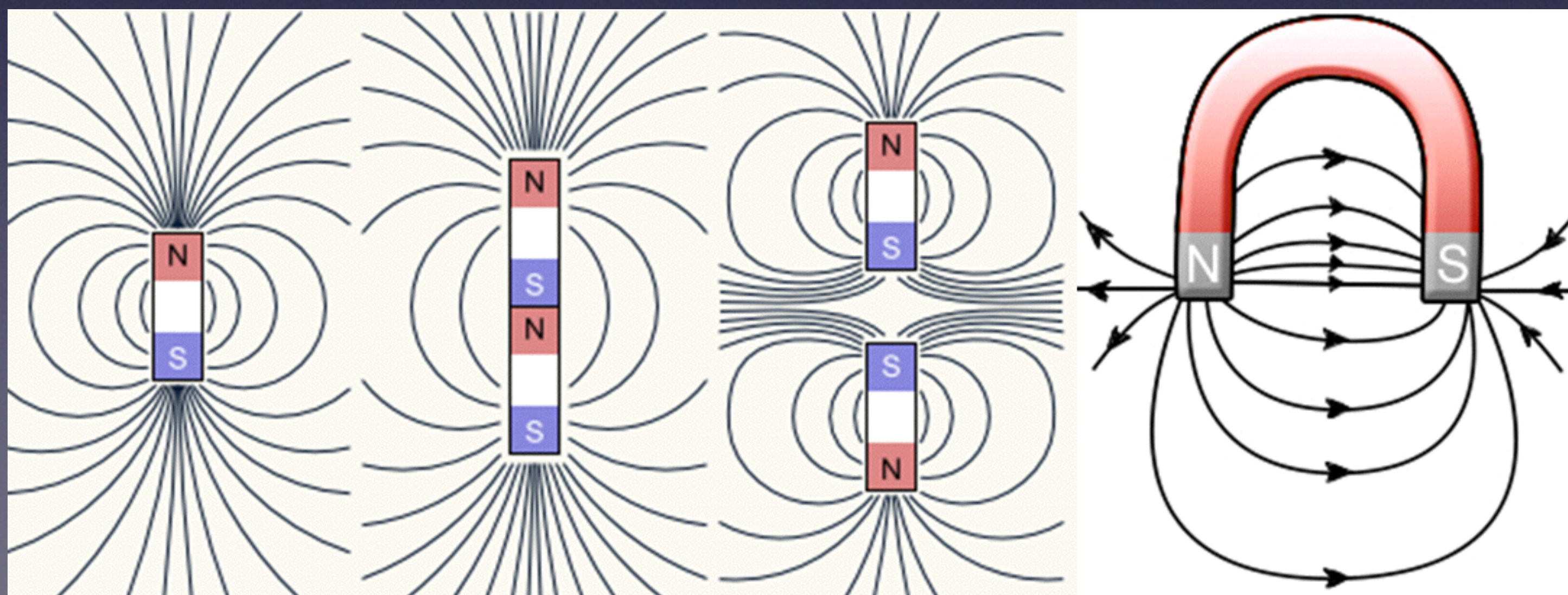
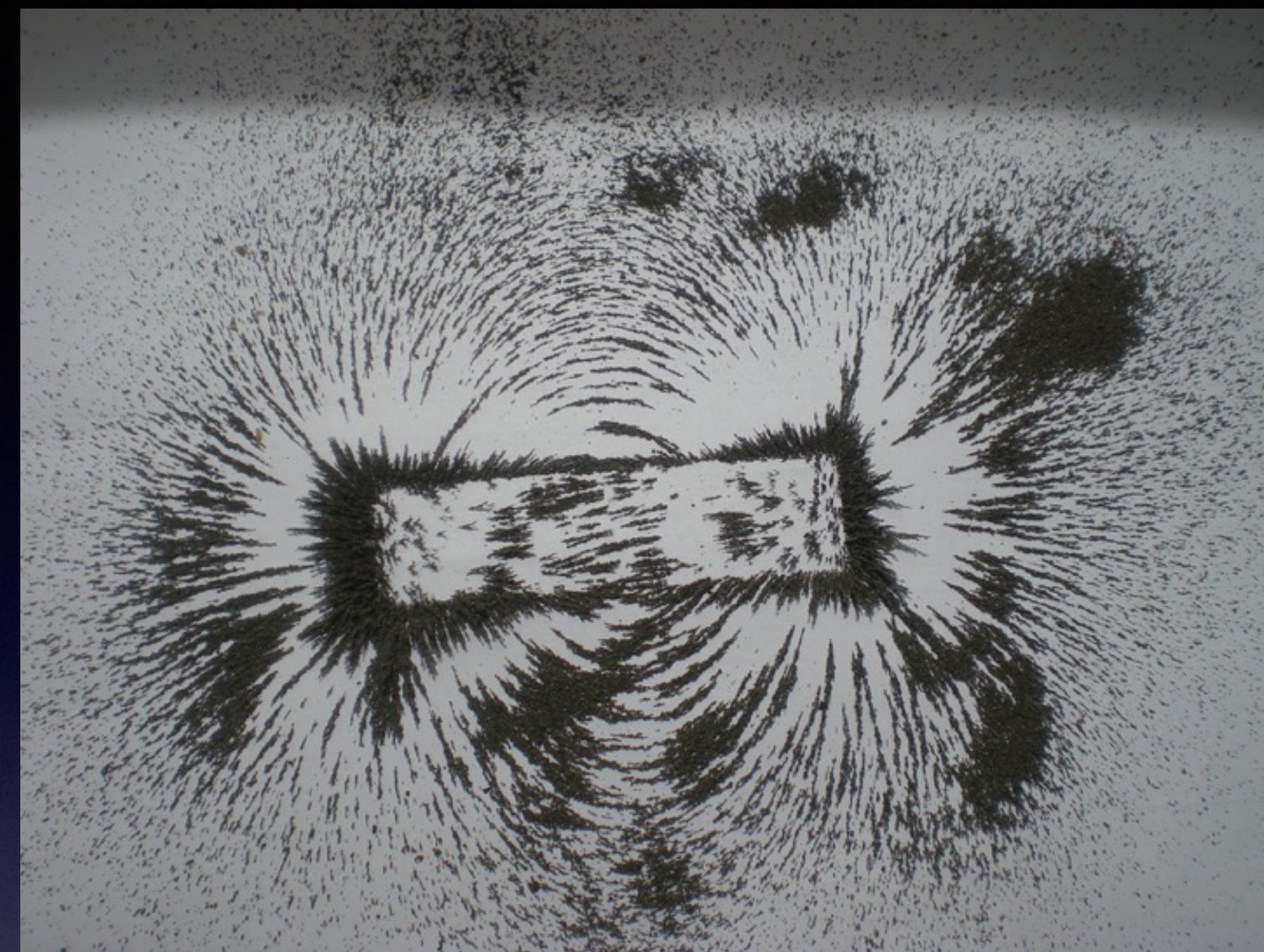
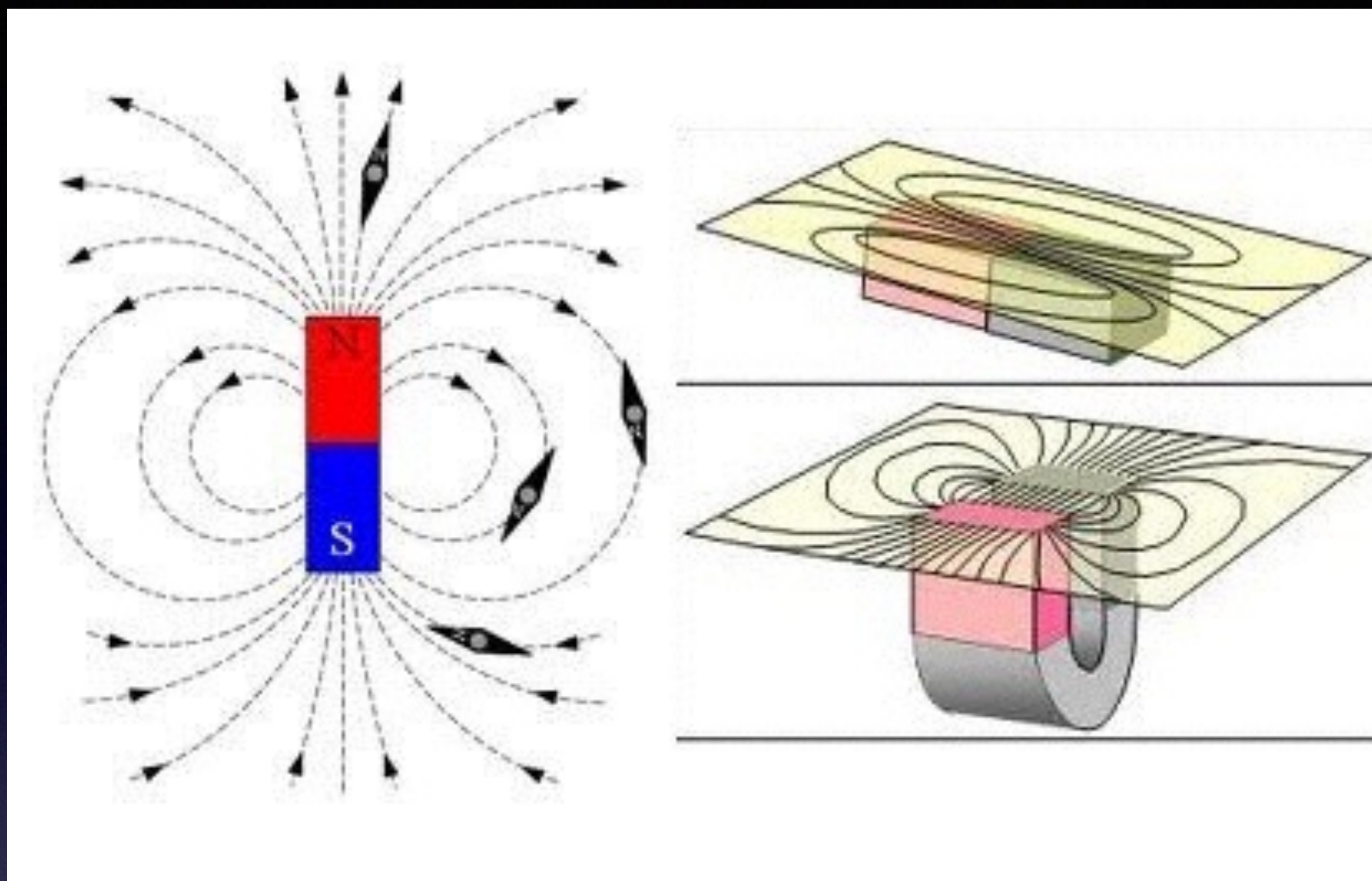
Campos

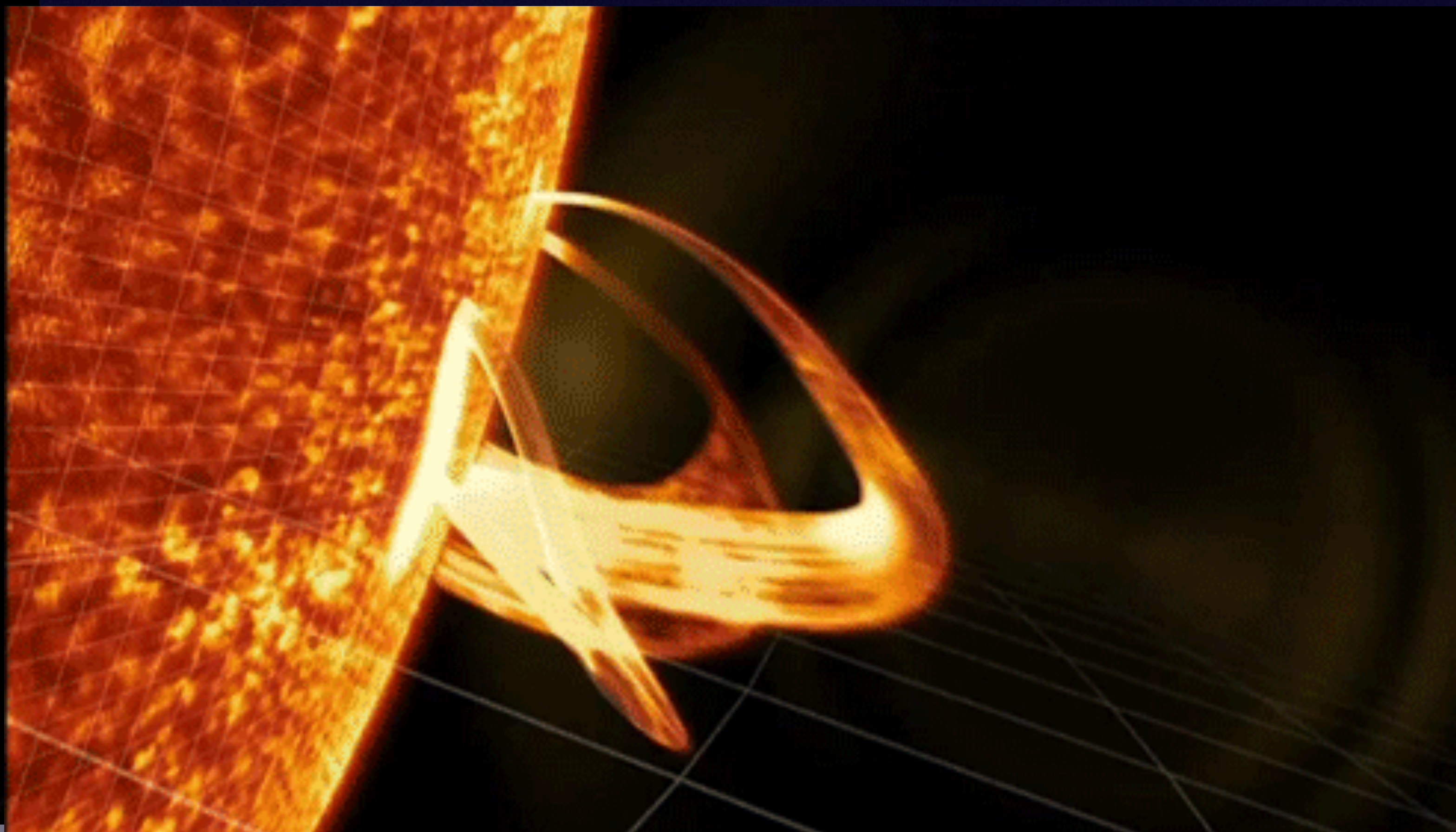
La idea moderna de campo fue introducida por Michael Faraday en 1844.

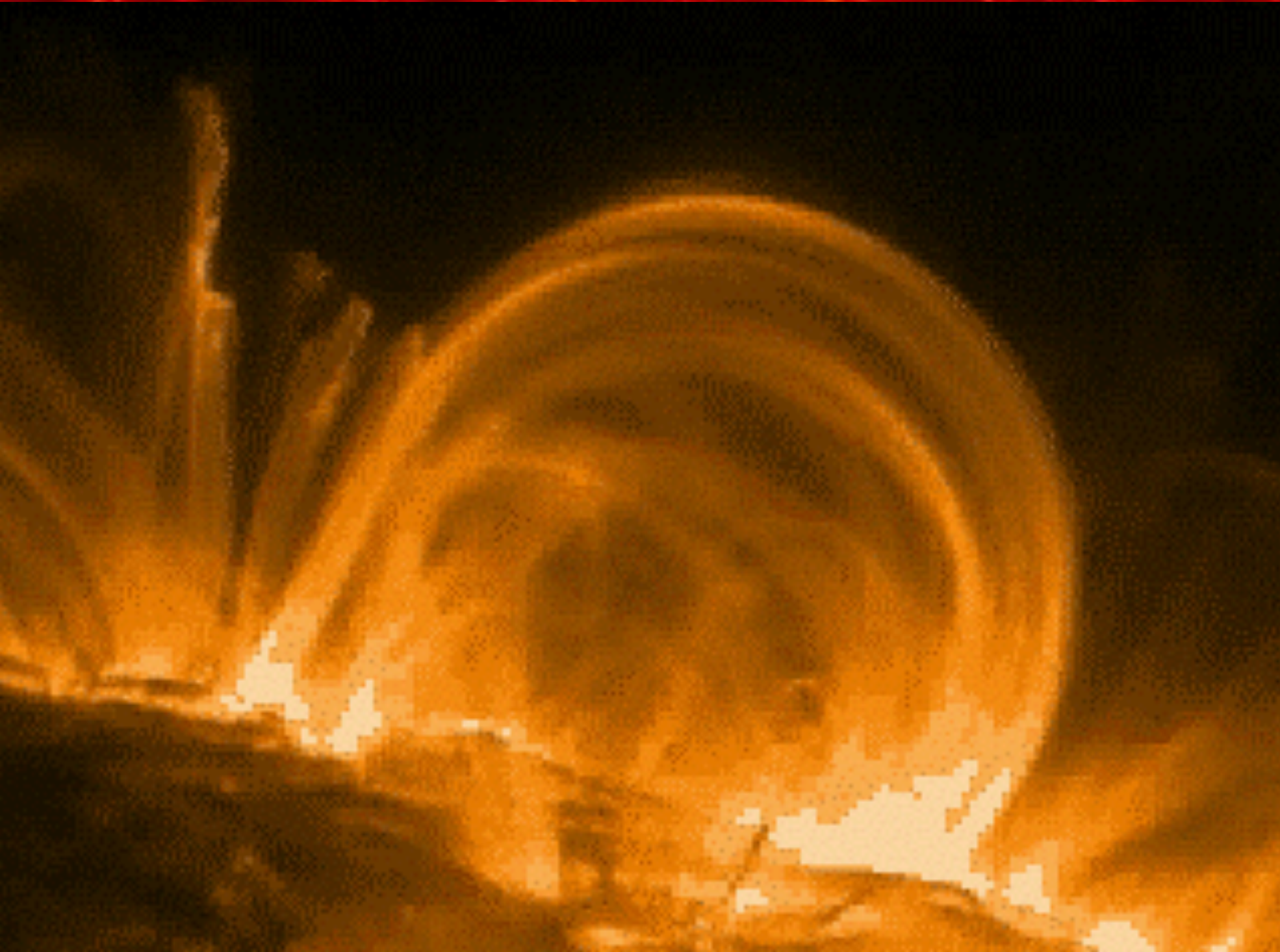
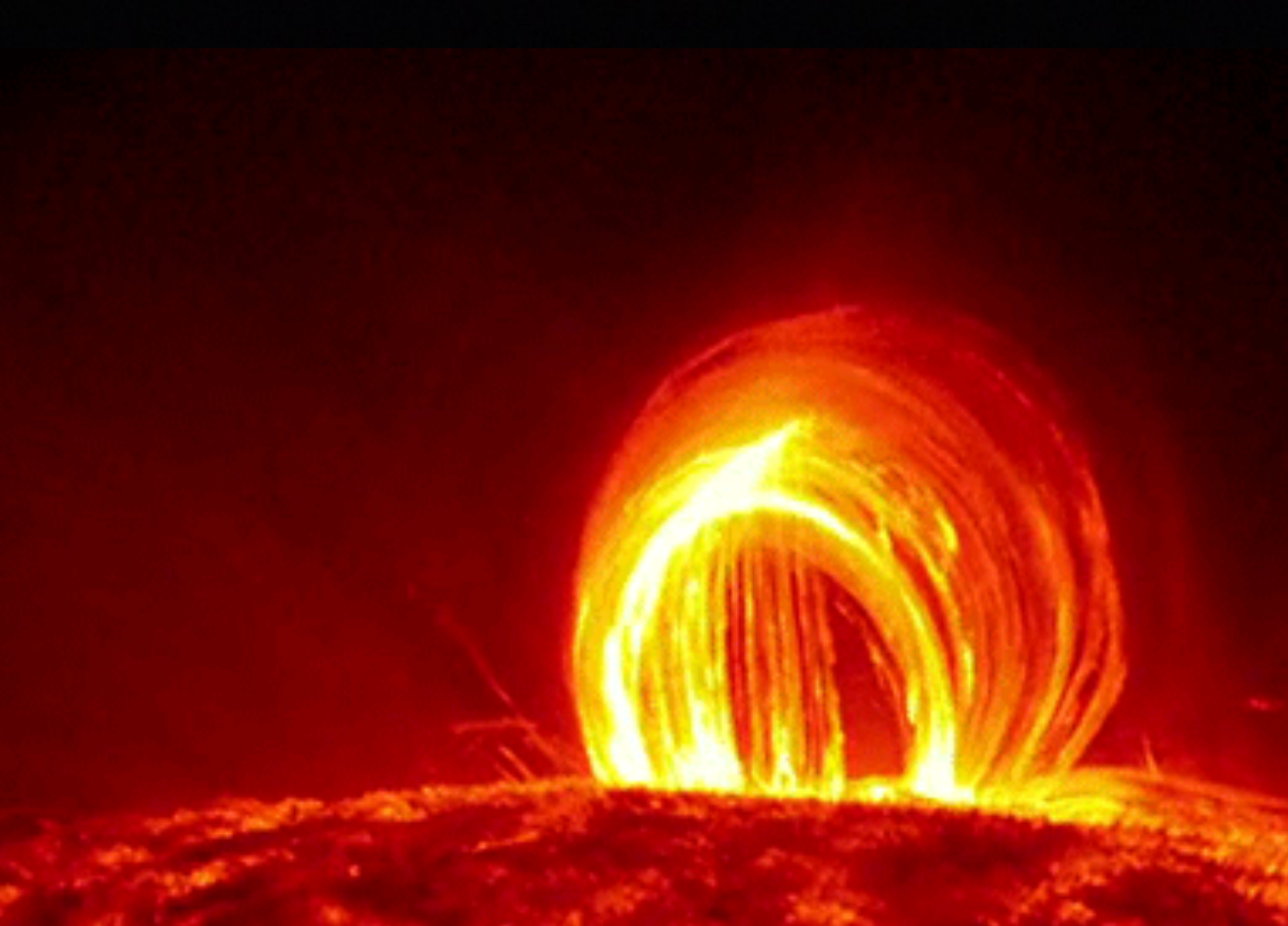


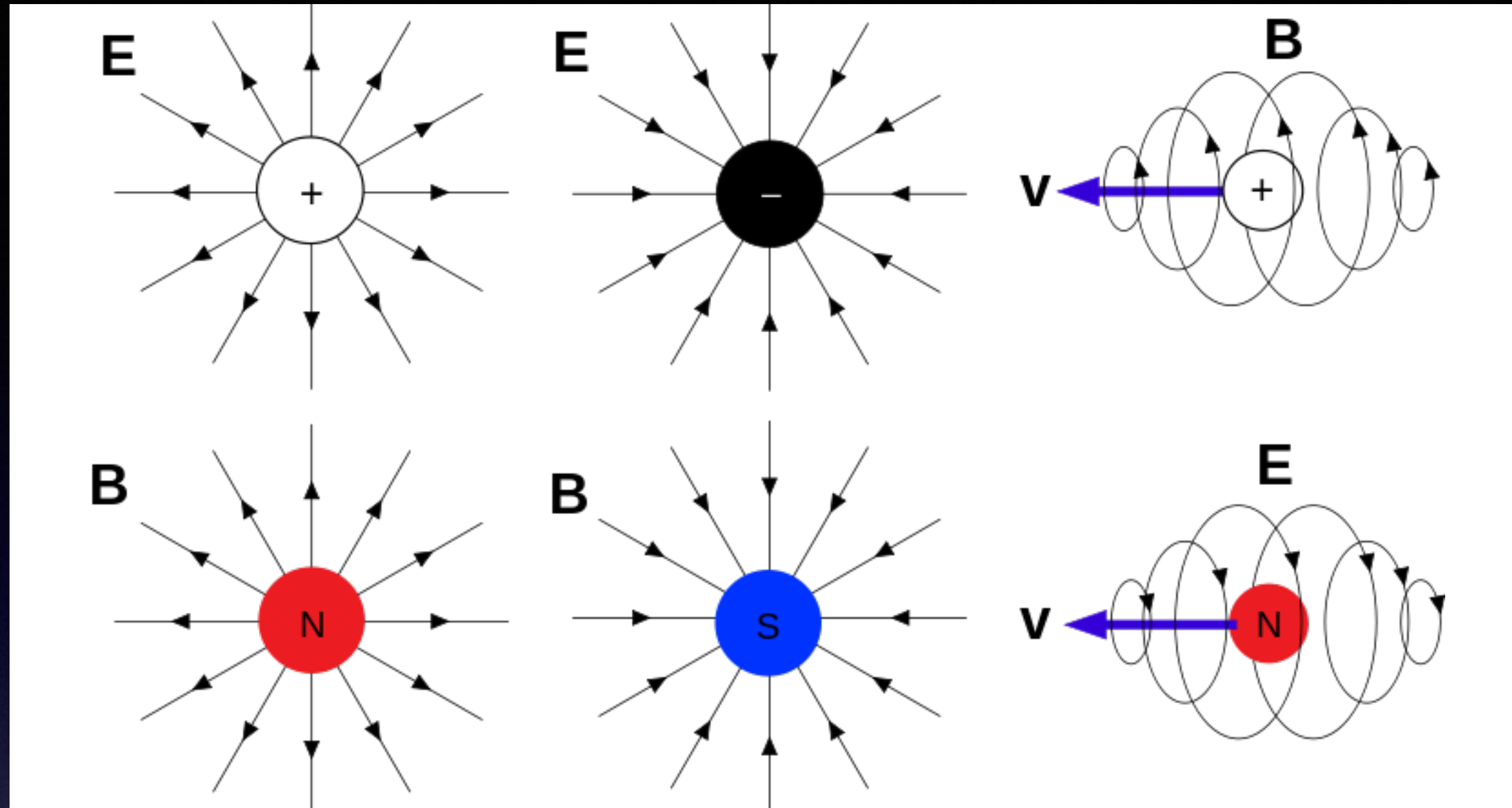
Faraday (1791 - 1867)



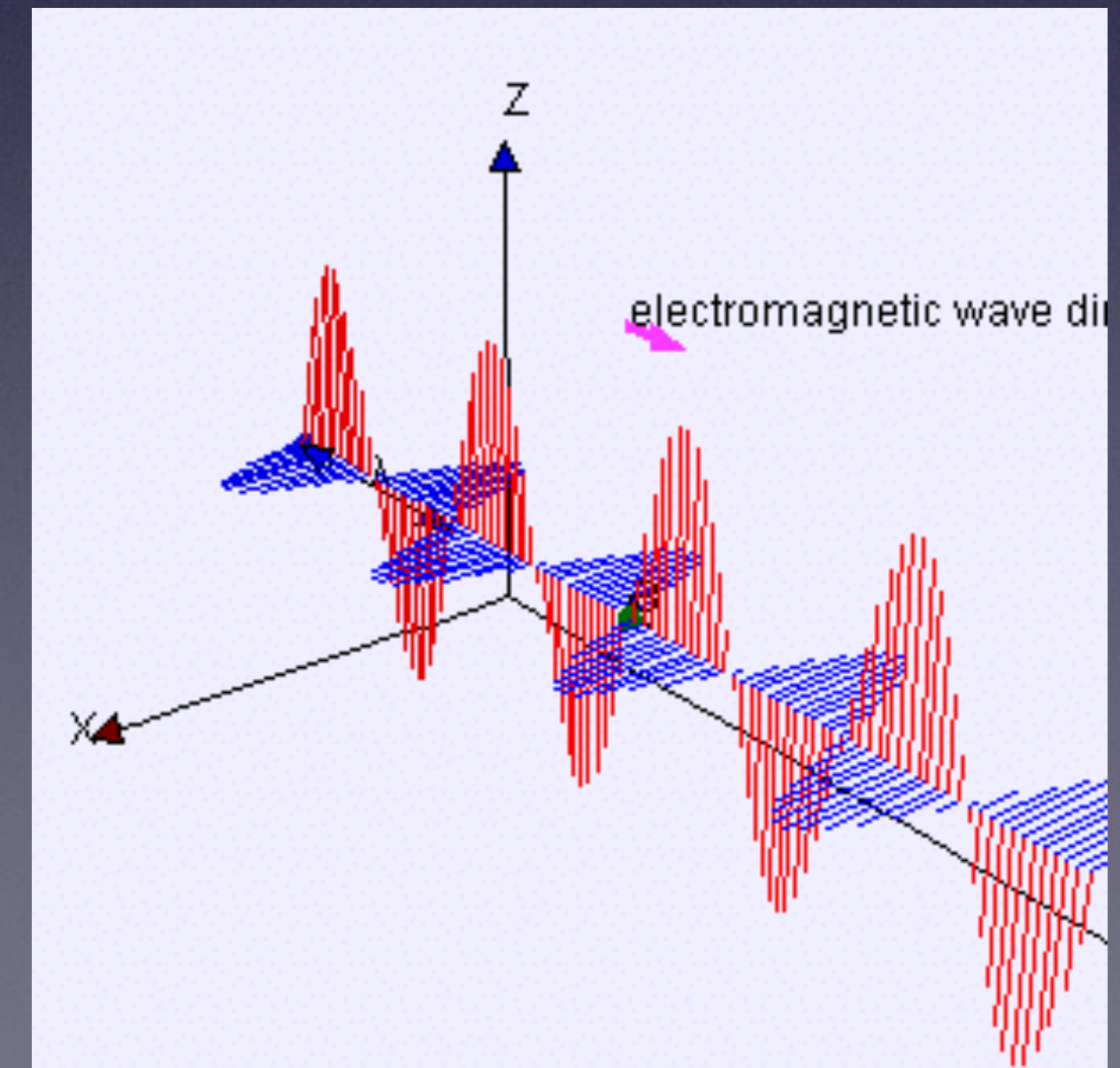
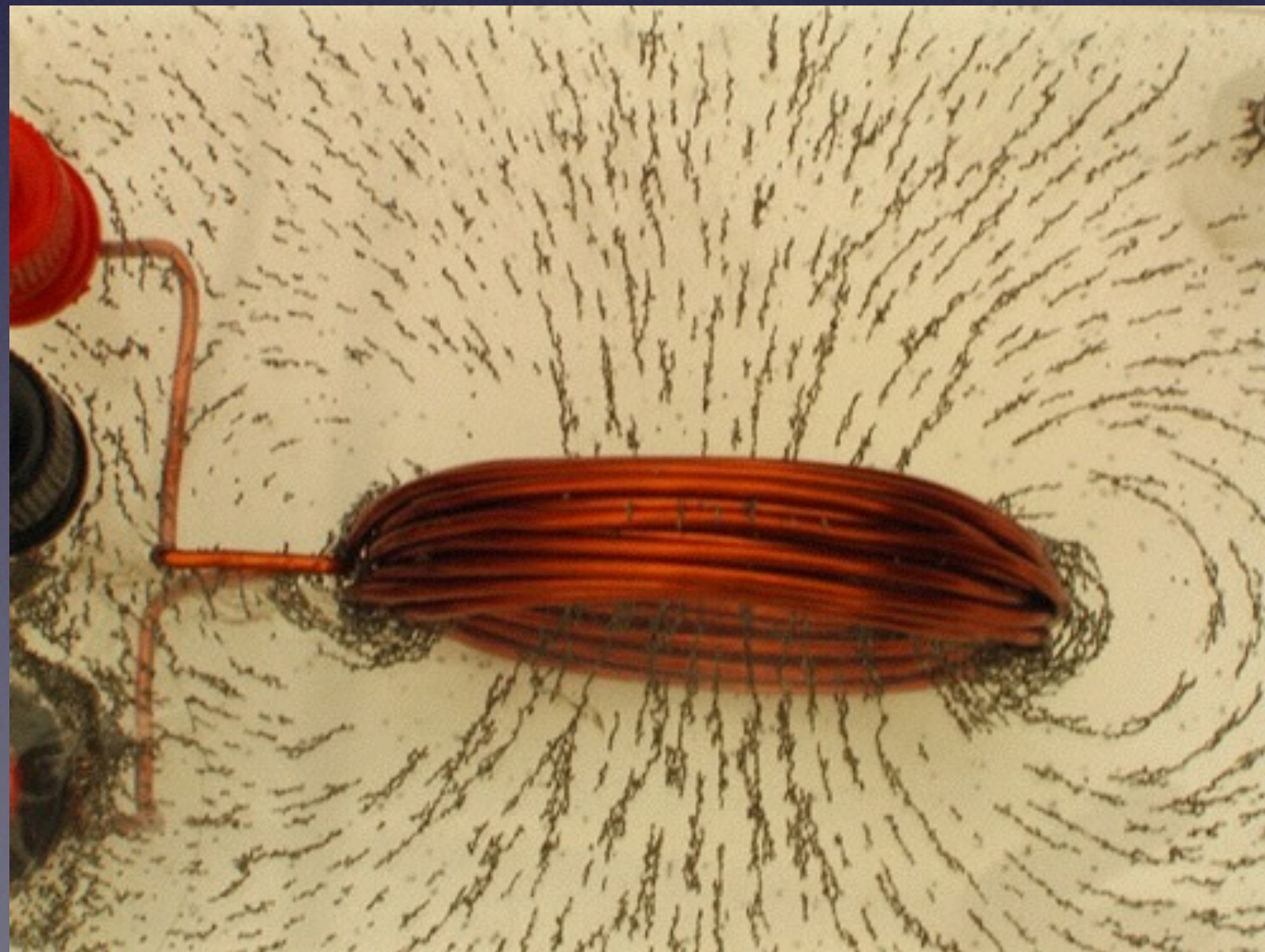


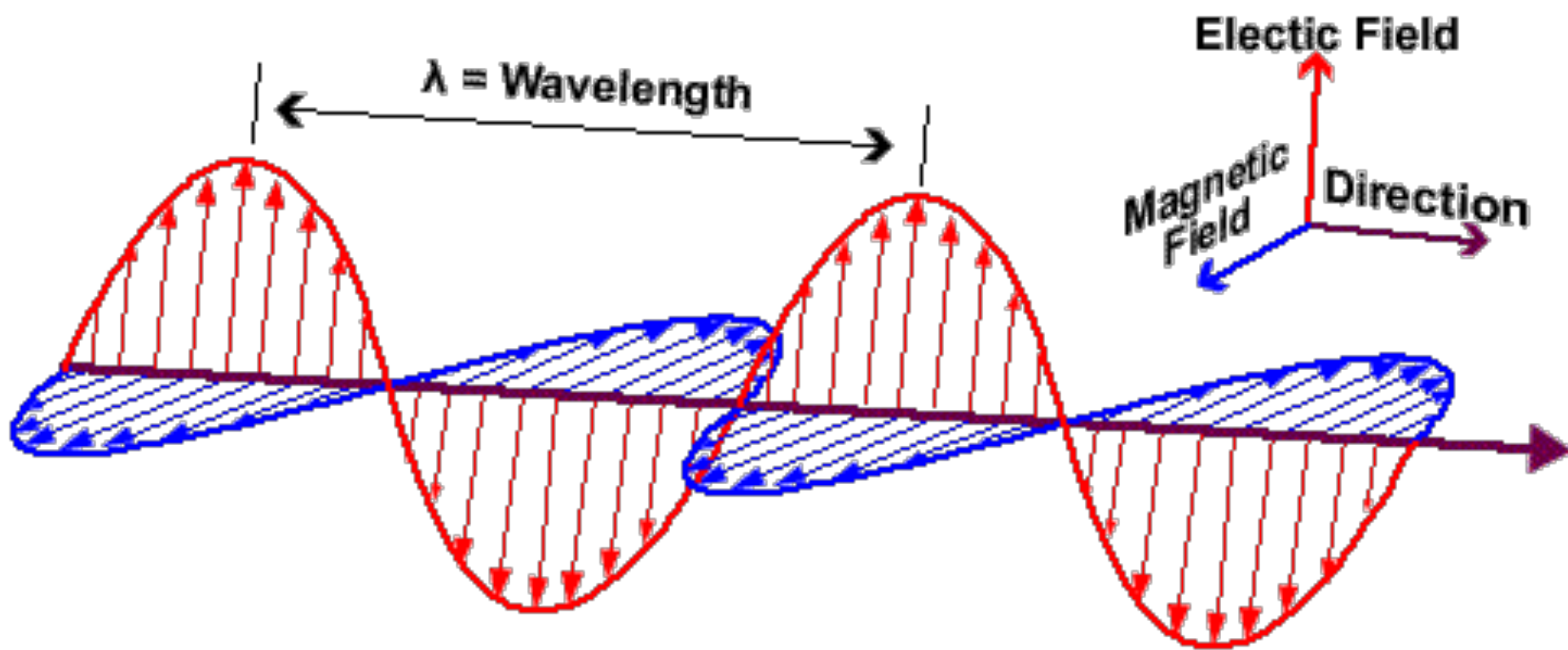




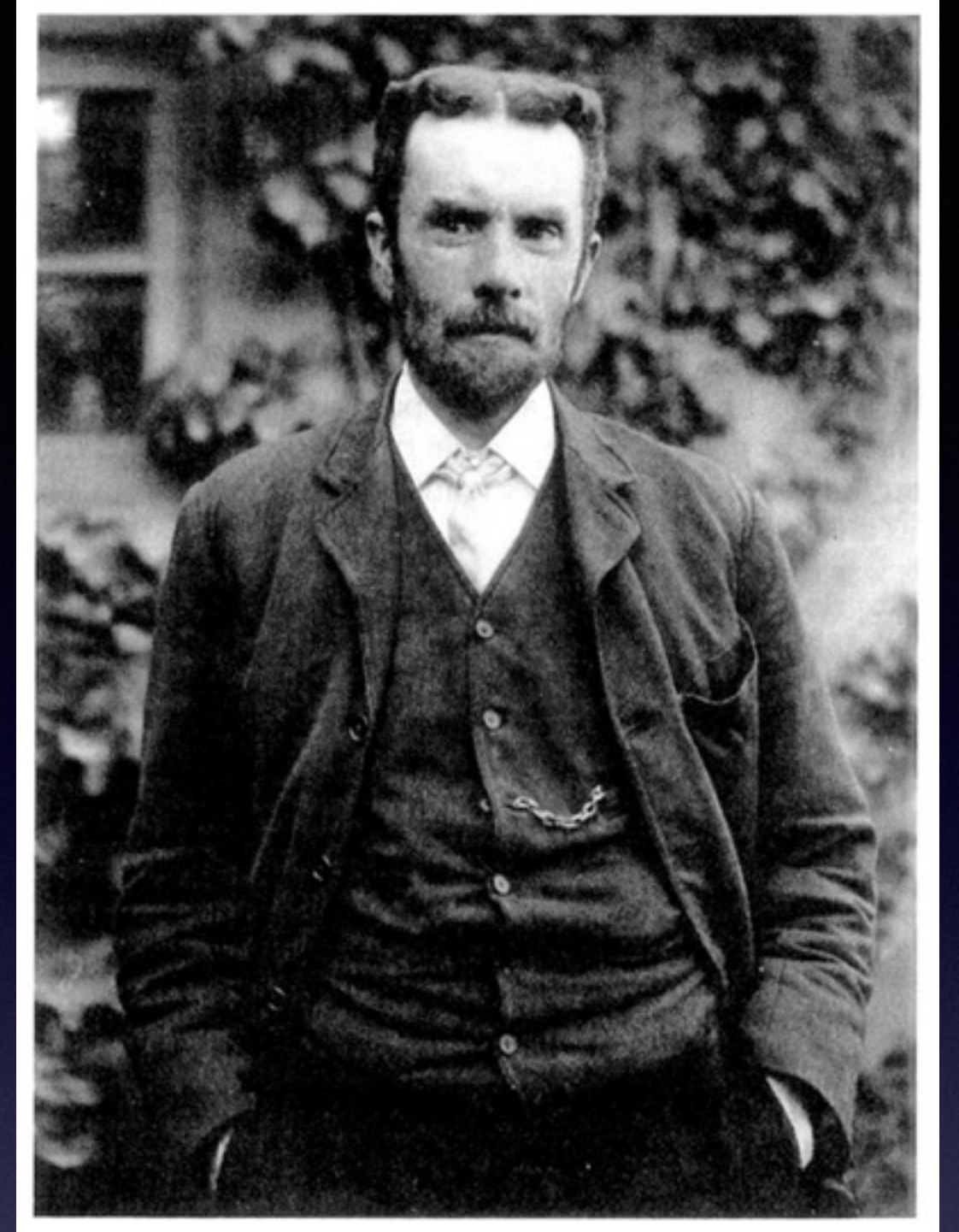


James Clerk Maxwell (1831-1879)

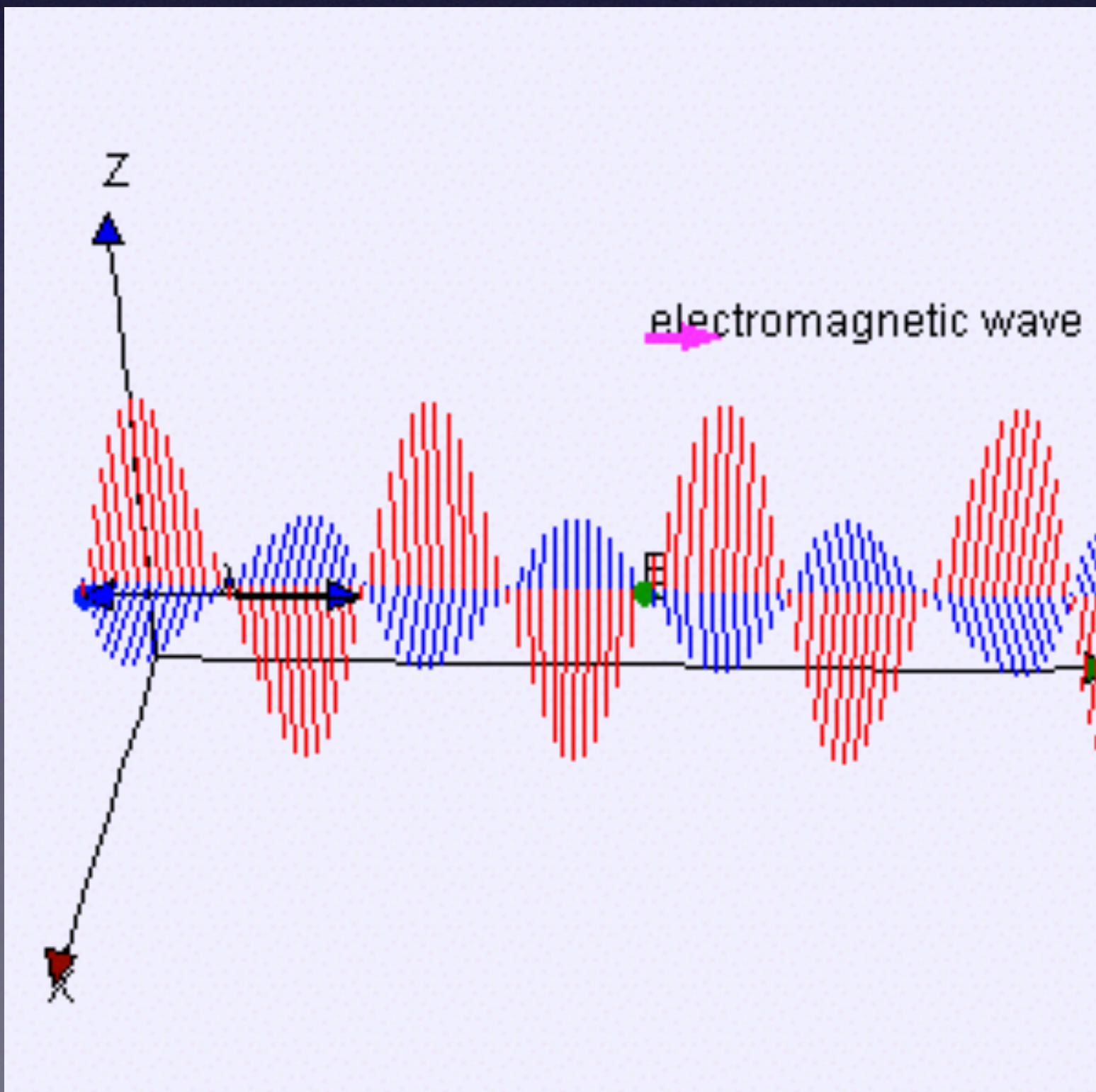




Oliver Heaviside
(1850-1925)



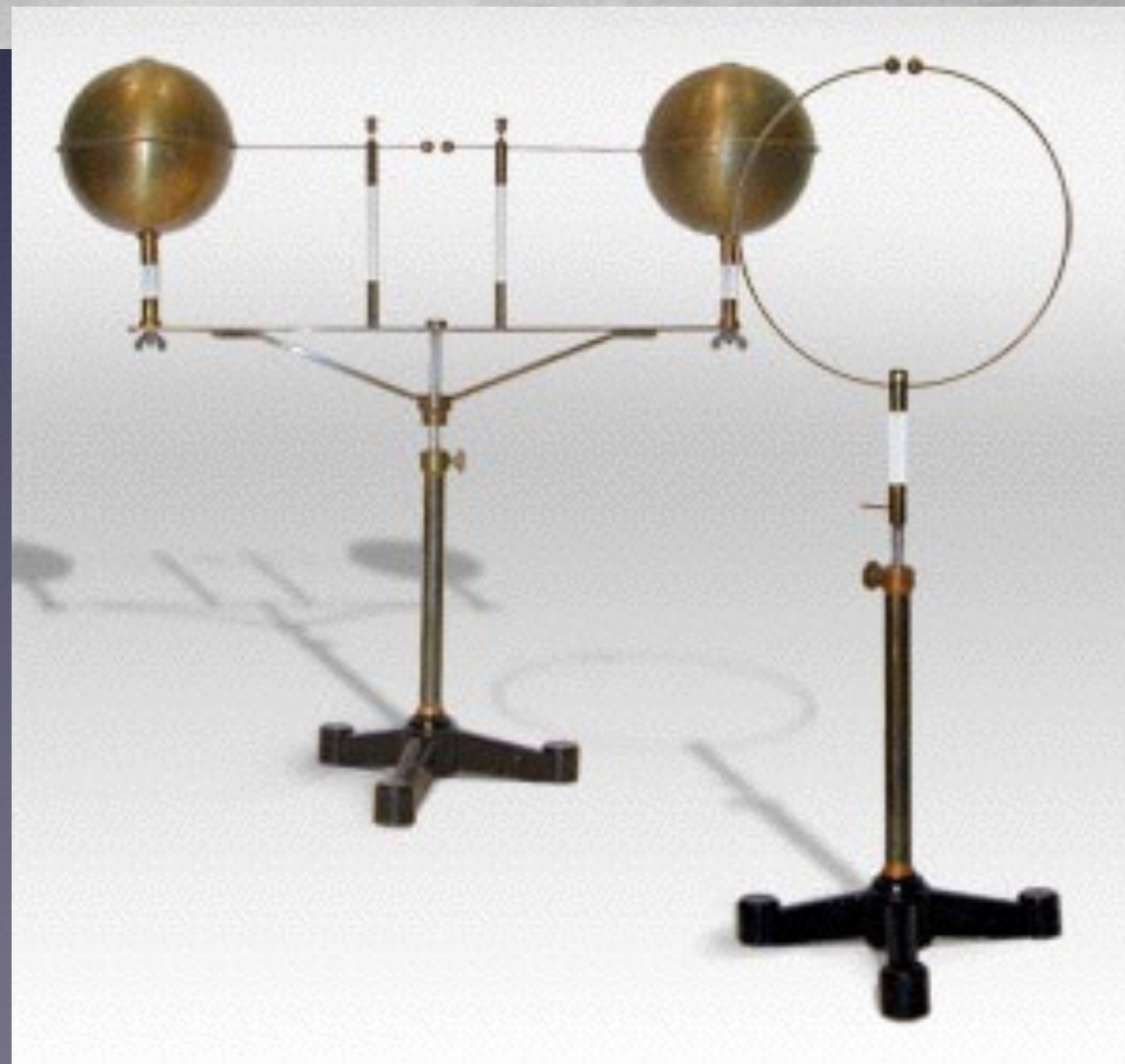
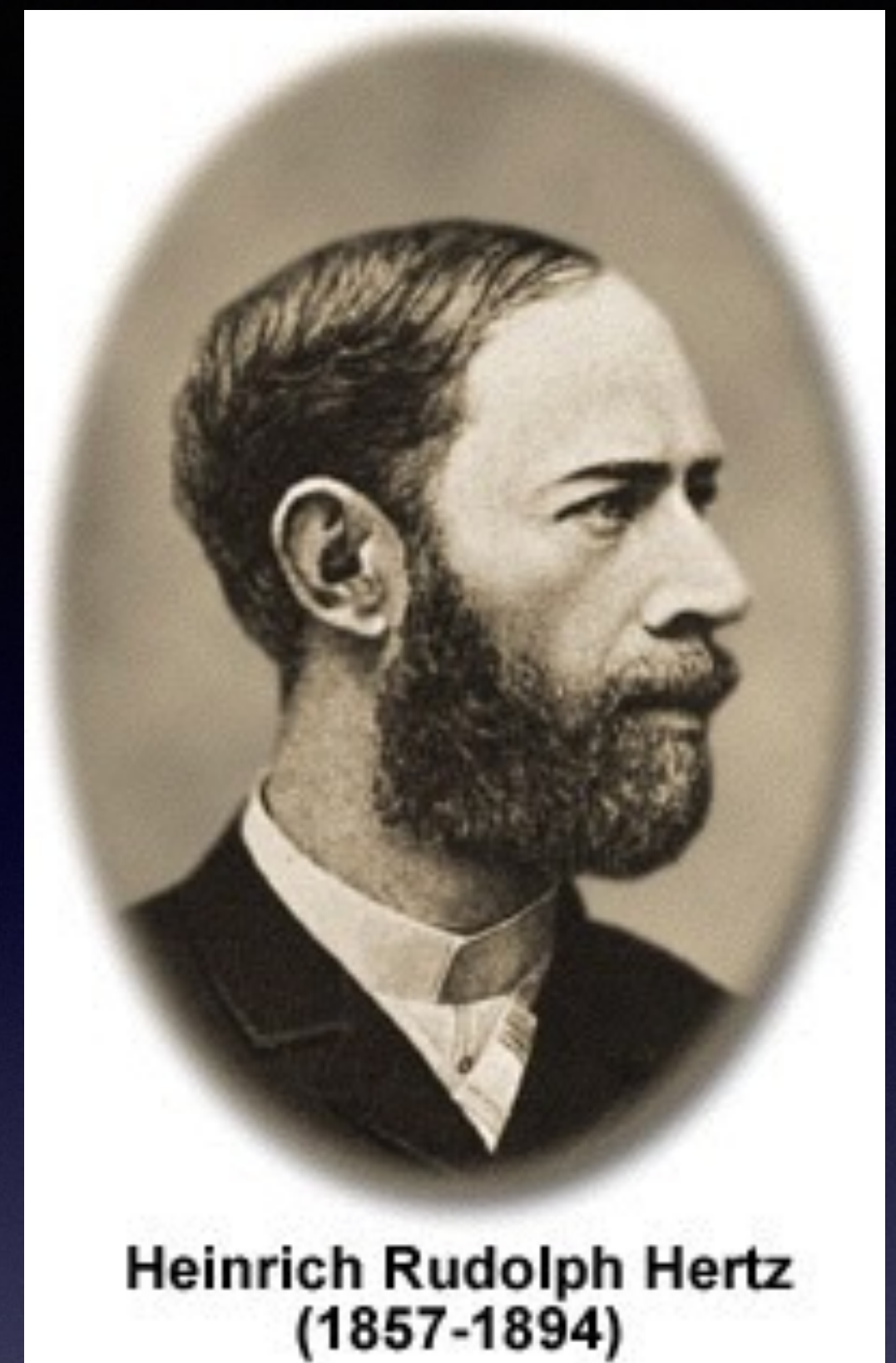
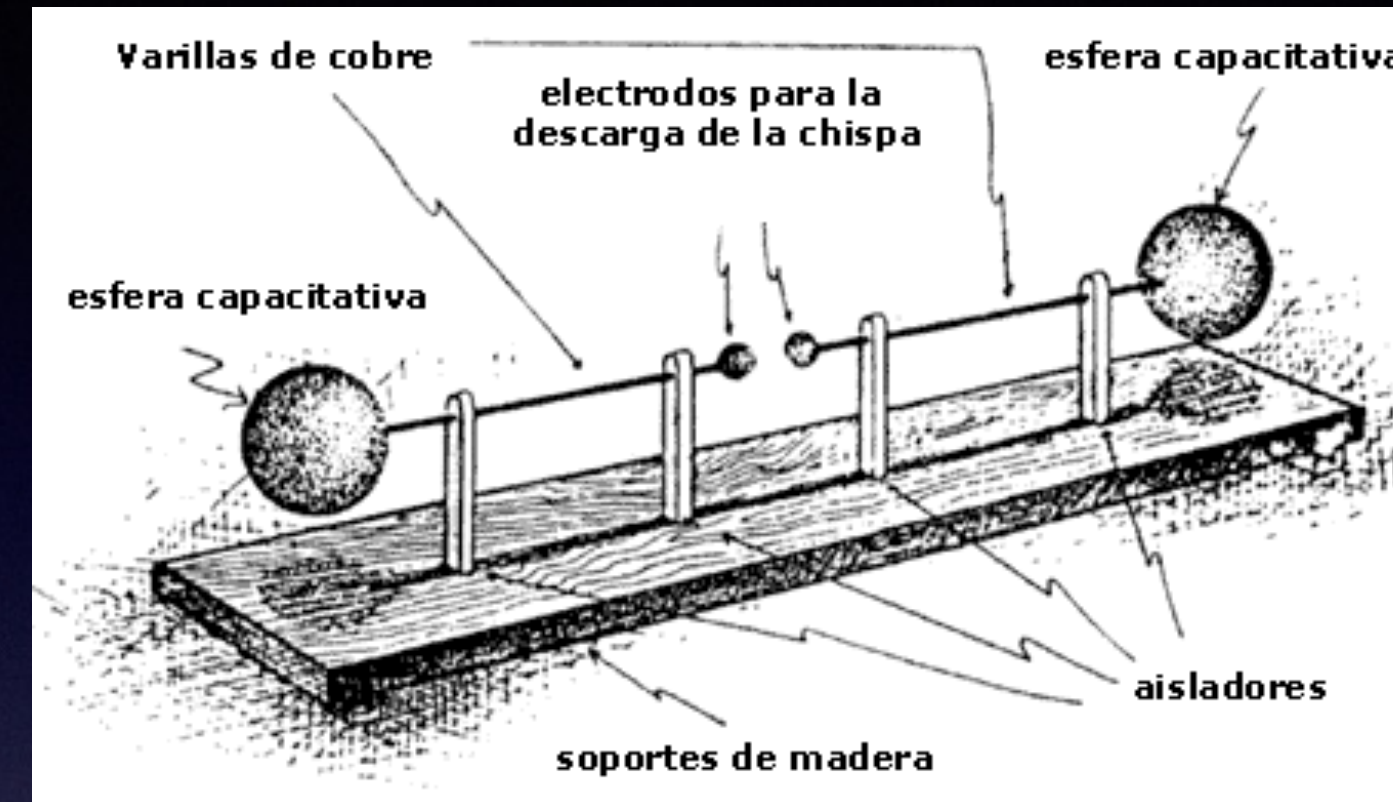
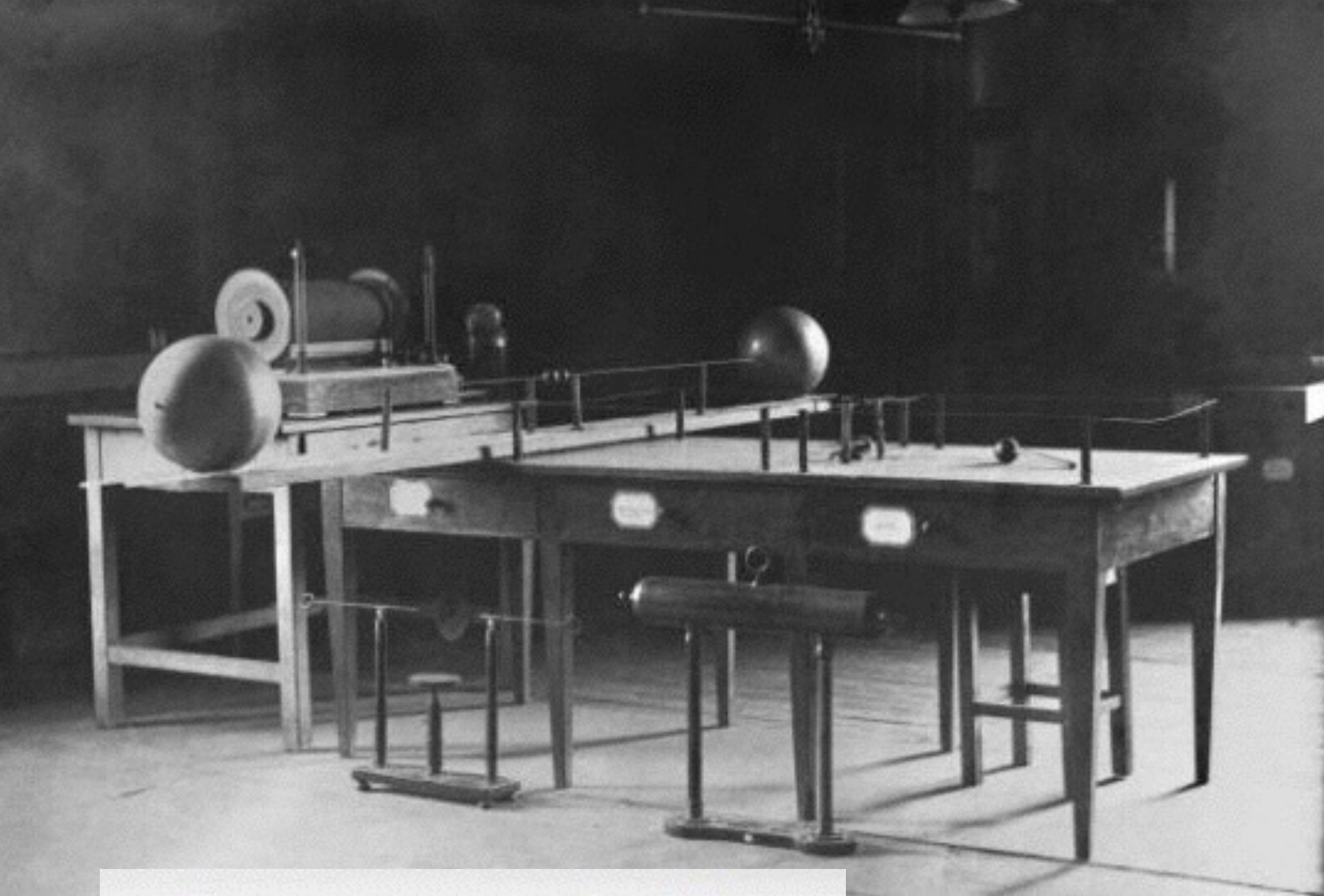
Ec. de Maxwell



$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\left(c^2 \nabla^2 - \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right) \mathbf{E} &= \mathbf{0} \\ \left(c^2 \nabla^2 - \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right) \mathbf{B} &= \mathbf{0}\end{aligned}$$



Hertz descubre las ondas electromagnéticas en una serie de experimentos realizados en el Karlsruhe Institute of Technology entre 1886 y 1888.

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu} \mathbf{E} \times \mathbf{B}$$

Las ondas electromagnéticas llevan energía en forma transversal a los campos electromagnéticos

Poynting's Theorem

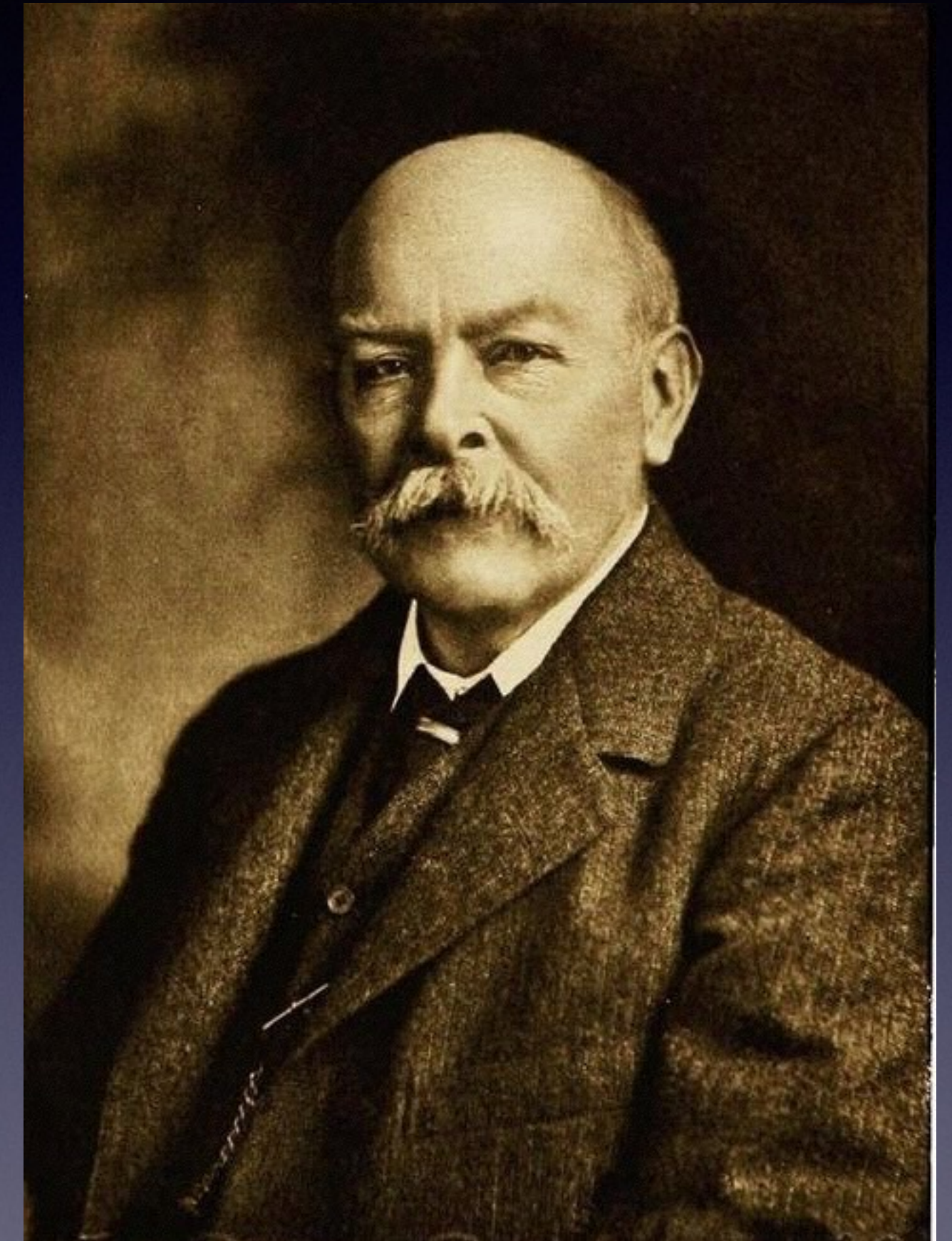
- Define

- Mechanical energy density $\frac{dW}{dt} = \int \frac{\partial u_{mech}}{\partial t} d\tau$

- Electromagnetic energy density $u_{em} = \frac{\epsilon_0}{2} \vec{E}^2 + \frac{1}{2\mu_0} \vec{B}^2$

- Poynting vector $\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$

- ❖ EM fields carry energy $\frac{\partial}{\partial t}(u_{mech} + u_{em}) + \vec{\nabla} \cdot \vec{S} = 0$



John Henry Poynting
(1852-1914)

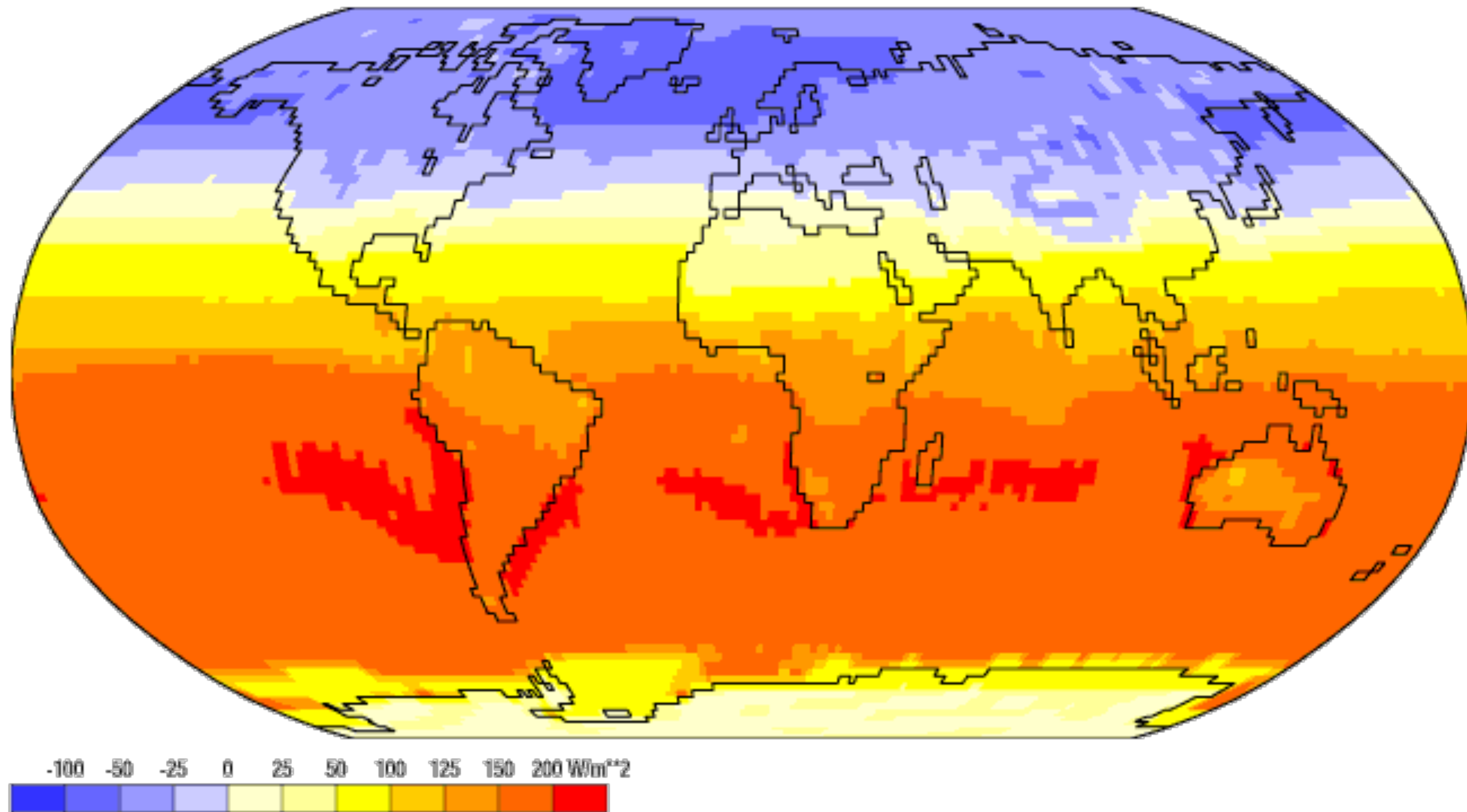
¿Qué es exactamente un campo?

En Matemáticas: es una cantidad que puede variar continuamente sobre un dominio de objetos matemáticos. Las cantidades pueden ser de diferentes tipos: escalares, vectoriales, sensoriales, spinoriales.

Ejemplos: campos de temperatura (escalares), de velocidades (vectoriales), métricos o elásticos (tensoriales). Estos campos son representaciones matemáticas de propiedades de sistemas materiales que no son campos.

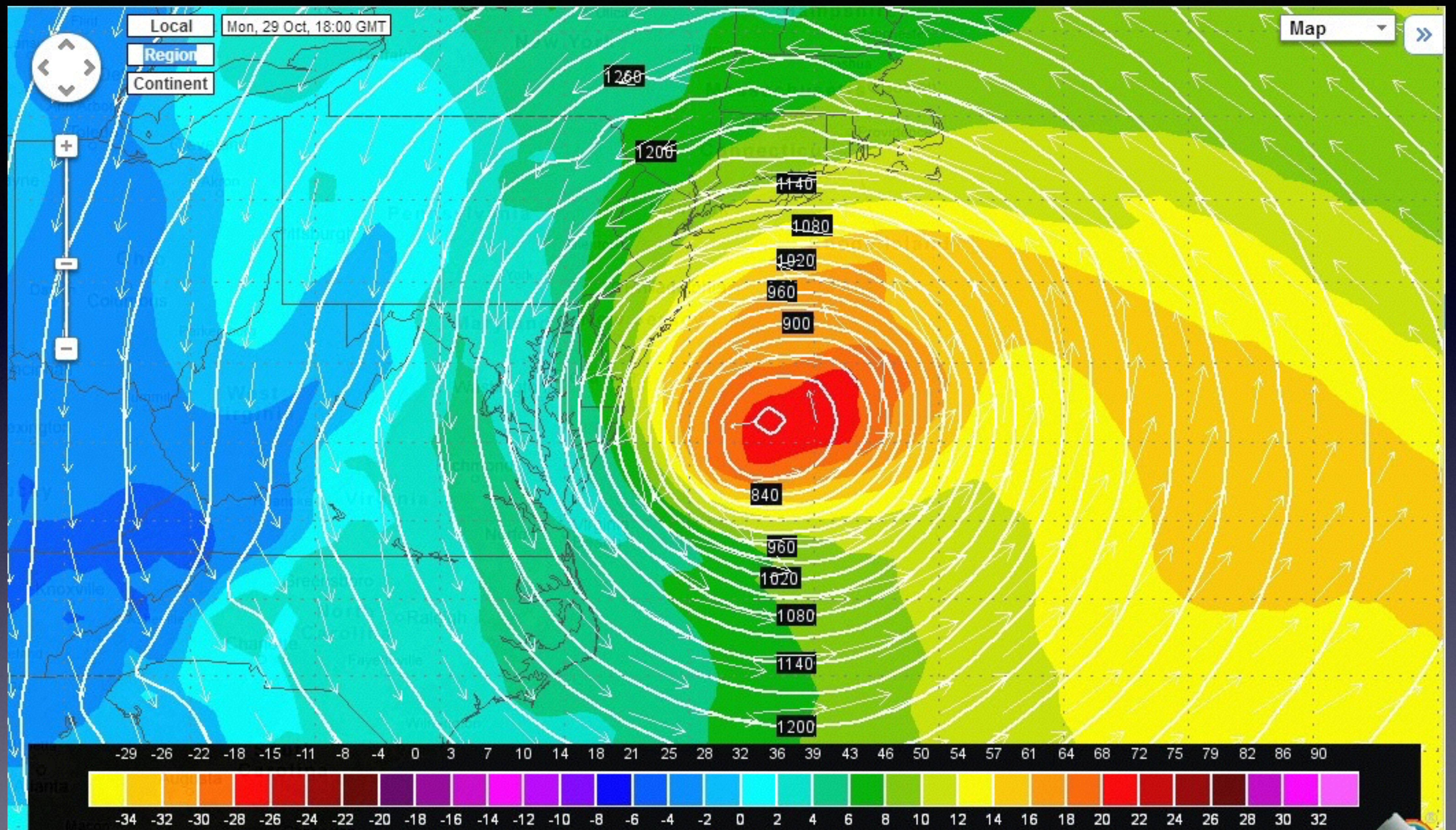
Net Radiation

Dec

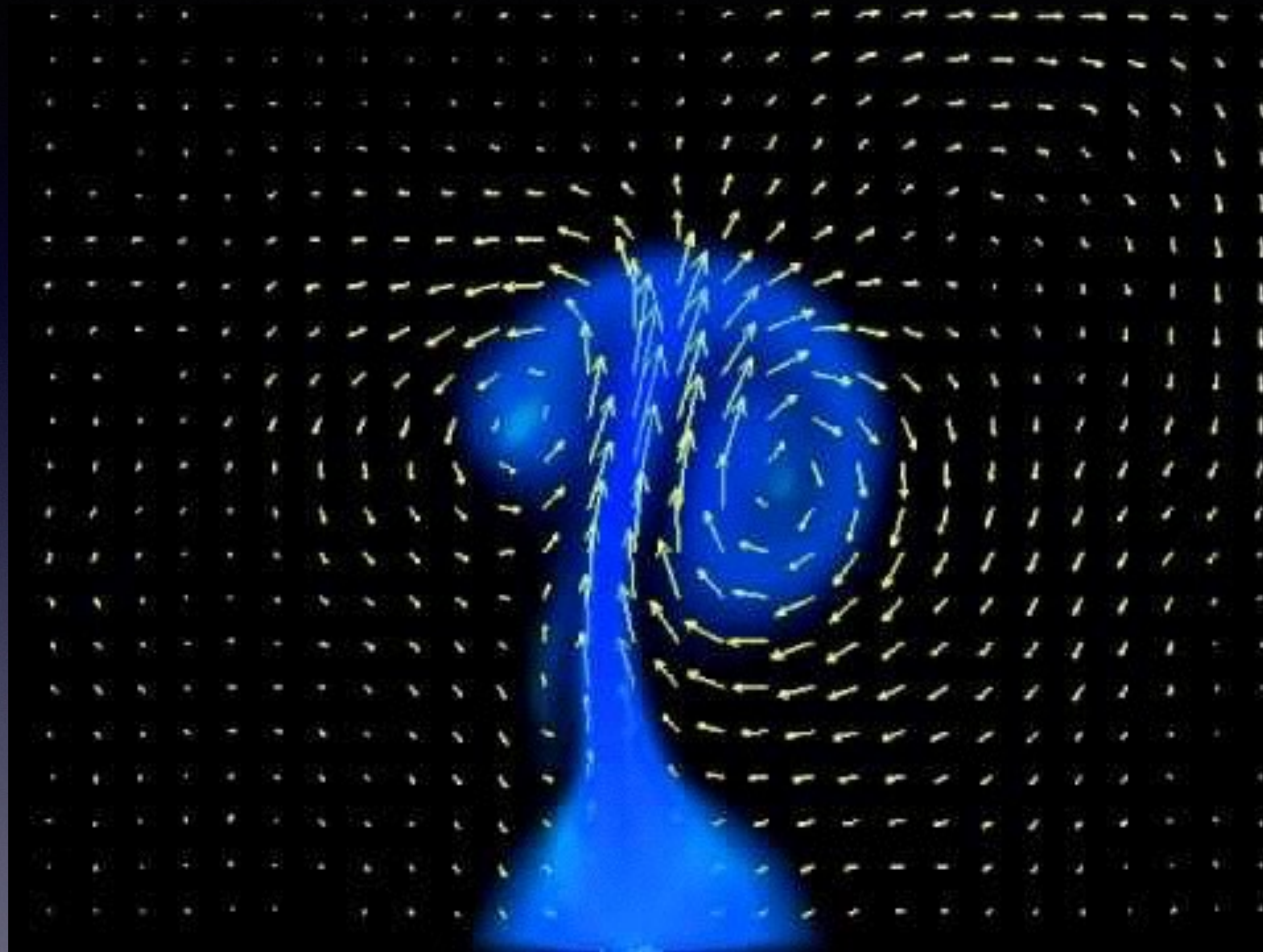


Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

Radiación mensual media neta. Ejemplo de campo escalar.



Campos escalares y vectoriales



Velocidades de un fluido representadas por medio de una campo vectorial.

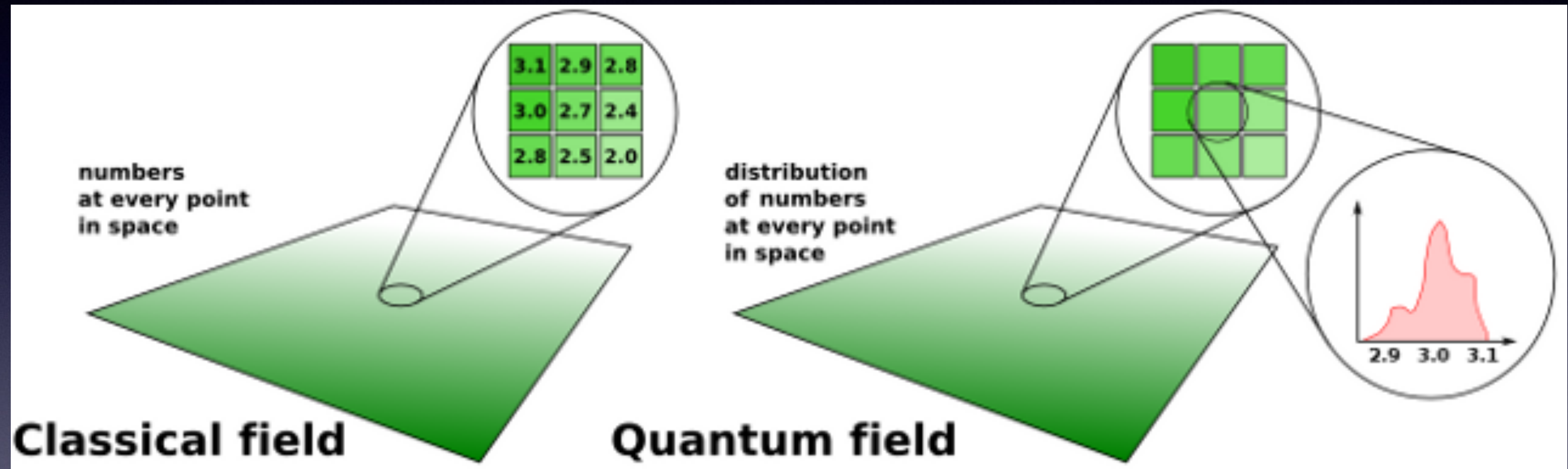
En Física: Es una entidad que tiene infinitos grados de libertad y se extiende sobre una región del espacio-tiempo.

Ejemplos: El campo electromagnético, el campo gravitacional, los campos cuánticos.

Faraday propuso que todo el universo está lleno de campos y por tanto es un plenum.

Los campos físicos son entidades, no propiedades representadas por campos matemáticos. Son entidades materiales porque poseen energía e impulso.

Según el modelo estándar de la física sólo existen campos cuánticos

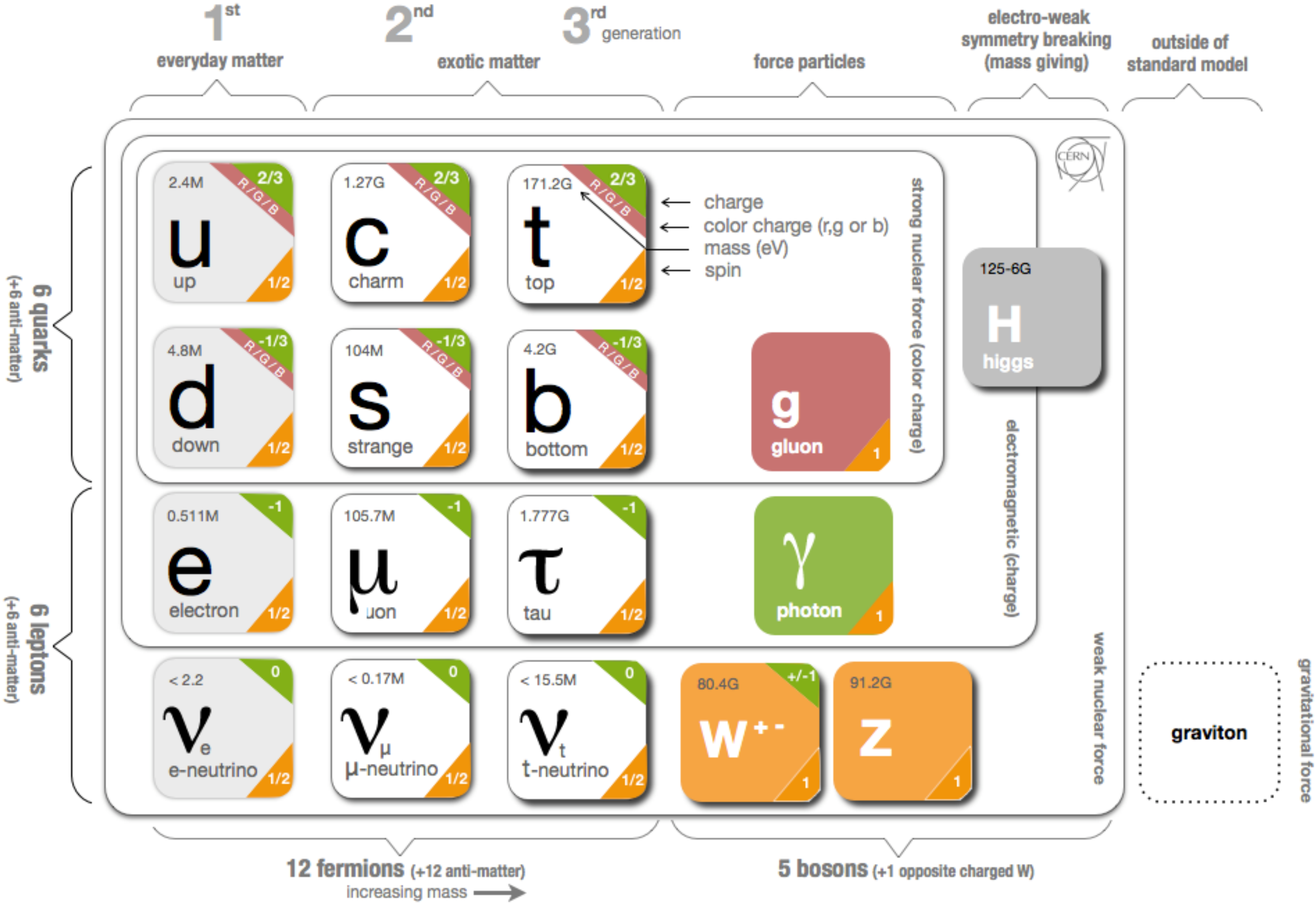


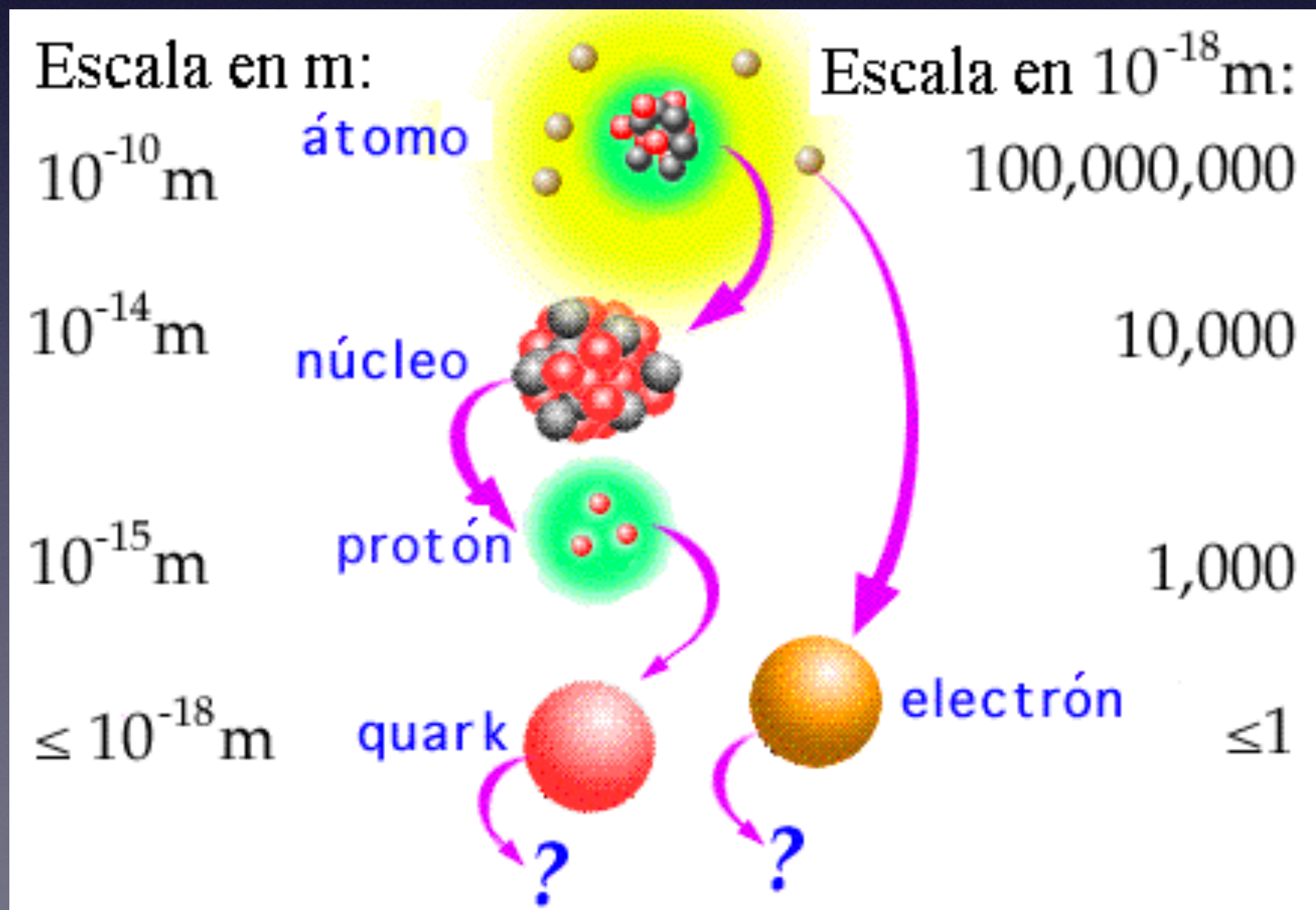
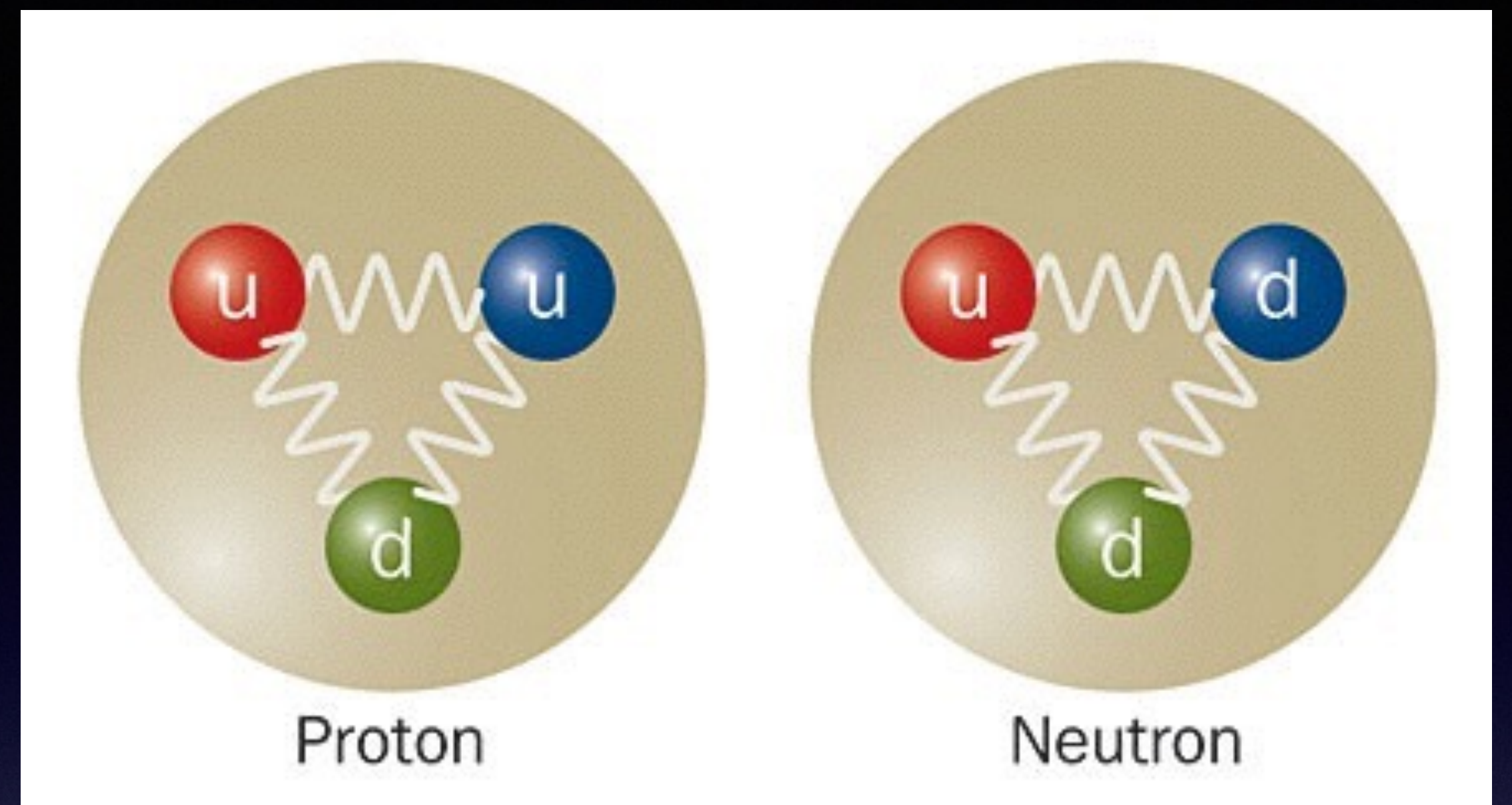
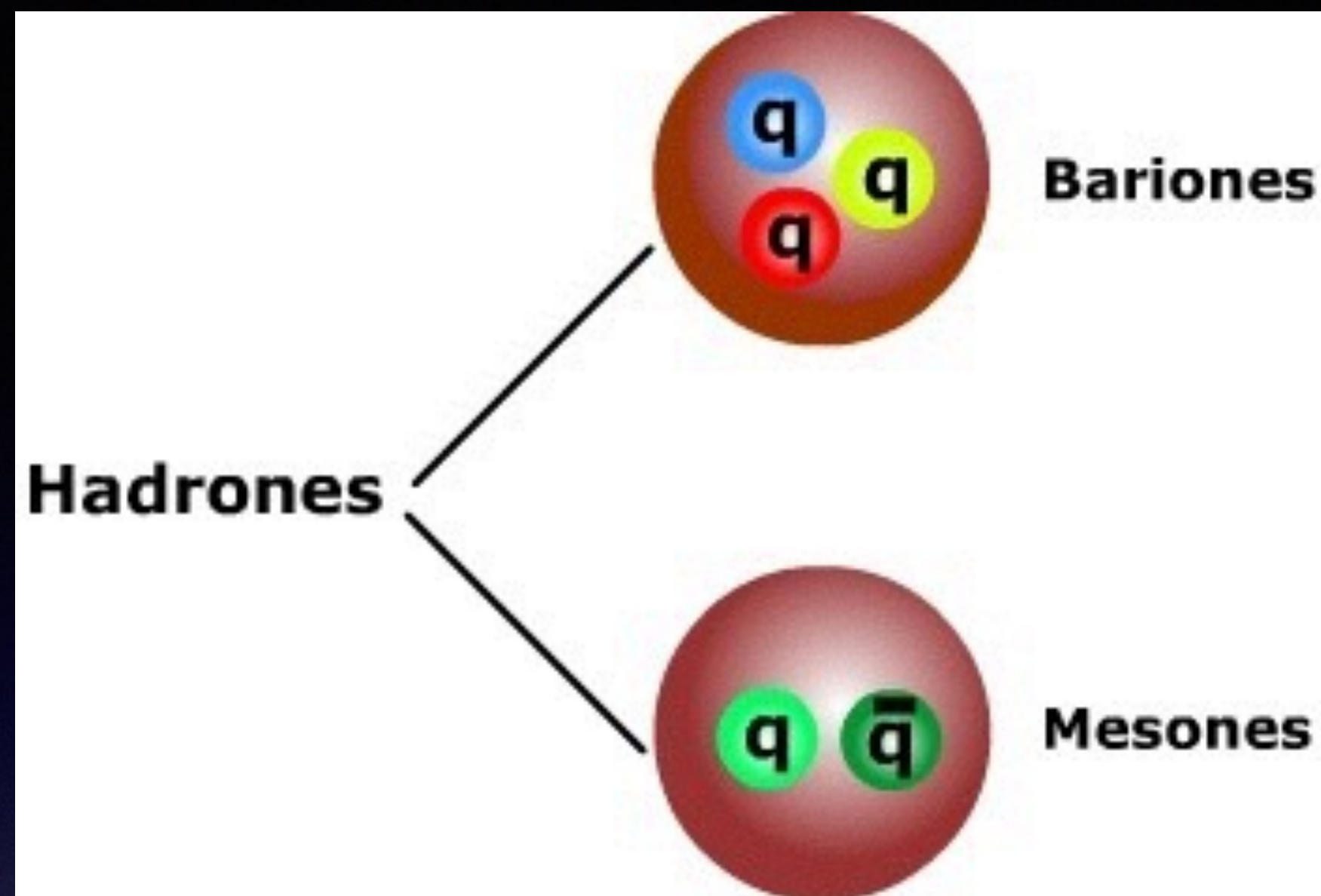
12 campos fermiónicos y 5 campos bosónicos: los estados excitados de los campos son lo que se llaman partículas elementales.

Los fermiones se caracterizan por tener espín semi-entero ($1/2, 3/2, \dots$).

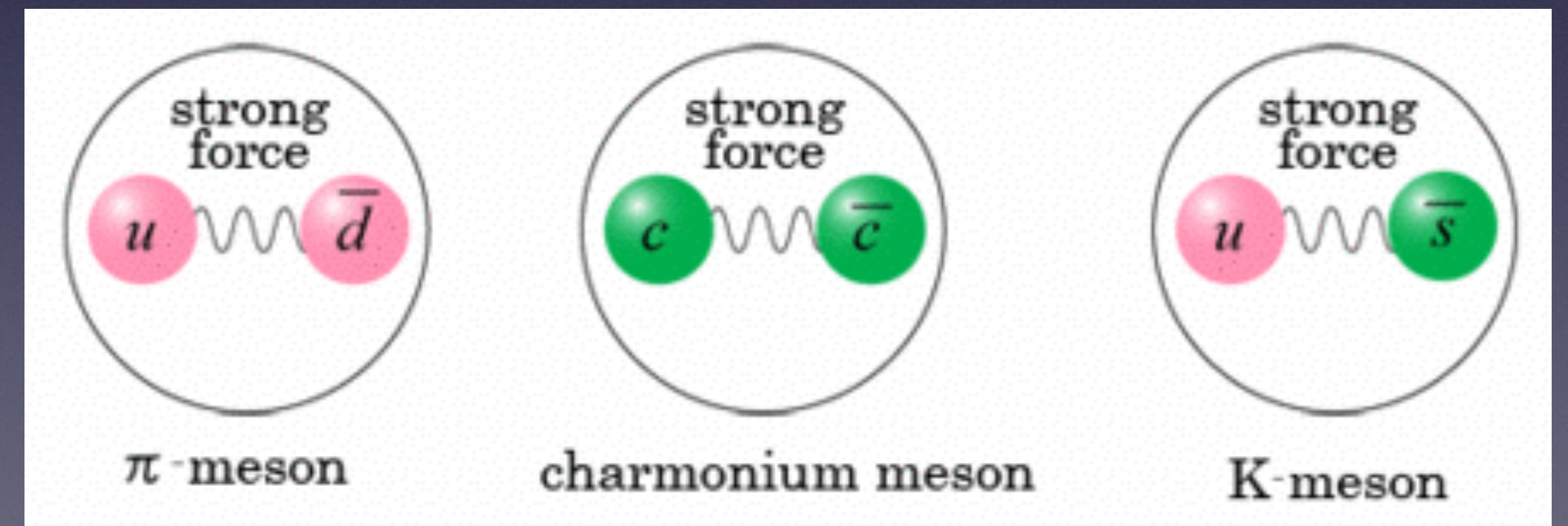
En el modelo estándar existen dos tipos de fermiones fundamentales, los quarks y los leptones.

Los bosones se caracterizan por tener un espín entero ($0, 1, 2, \dots$).

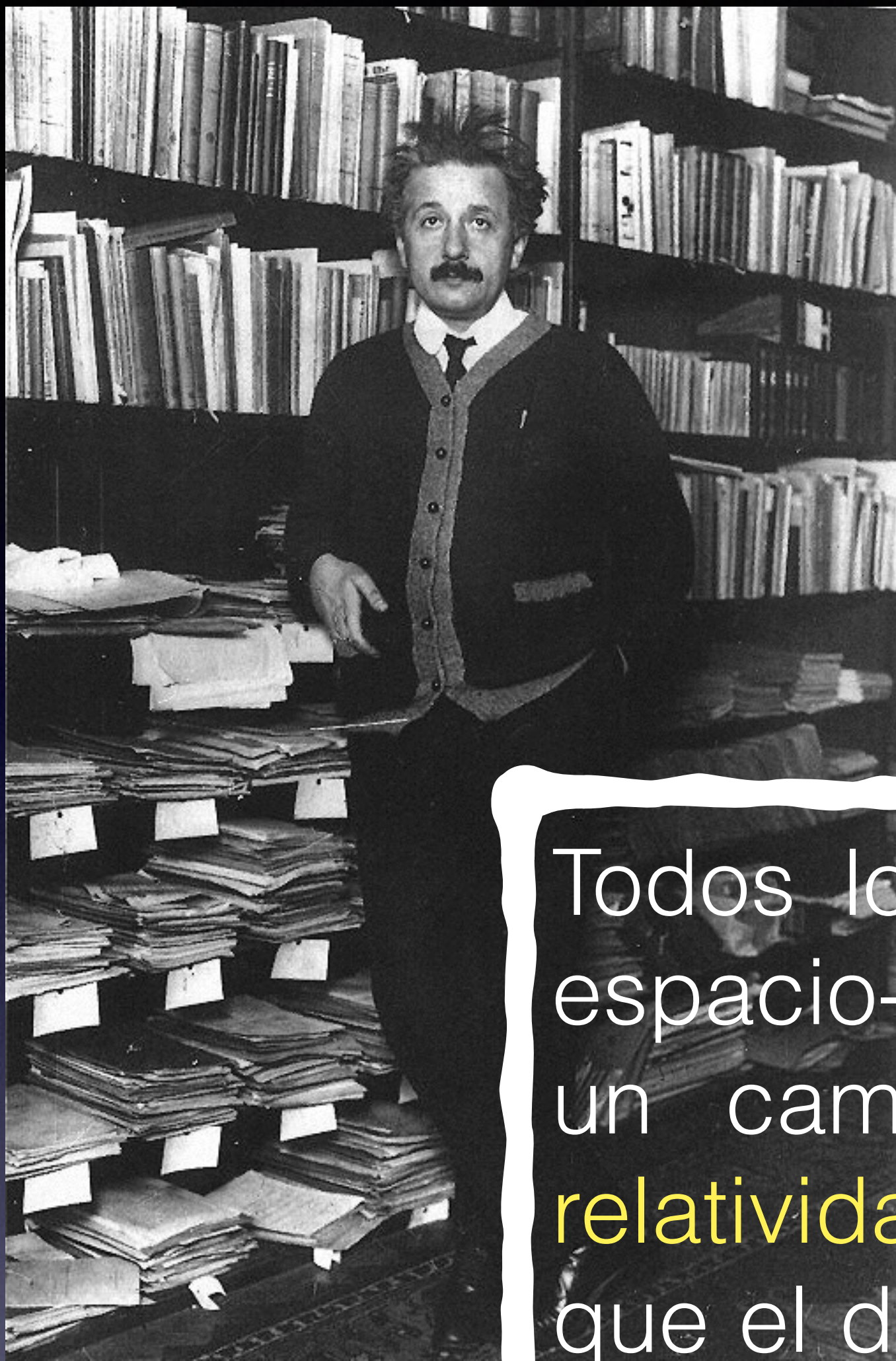




bariones



mesones



Einstein

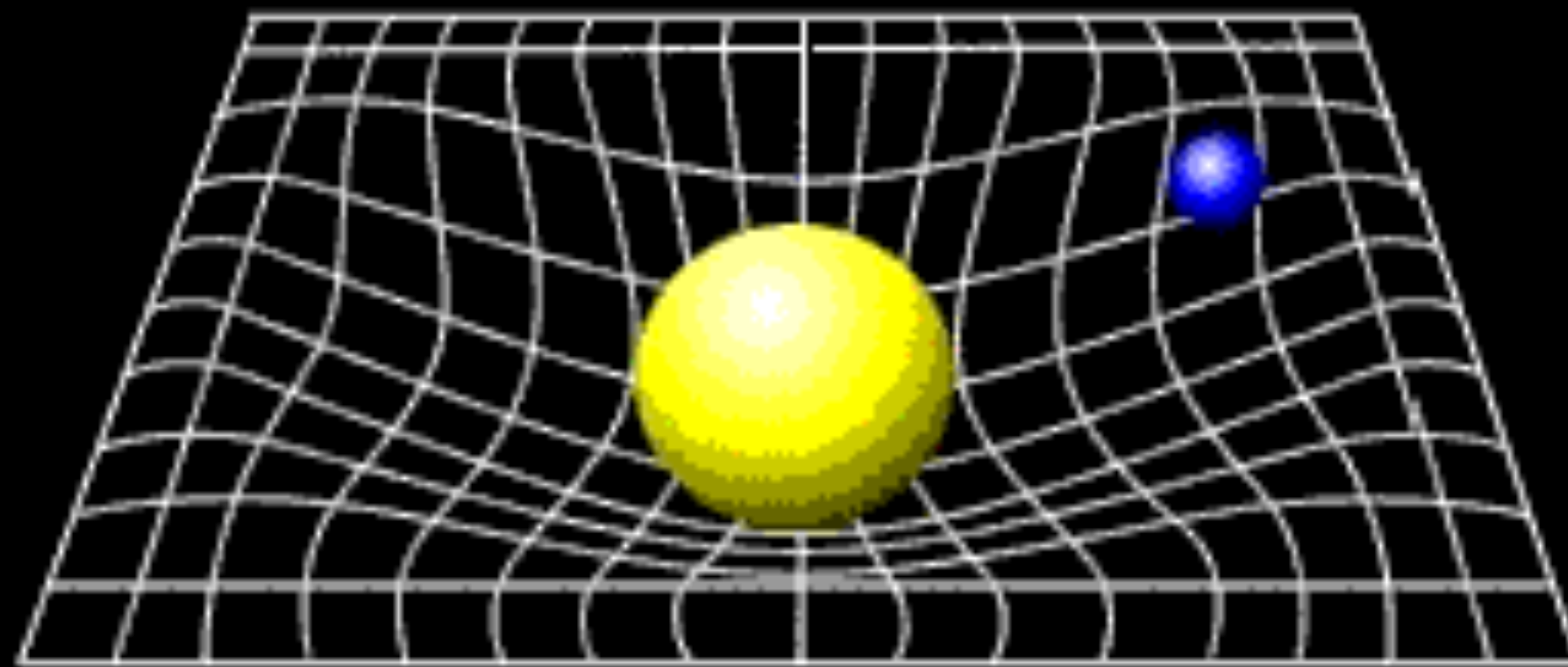


W. de Sitter

Todos los campos del modelo estándar existen sobre el espacio-tiempo. Pero el espacio-tiempo mismo parece ser un campo, de acuerdo con la **teoría general de la relatividad**. Su carácter, sin embargo, es más fundamental que el de los demás campos, ya que no depende de nada más, pudiendo existir en ausencia de otras formas de materia, como mostró **Willem de Sitter** en 1917.

El espacio-tiempo interactúa con los demás campos, pero no sabemos como cuantizarlo.

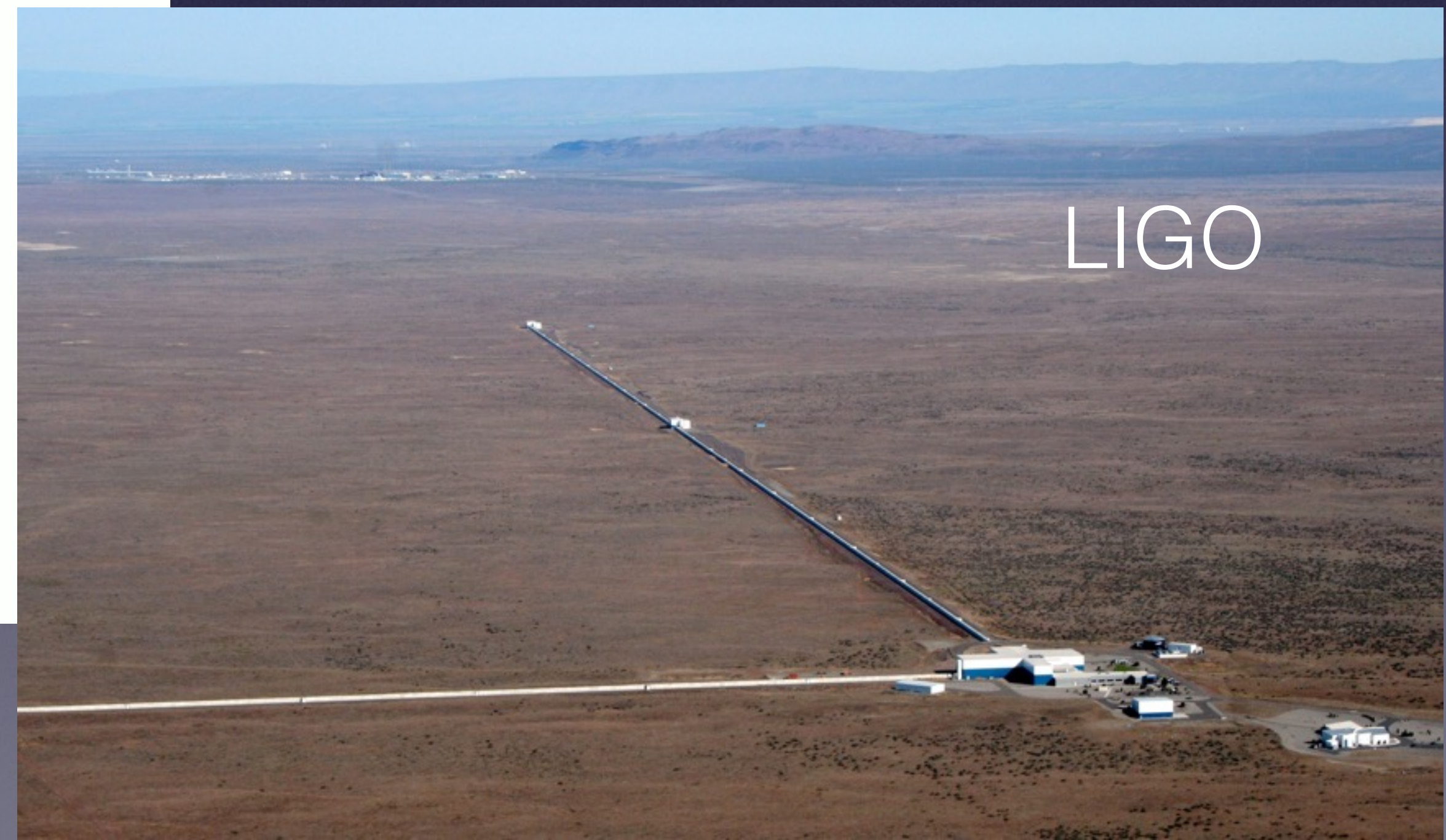
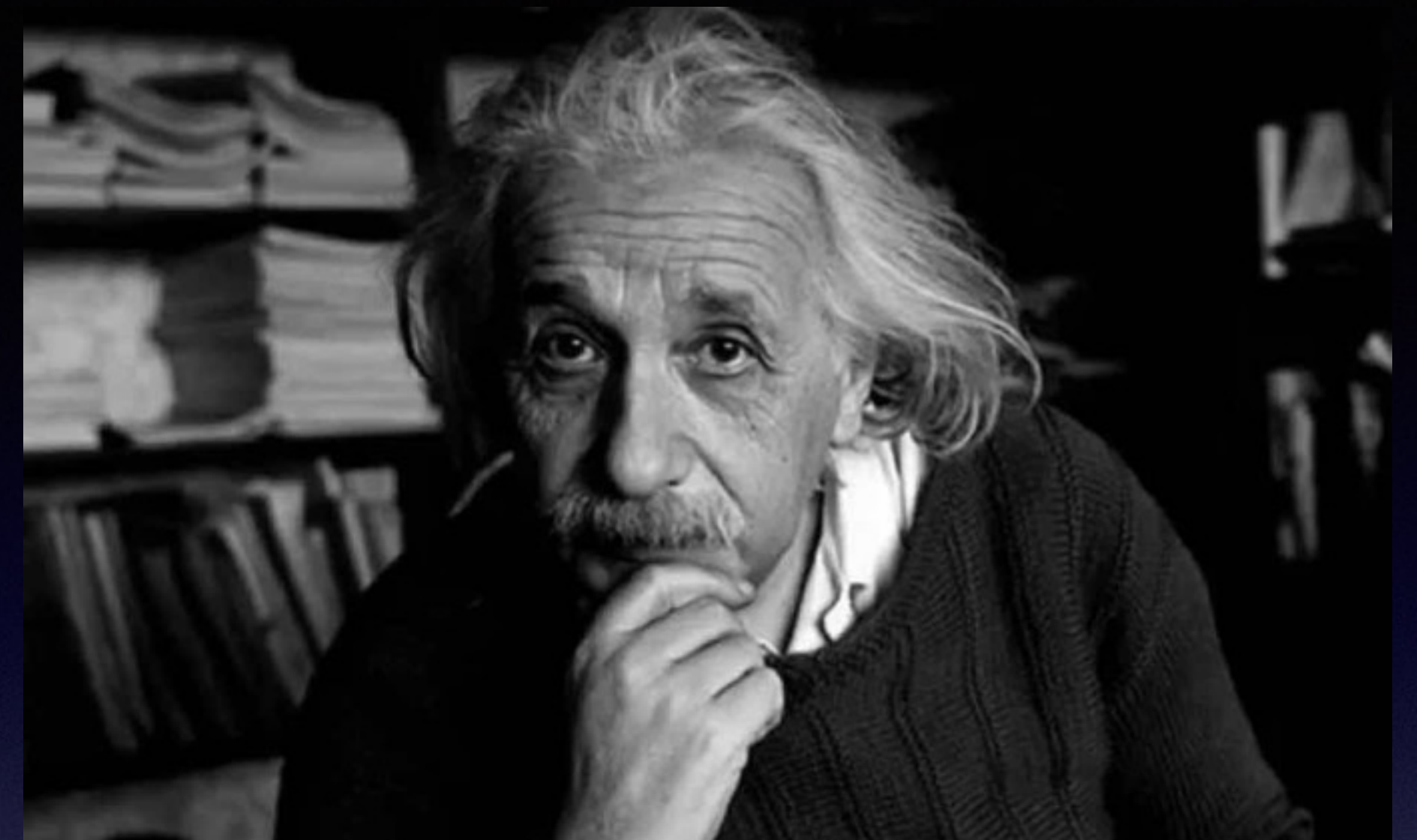
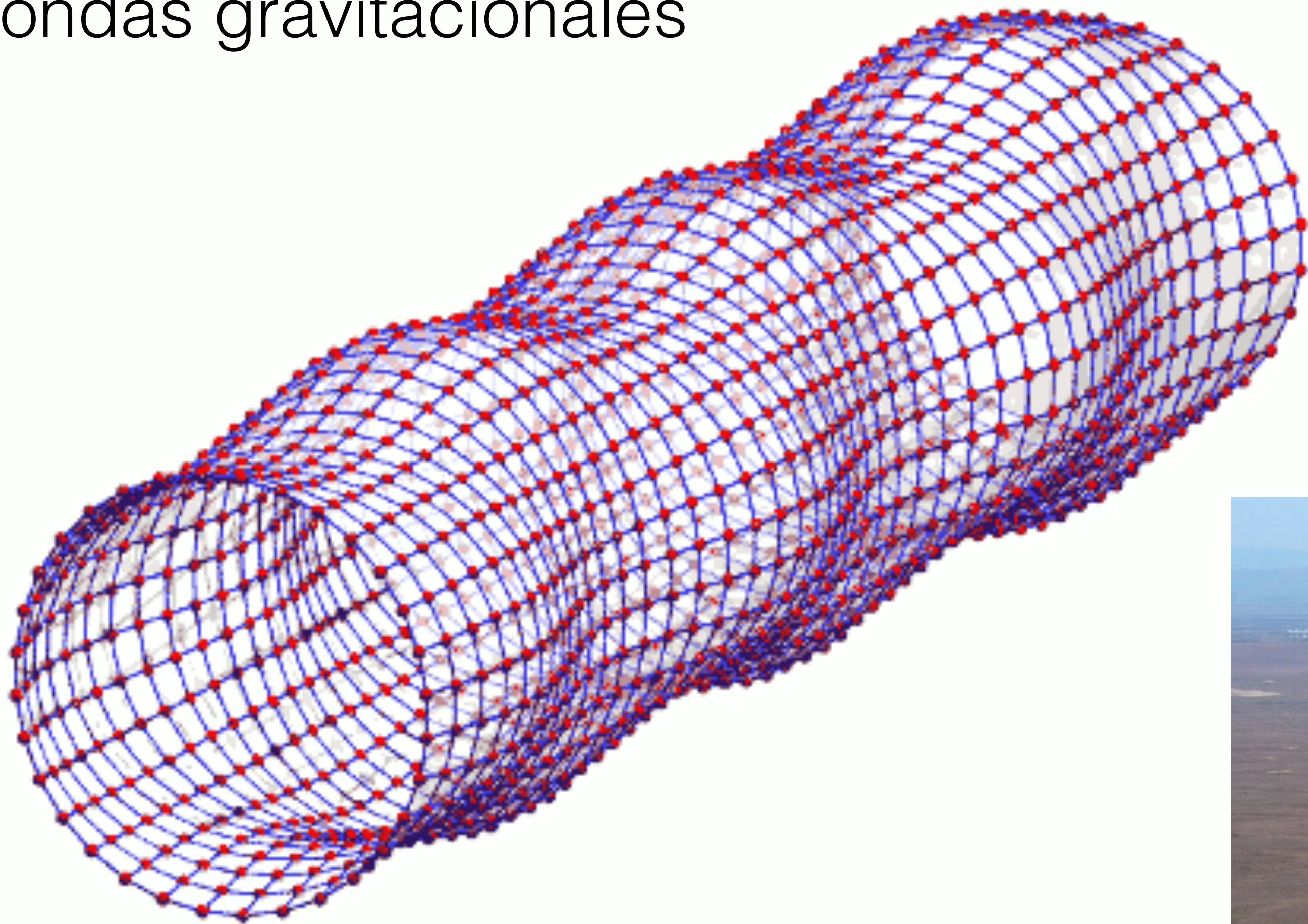
La interacción del espacio-tiempo con la materia resulta en lo que llamamos gravitación



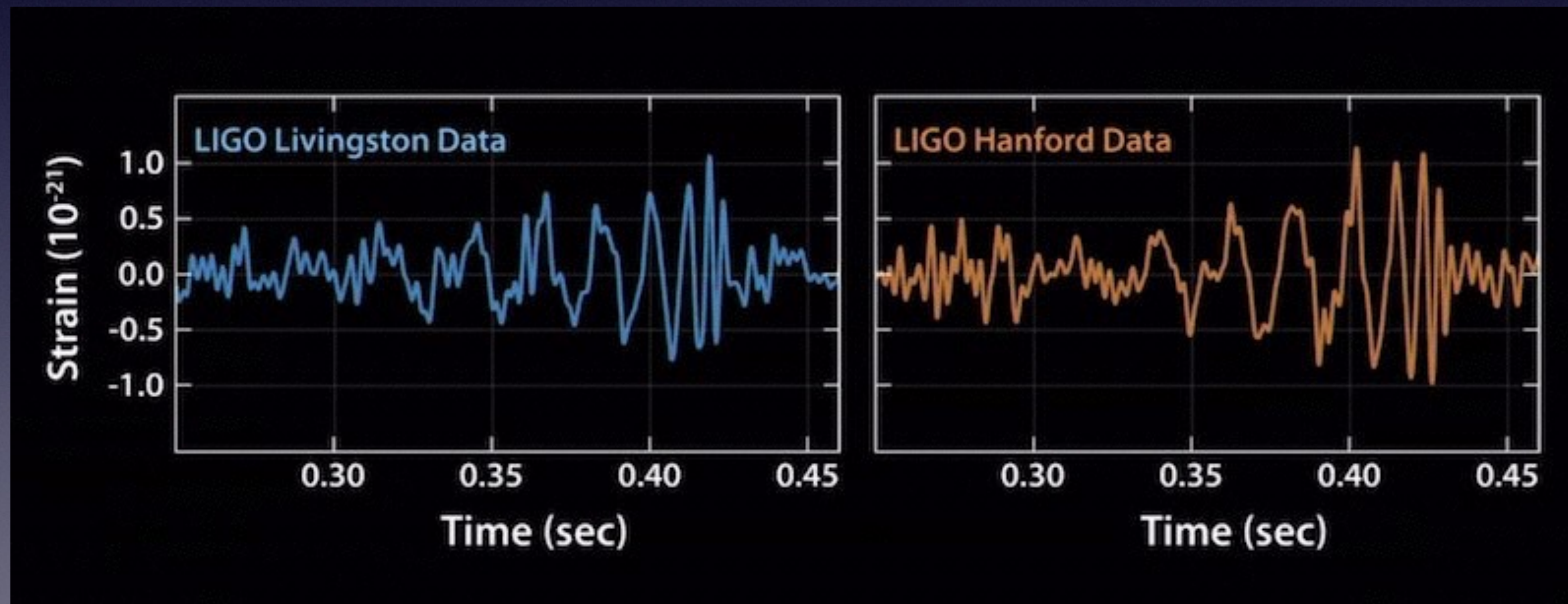


Desviación de luz por curvatura
del espacio-tiempo.

ondas gravitacionales

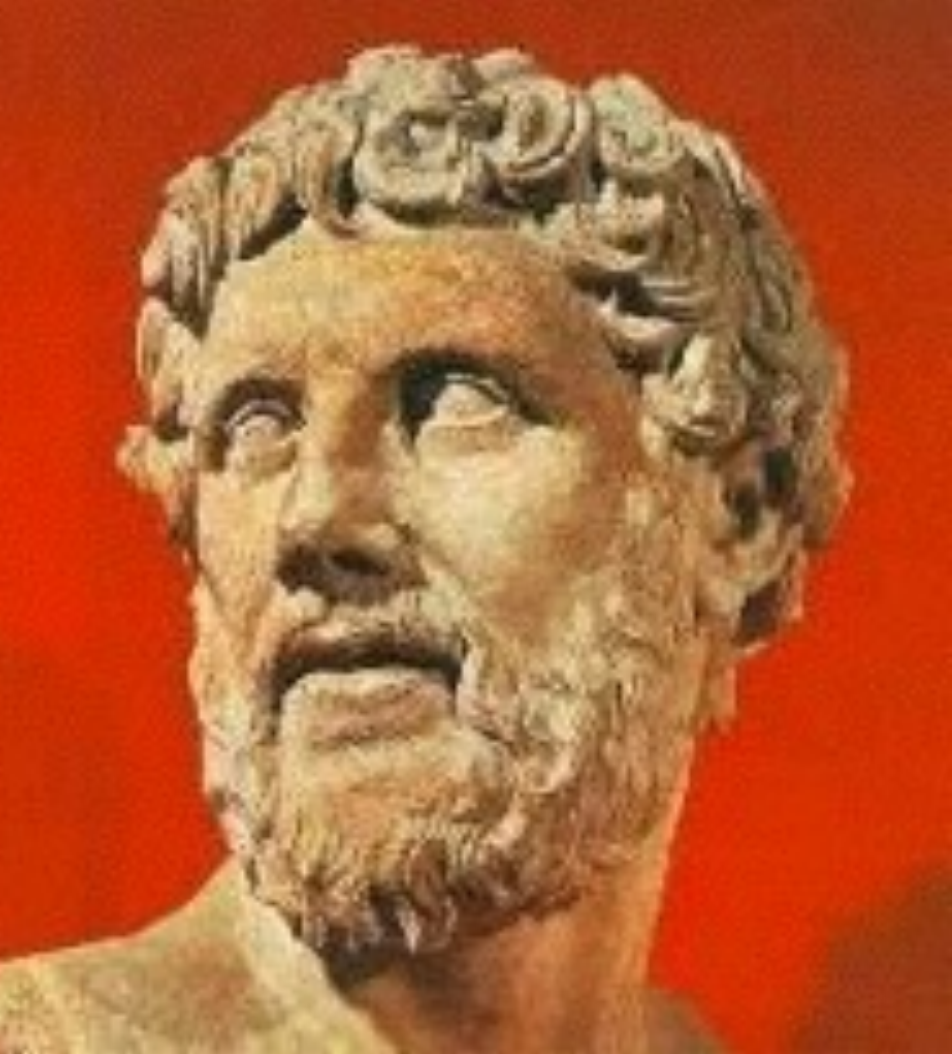


La activación de los detectores de LIGO por ondas gravitacionales generadas hace más de mil millones de años muestran que el espacio-tiempo es un campo con energía, o sea que es material.

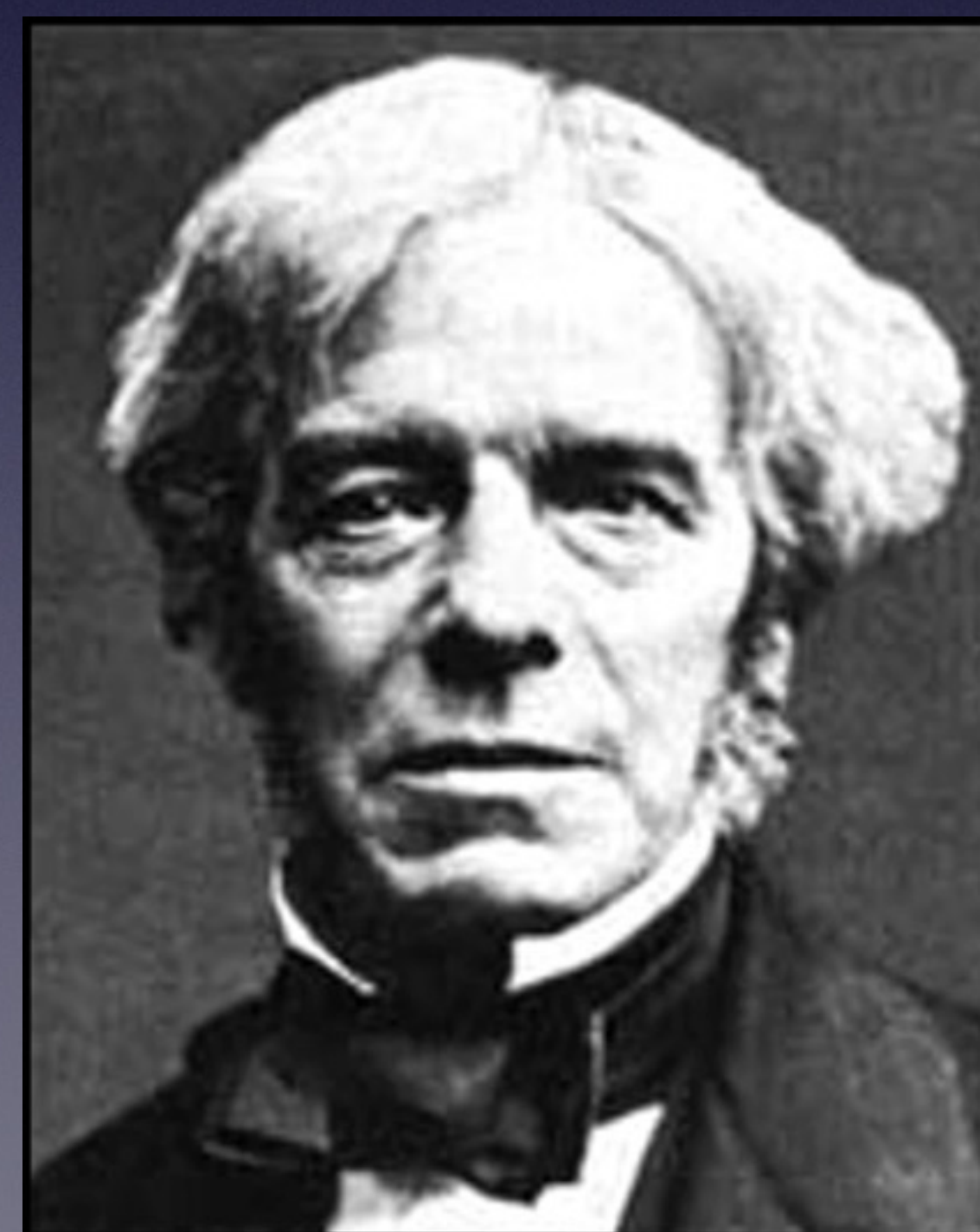
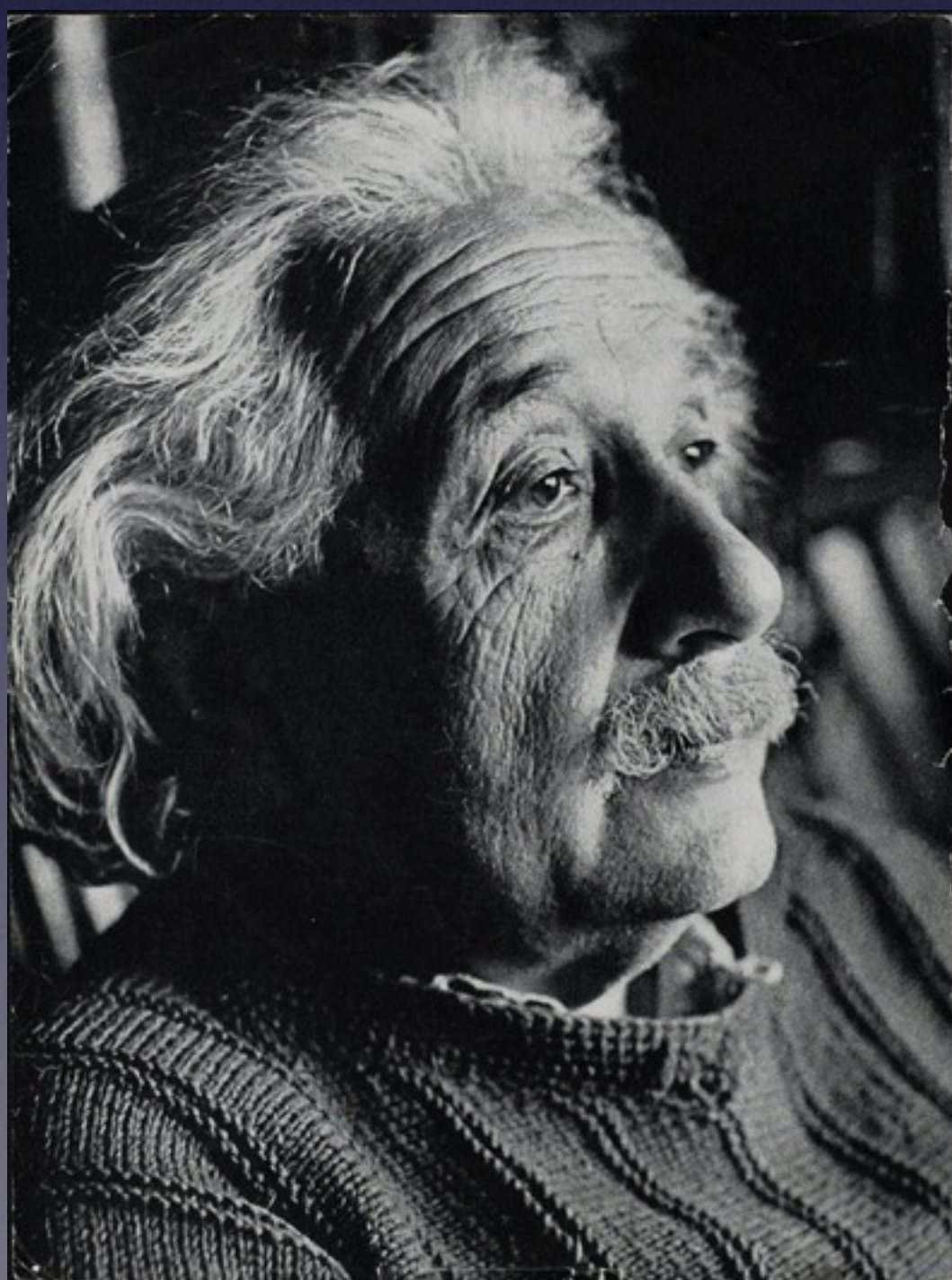


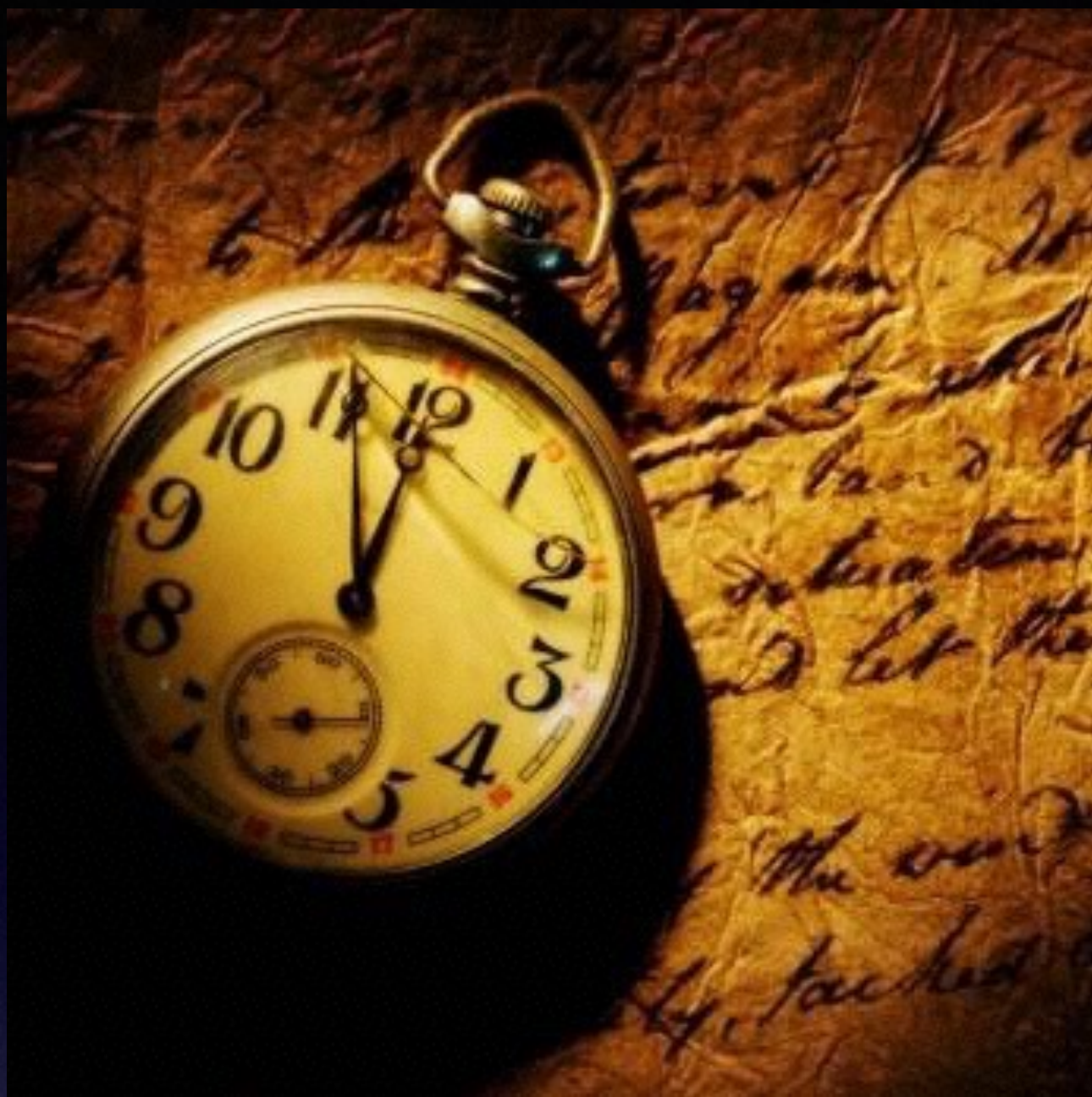
Conclusiones: ¿de qué está hecho el mundo?

- El mundo está hecho de campos cuánticos y de espacio-tiempo.
- Los campos cuánticos admiten excitaciones discretas que llamamos partículas.
- Los campos cuánticos existen sobre el espacio-tiempo.
- El espacio-tiempo tal vez sea también un campo cuántico, pero de naturaleza diferente a los otros, ya que no depende de un campo externo.
- Acaso todo emerja de entidades más básicas, a escalas menores que la de Planck. Si eso es así, esas entidades no deberían ser espacio-temporales. Ver Romero, G.E. *Philosophia* (2016) 44: 607 (“A Formal Ontological Theory Based on Timeless Events”).



¿Campos o átomos?
Ninguno de los dos:
Campos cuánticos





¡Gracias!