GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD

Madrid 18 de mayo 2018

CEM CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA

8º SEMINARIO INTERCONGRESOS DE METROLOGÍA

La Redefinición del SI

El papel de las constantes naturales en la ciencia y su implicación en la revisión del SI

Miguel A. Martin-Delgado

Departamento de Física Teórica I
Facultad de Ciencias Físicas
Universidad Complutense Madrid

mardel@miranda.fis.ucm.es

gicc

gicc

Mi Agradecimiento al *Centro Español de Metrología (CEM),* a *D. José A. Robles, D. Emilio Prieto* por su amable invitación

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD

CEM CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA

inscripción gratuita

mi 8 seminario intercongresos metrología 2018

Revisión del SI. Un sistema diseñado para exactitudes elevadas, invariable en el tiempo y el espacio

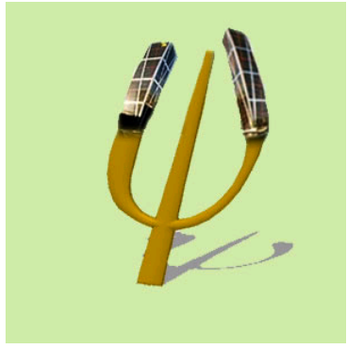
Centro Español de Metrología

18 de mayo de 2018

Tres Cantos - Madrid

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD · CEM CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA

Grupo de Información y Computación Cuánticas
Universidad Complutense de Madrid



http://www.ucm.es/info/giccucm/

Curso de Master en Fisica Fundamental
Información Cuántica y Computación Cuántica

SPONSORS

PICC: The Physics of Ion Coulomb Crystals

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME

QUITEMAD

La Suma de Todos

CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

mid
www.madrimasd.org

UNION EUROPEA
FONDO SOCIAL EUROPEO

VNIVERSITAS COMPLVTENSIS MATRITENSIS

Santander

QUITEMAD

QUantum Information TEchnologies MADrid

La Suma de Todos

CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

www.madrimasd.org

UNION EUROPEA
FONDO SOCIAL EUROPEO

ÍNDICE

I) El Nuevo SI de Unidades y las Ctes. Fundamentales

II) Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza

- c Velocidad de la Luz
- h Planck
- k Boltzmann
- e Carga Eléctrica del Electrón
- N_{A} Constante de Avogadro
- K_{cd} Eficacia Luminosa

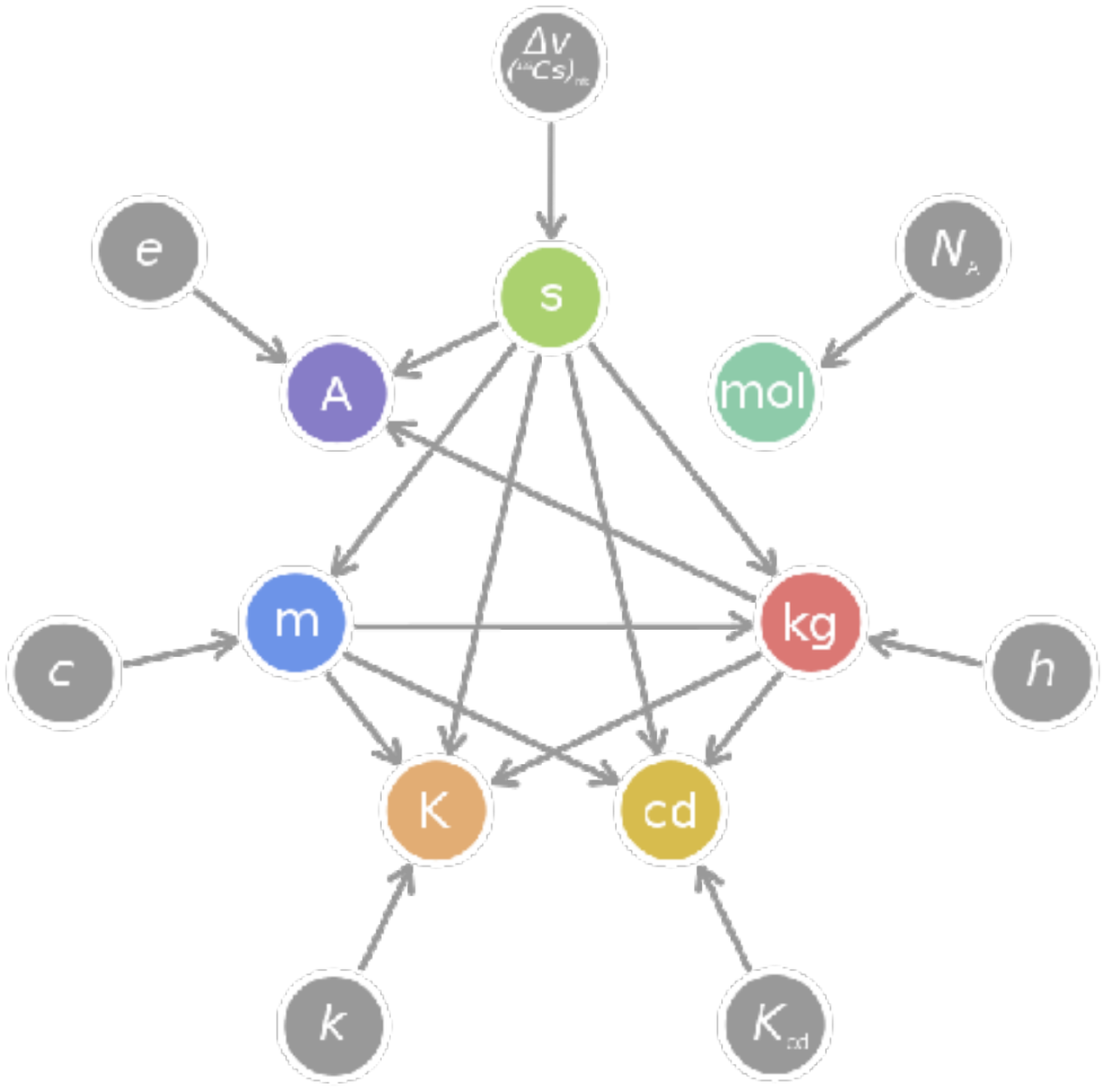
III) El Origen de las Dimensiones Físicas

IV) Una Anomalía Gravitacional en el SI

V) Conclusiones

I. El Nuevo SI de Unidades y las Ctes. Fundamentales.

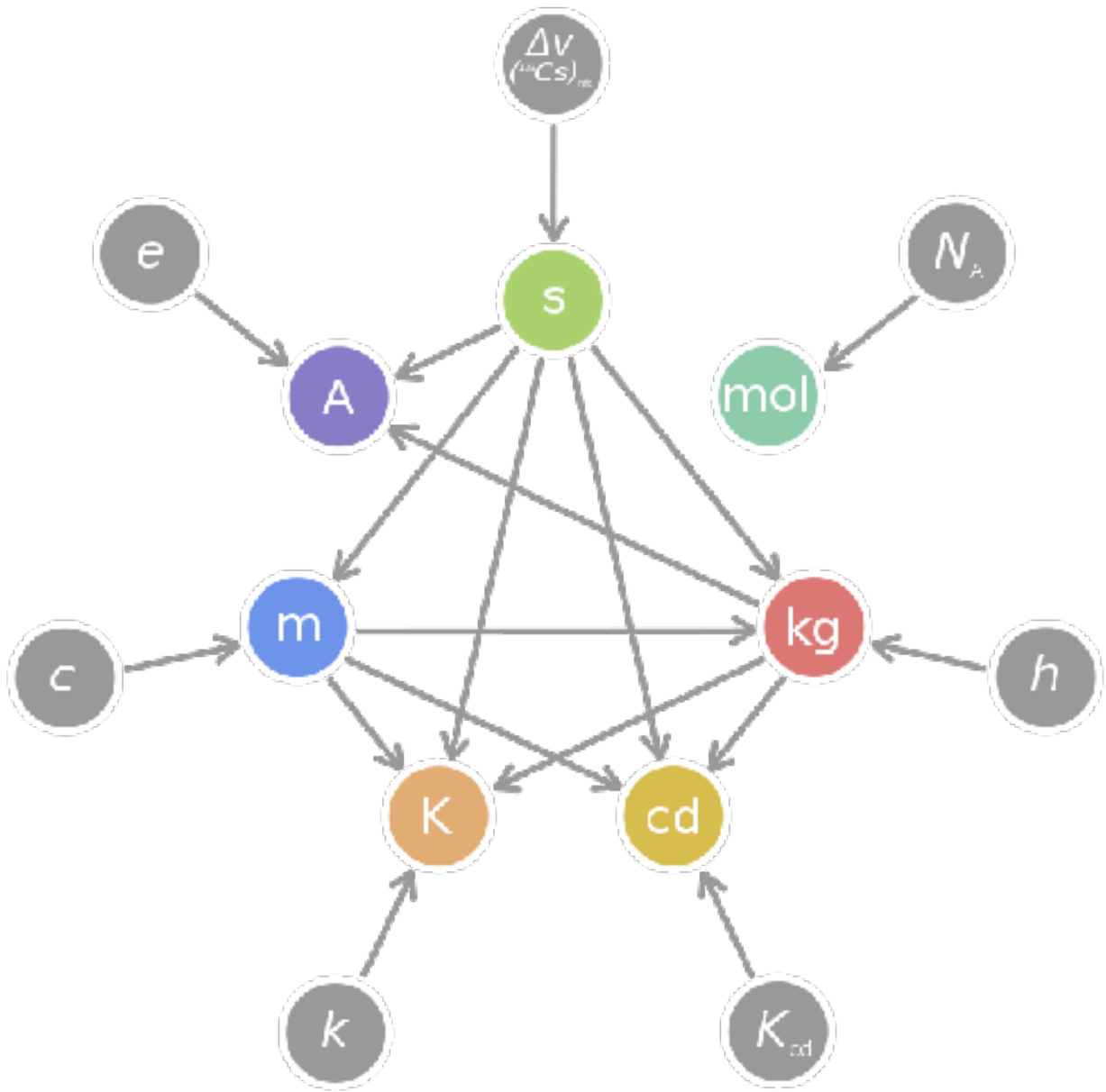
El próximo Sistema Internacional (SI) supondrá una gran revolución pues se pretende definir las unidades físicas en términos de 5 constantes fundamentales



EL SUEÑO DE LA FÍSICA HECHO REALIDAD

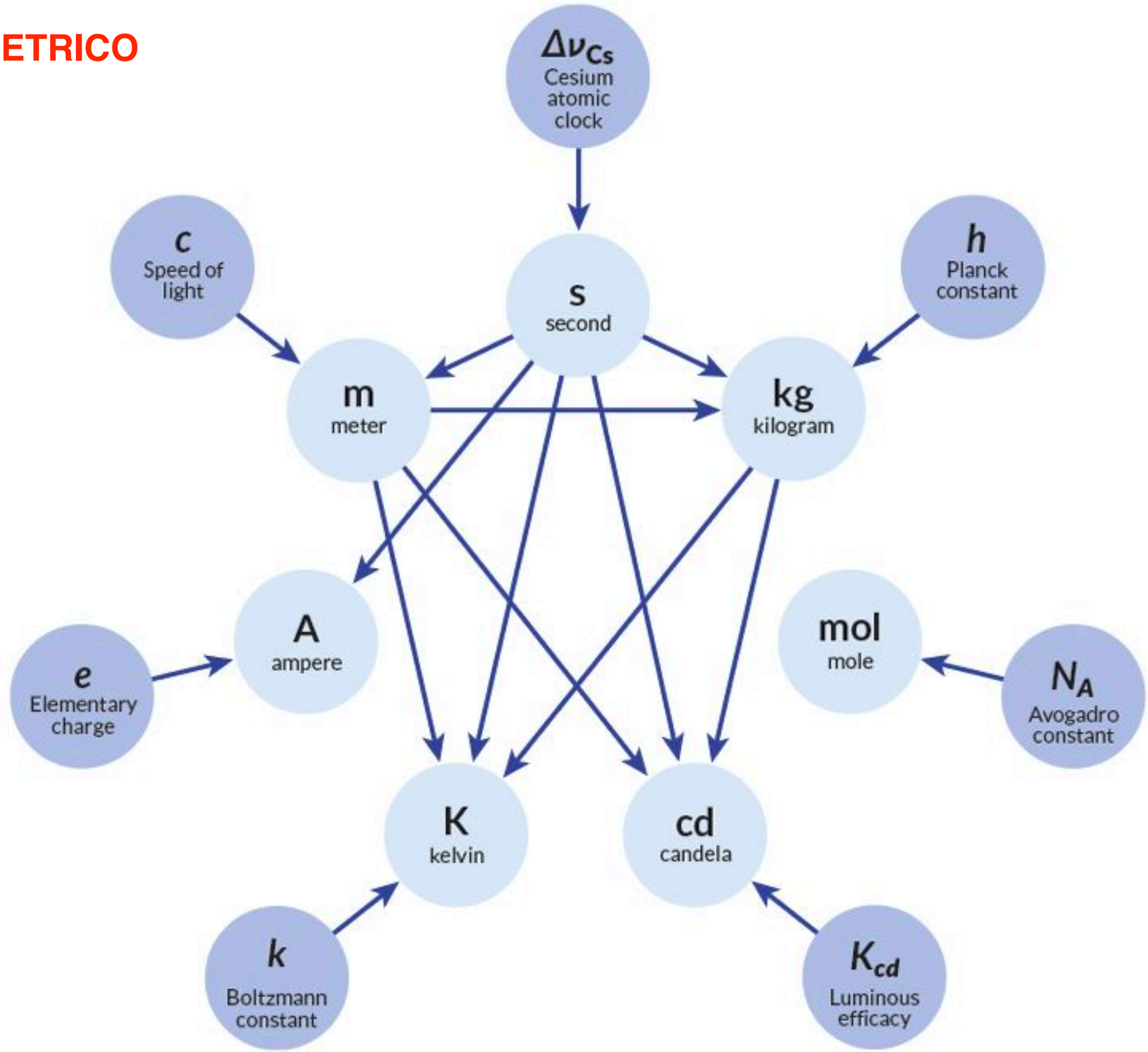
I. El Nuevo SI de Unidades y las Ctes. Fundamentales.

Para el año 2018, los científicos quieren que todas las unidades de base físicas se basen en constantes fundamentales sólidas e inmutables. Las unidades "metro" y "segundo" están muy por delante de lo previsto; el kelvin, el kilogramo y el amperio son los siguientes en la fila.



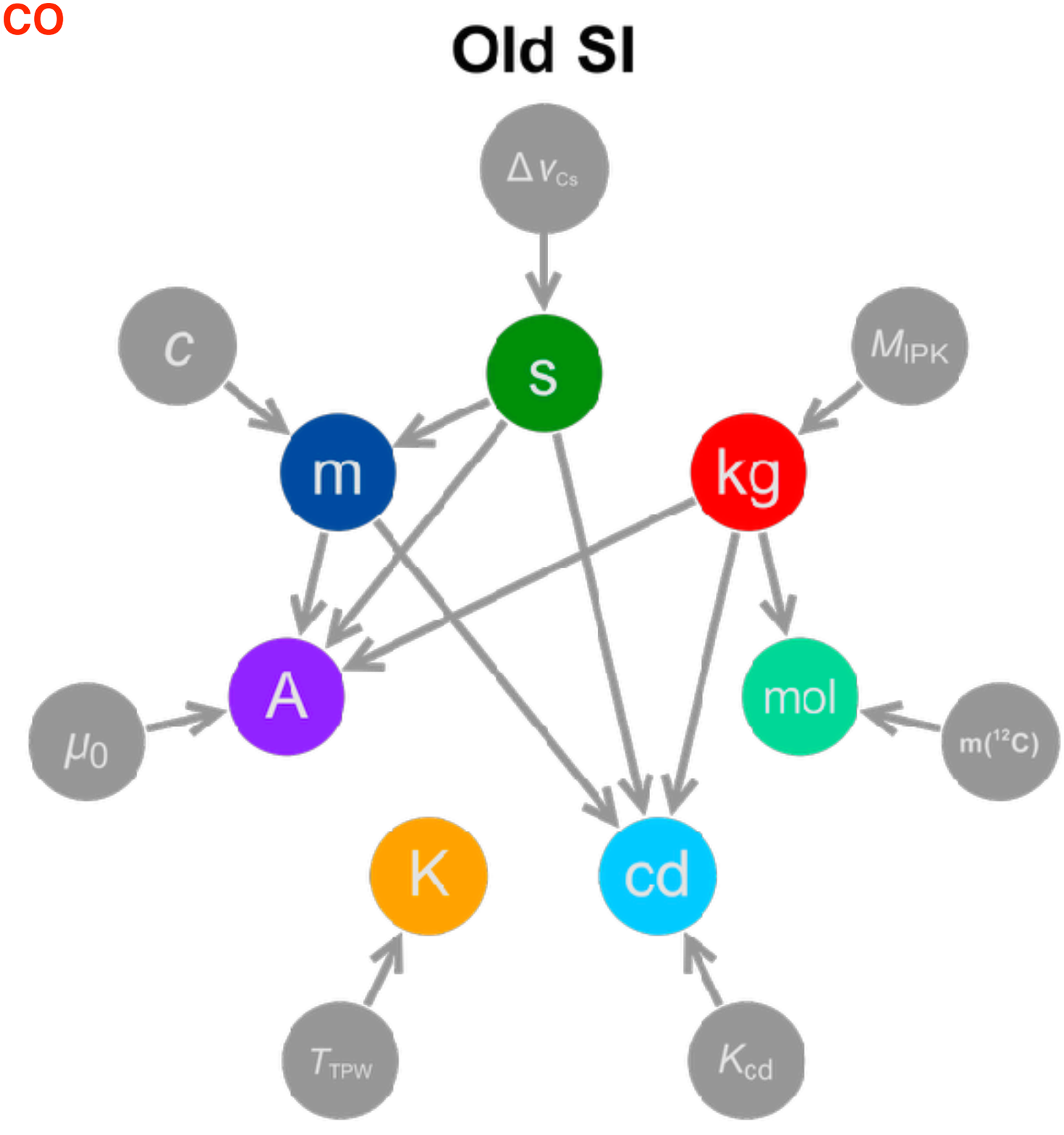
1. El Nuevo SI de Unidades y las Ctes. Fundamentales.

MAS SIMETRICO



1. El Nuevo SI de Unidades y las Ctes. Fundamentales.

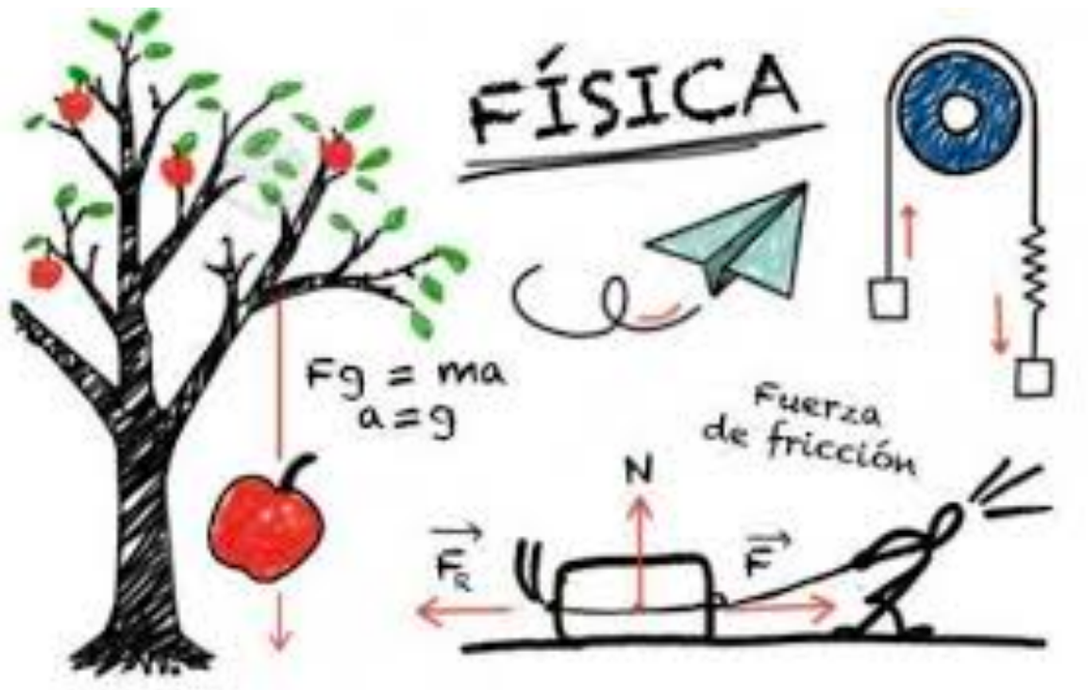
MENOS SIMETRICO



1. El Nuevo SI de Unidades y las Ctes. Fundamentales.

DIFERENCIA: En Física las unidades son imprescindibles, en Matemáticas no

FÍSICA ⟷ MATEMÁTICAS

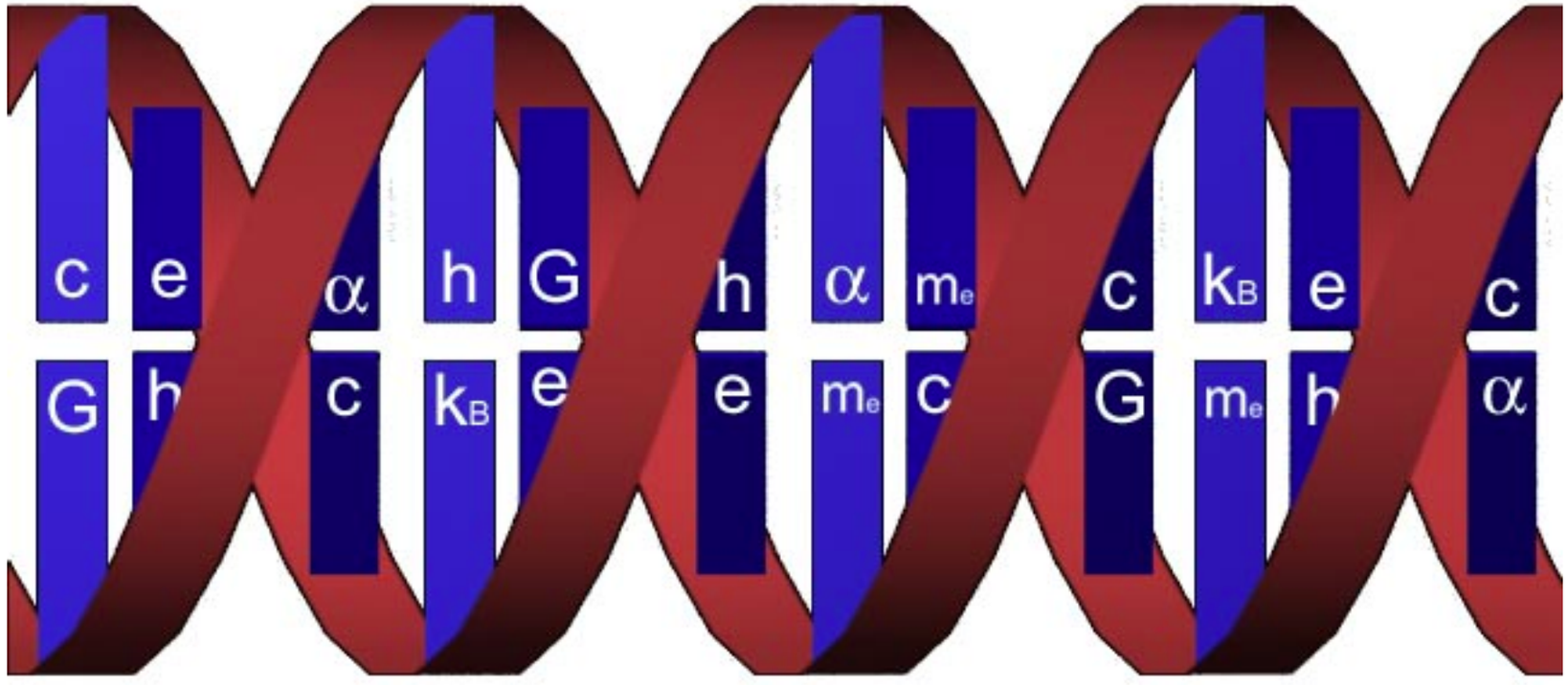


1. El Nuevo SI de Unidades y las Ctes. Fundamentales.

Ctes. Fundamentales ⟷ **Leyes Físicas Fundamentales**

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

DETRAS DE CADA CONSTANTE FUNDAMENTAL HAY UNA DE LAS TEORIAS FUNDAMENTALES DE LA FISICA



EL ADN DEL UNIVERSO

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

DETRAS DE CADA CONSTANTE FUNDAMENTAL HAY UNA DE LAS TEORIAS FUNDAMENTALES DE LA FISICA

c Velocidad de la Luz —> TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

h Planck —> MECÁNICA CUÁNTICA

k Boltzmann —> MECÁNICA ESTADÍSTICA Y TERMODINÁMICA

e Carga Eléctrica del Electrón —> QED (Electrodinámica Cuántica)

N_{A} **Constante de Avogadro —> TEORÍA ATÓMICA**

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

UNA CONSTANTE FUNDAMENTAL/UNIVERSAL
NO ES CALCULABLE NI CONVENCIONAL

CALCULABLE

$\Delta\nu_{\mathrm{Cs}}$ **desdoblamiento hiperfino —> derivado de QED (Electrodinámica Cuántica)**

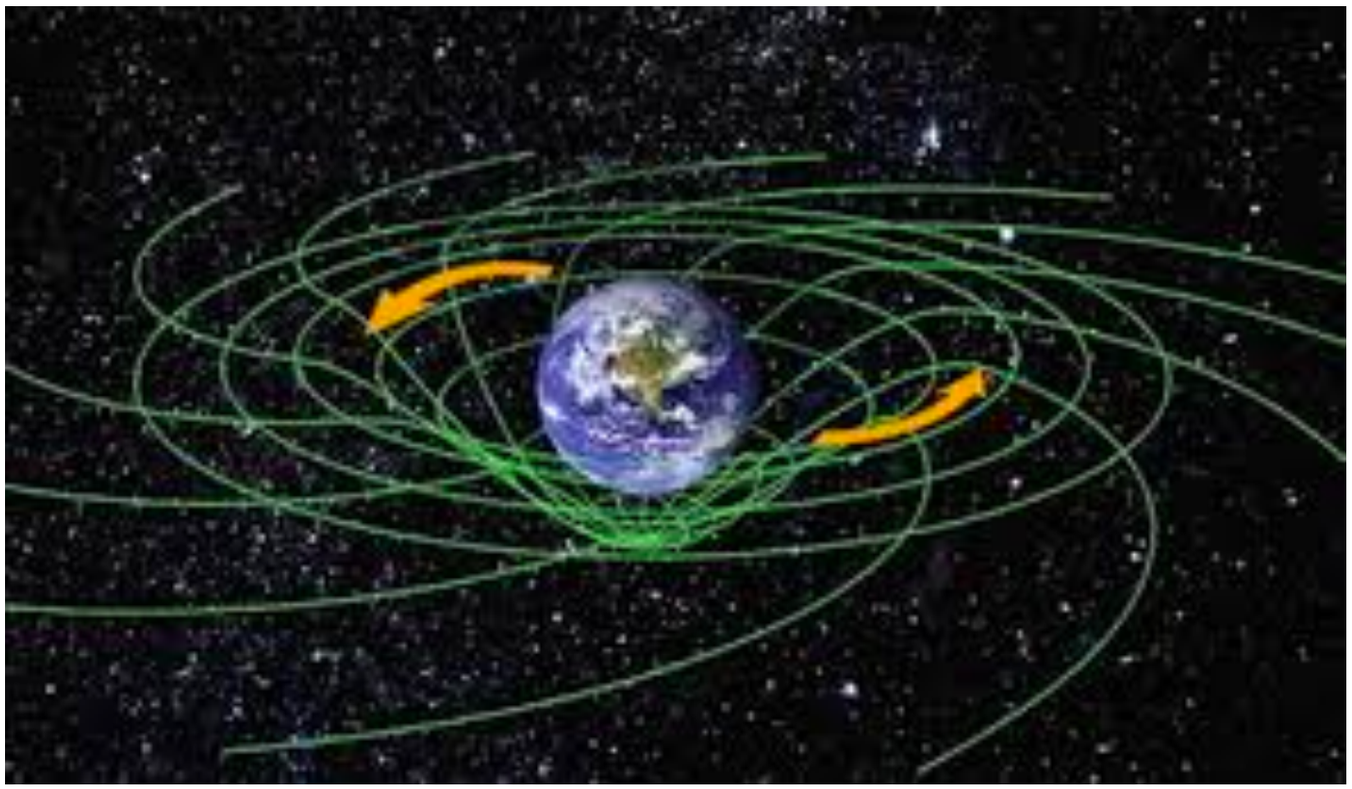
K_{cd} **eficacia luminosa —> No es universal**

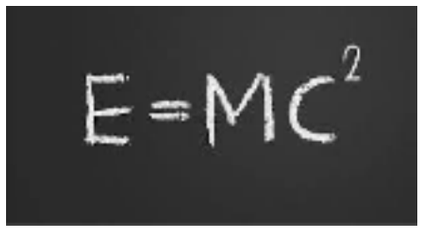
CONVENCIONAL

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

DETRAS DE CADA CONSTANTE NATURAL HAY UNA DE LAS TEORIAS FUNDAMENTALES DE LA FISICA

c Velocidad de la Luz —> TEORÍA DE LA RELATIVIDAD





II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

DETRAS DE CADA CONSTANTE NATURAL HAY UNA DE LAS TEORIAS FUNDAMENTALES DE LA FISICA

h Planck —> MECÁNICA CUÁNTICA

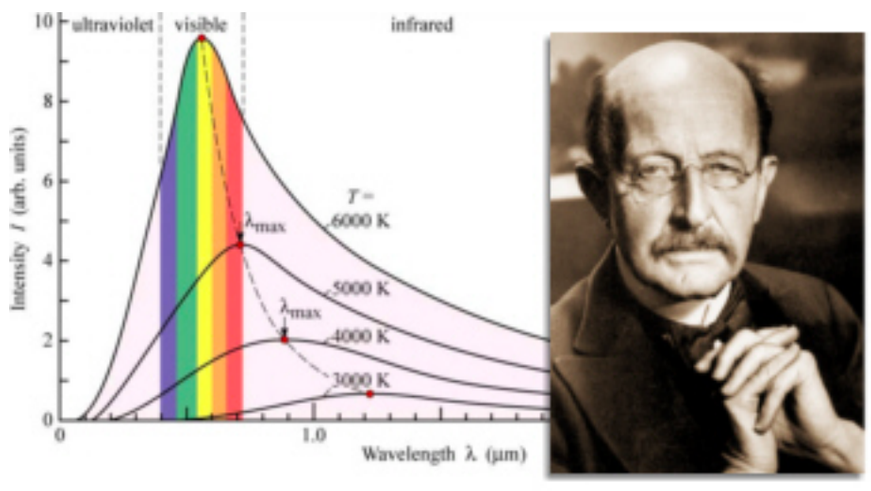
$$E(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{K_B T}} - 1} h\nu$$

Frecuencia de la radiación

Constante de Planck

Constante de Boltzmann

Temperatura del cuerpo negro



$E = h\nu$ Energía cuántica de un fotón.

frecuencia de radiación escrita a veces como f, dando la expresión E = hf.

h = constante de Planck = 6,626 x 10^{-34} Julios · seg = 4,136 x 10^{-15} eV · s

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

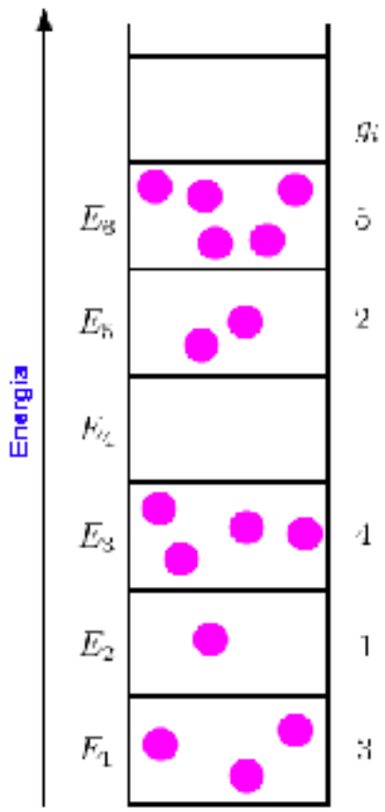
DETRAS DE CADA CONSTANTE NATURAL HAY UNA DE LAS TEORIAS FUNDAMENTALES DE LA FISICA

k Boltzmann —> MECÁNICA ESTADÍSTICA Y TERMODINÁMICA

$$\mathrm{F_{MB}} = \frac{1}{e^{\alpha} e^{E/kT}}$$

$$\mathrm{F_{FD}} = \frac{1}{e^{-E_F/kT} e^{E/kT} + 1}$$

$$\mathrm{F_{BE}} = \frac{1}{e^{\alpha} e^{E/kT} - 1}$$



II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

DETRAS DE CADA CONSTANTE NATURAL HAY UNA DE LAS TEORIAS FUNDAMENTALES DE LA FISICA

N_A **Constante de Avogadro —> TEORÍA ATÓMICA**

Partículas en un Mol

Número de Avogadro

Amadeo Avogadro
1776-1856

$6.02214199 \times 10^{23}$

Hay un número de Avogadro de partículas en un mol de cualquier sustancia.

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

Una medida que mostrara que una constante fundamental varía en el tiempo sería una firma clara de la nueva física, una posibilidad emocionante.

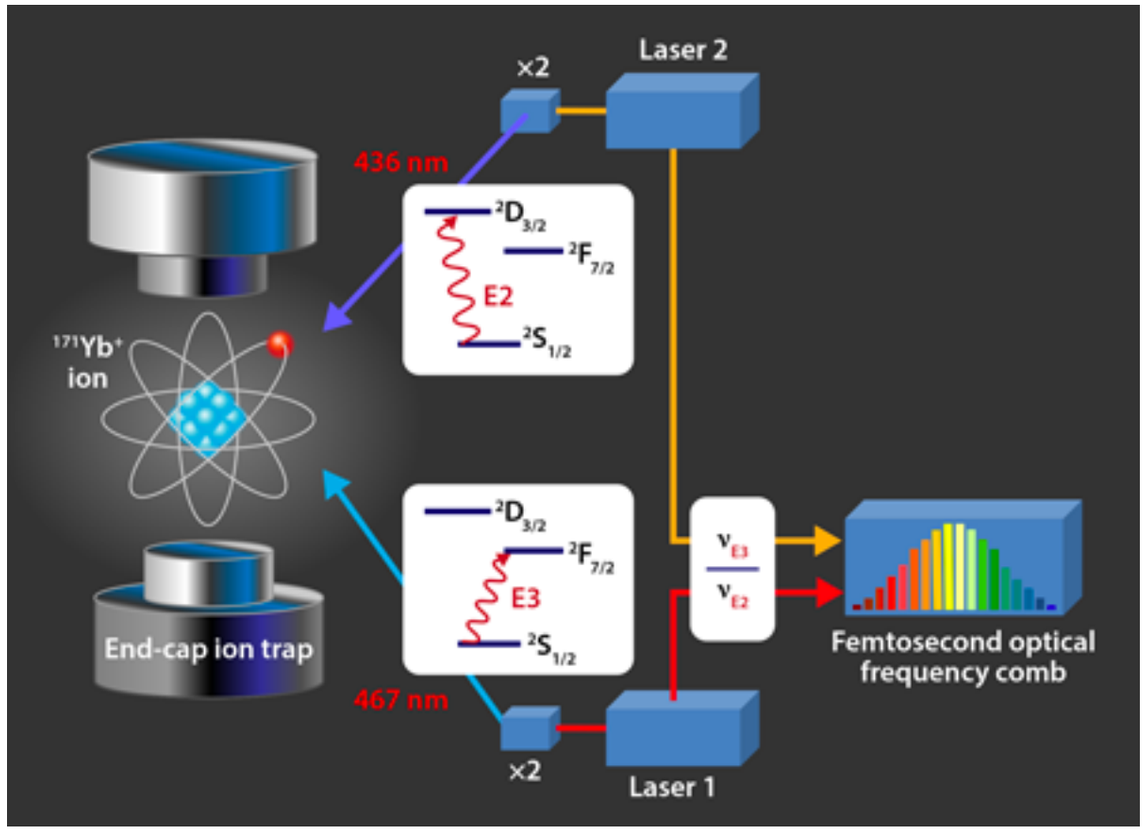
Sin embargo, un resultado nulo, como el informado por los grupos NPL y PTB, también es de crucial importancia: nos da confianza de que nuestros dispositivos de medición no dependen del espacio ni del tiempo, al menos dentro de la precisión de los experimentos actuales.

Violación de Simetrías de la Naturaleza

Variación de las Constantes Fundamentales

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

Una medida que mostrara que una constante fundamental varía en el tiempo sería una firma clara de la nueva física, una posibilidad emocionante.



Schematic experimental arrangement for measuring the “E2” and “E3” clock frequencies of a single 171Yb+ ion. The E3/E2 frequency ratio was determined by stabilizing one laser to the E3 transition and the other laser to the E2 transition and measuring the ratio between the laser frequencies with an optical frequency comb. (For experimental reasons, the researchers used infrared lasers that have to be frequency doubled to excite the E2 and E3 optical transitions.)

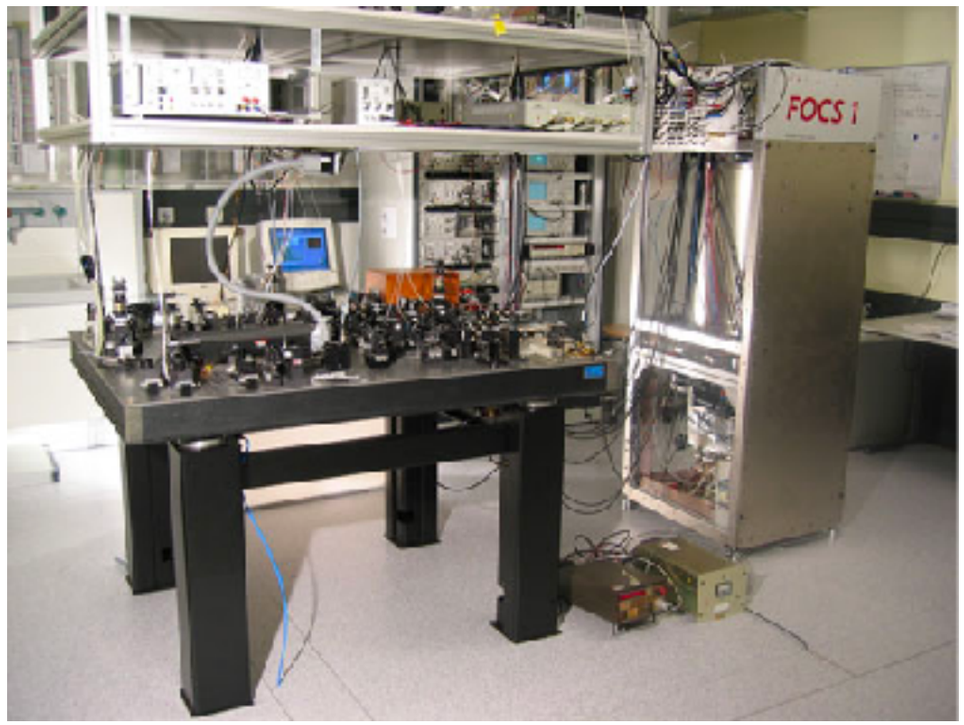
II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

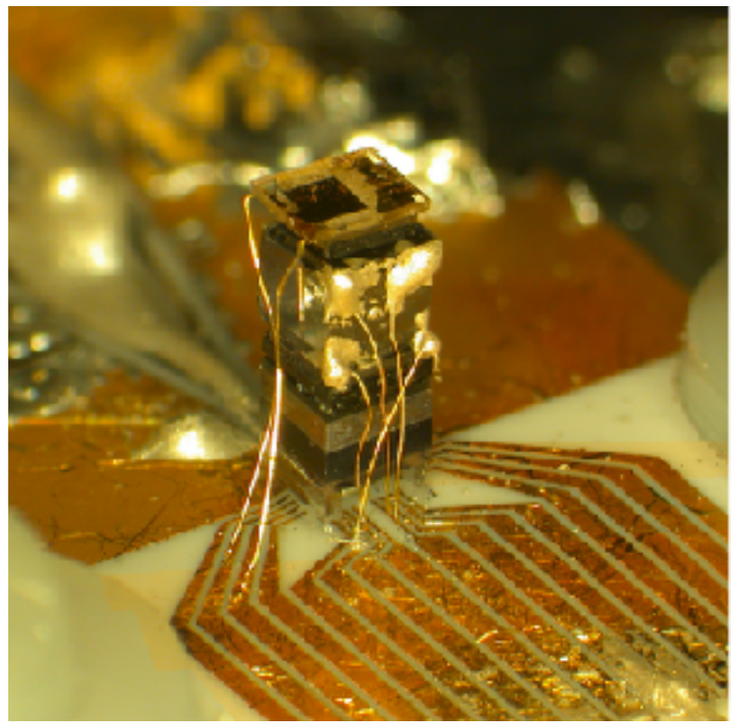
El segundo

Detrás de su definición está una constante:
una de las frecuencias de desintegración del Cs-133

El segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.

Se deduce que la división hiperfina en el estado fundamental del átomo de cesio 133 es exactamente 9 192 631 770 hertzios, nu (hfs Cs) = 9 192 631 770 Hz.



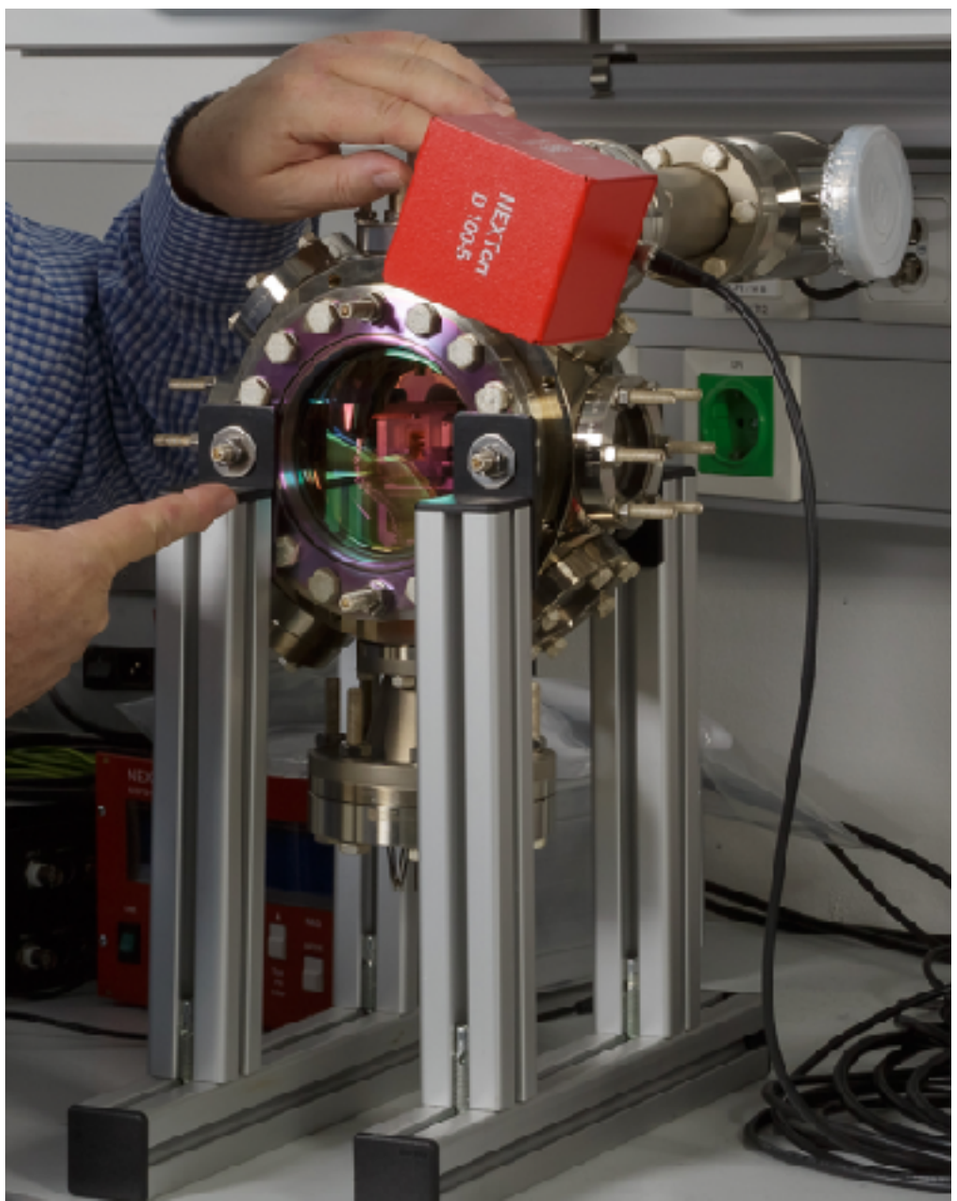


II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

El segundo

Detrás de su definición está una constante:
una de las frecuencias de desintegración del Cs

Reloj Cuántico-Lógico



Precisión

$10^{-17,-18}$s

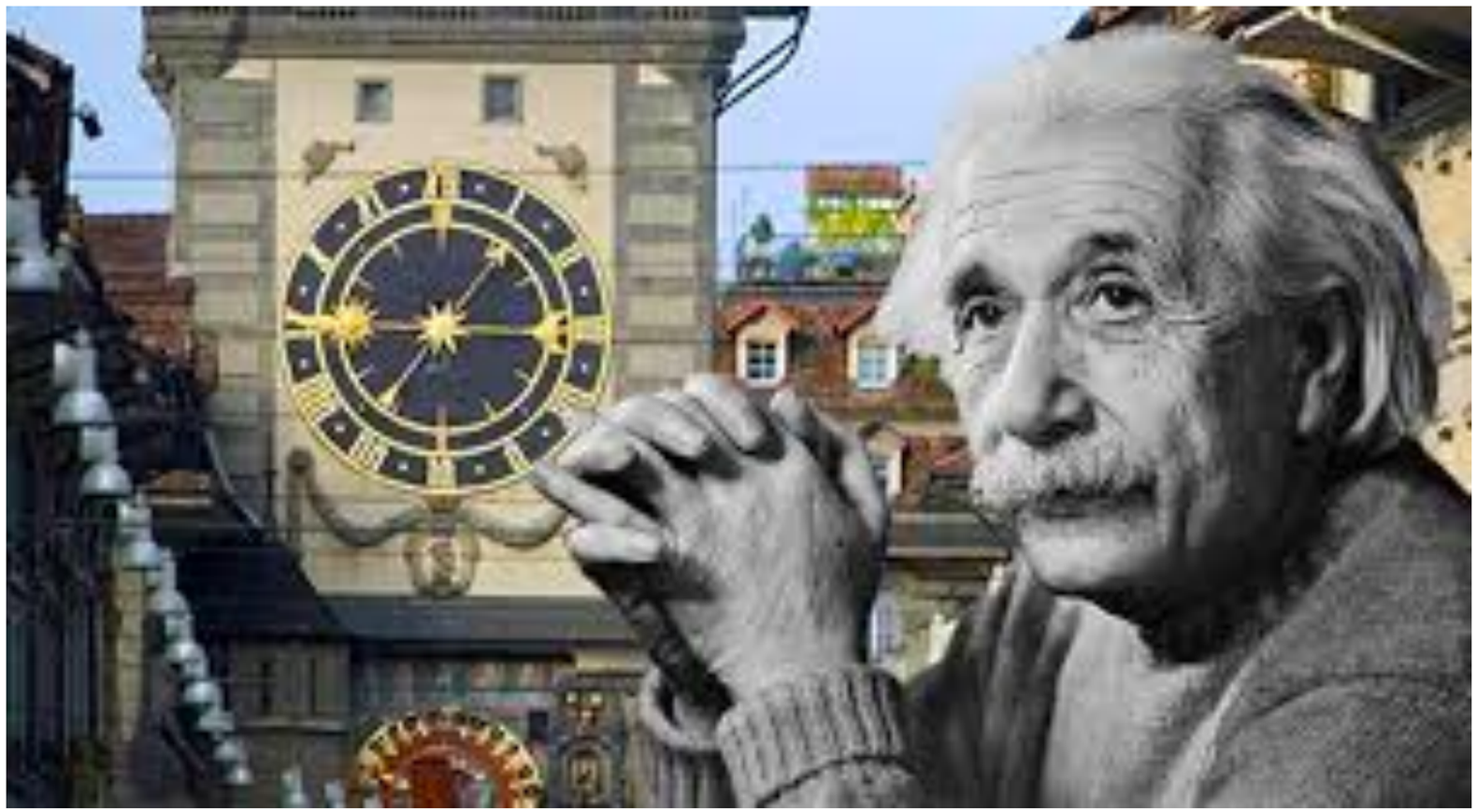
II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

El segundo

Necesitamos un oscilador estable: $\Delta\nu_{\mathrm{Cs}}$ CALCULABLE

desdoblamiento hiperfino —> derivado de QED (Electrodinámica Cuántica)

"¿Qué es el tiempo? Lo que miden los relojes"
Albert Einstein



II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

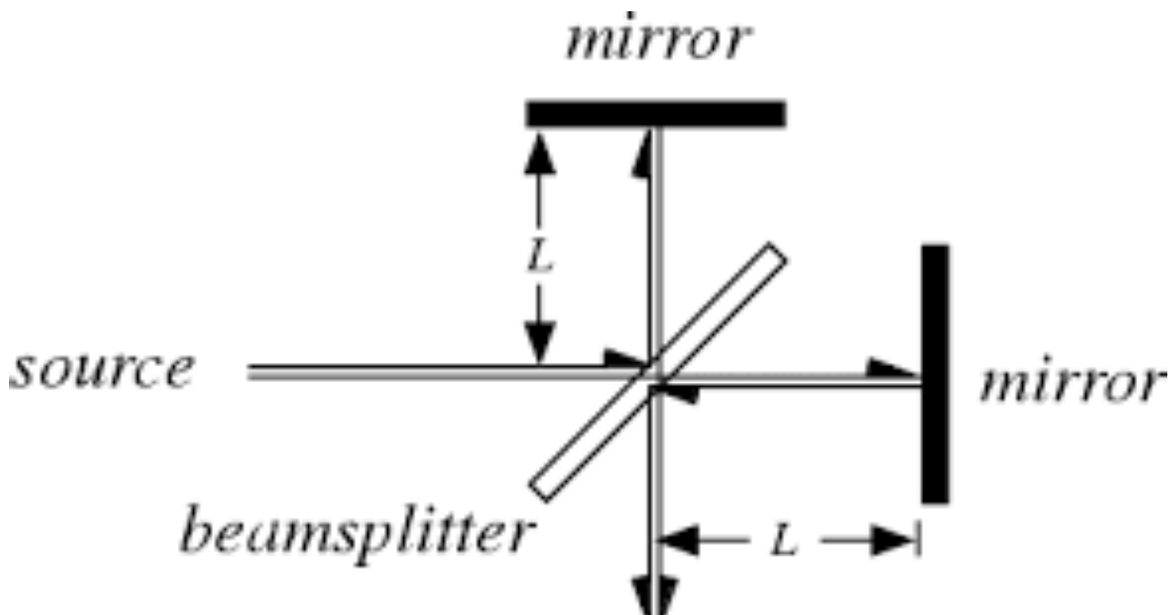
El metro

Detrás de su definición está una ‘constante universal’: la velocidad de la luz c y la Teoría de la Relatividad

El metro es la longitud del camino recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 de segundo.

De ello se deduce que la velocidad de la luz en el vacío es exactamente 299 792 458 metros por segundo, c0 = 299 792 458 m / s.

Después de 1970, el desarrollo de láseres con una estabilidad espectral muy alta y relojes de cesio precisos hizo aún mejores mediciones.

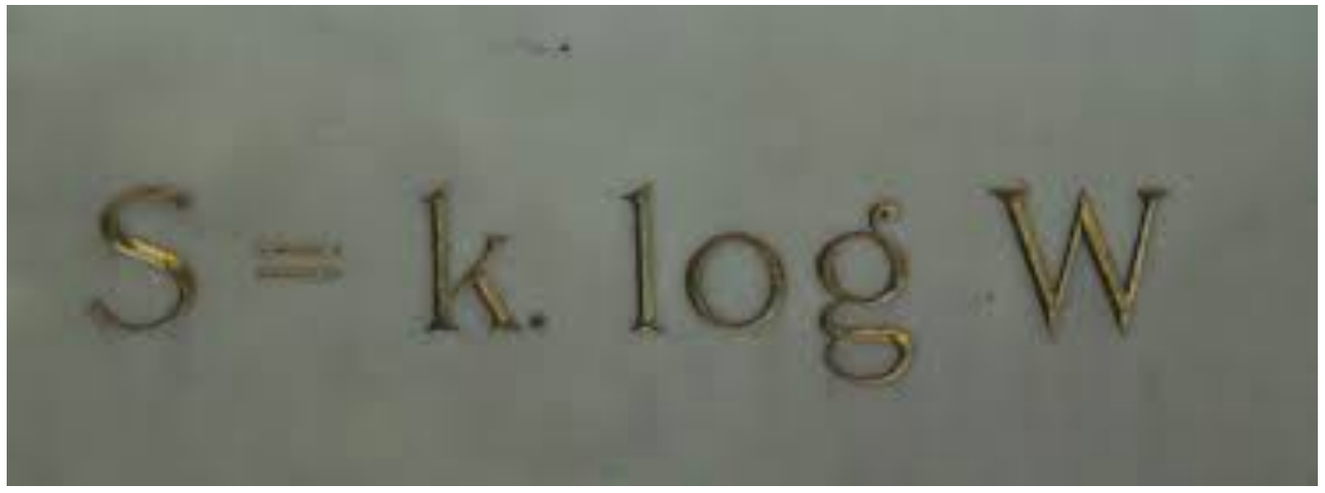


II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

La constante de Boltzmann

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

La constante de Boltzmann



La probabilidad W es el número de estados microscópicos posibles que dan lugar al mismo estado termodinámico.

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

La constante de Boltzmann ...
es de Planck

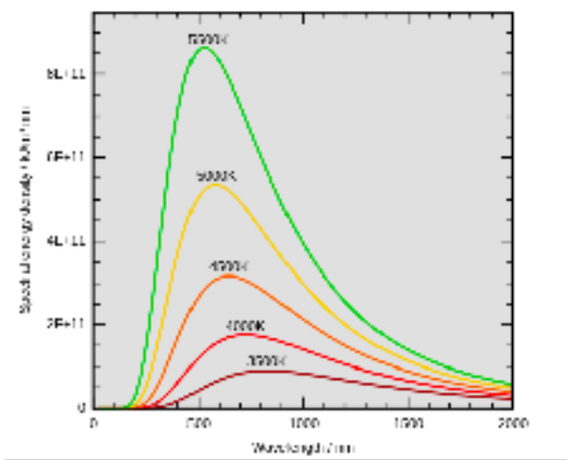
Planck atribuyo un caracter fundamental a la constante h
y con los datos experimentales de la época obtuvo su valor,
y al mismo tiempo la constante de Boltzmann

$$h = 6.55\ 10^{-27}\ \mathrm{erg\ s};\ k_{\mathrm{B}} = 1.346\ 10^{-16}\ \mathrm{erg\ K^{-1}}.$$

CODATA `6.626 070 040(81) x 10-34 J s` `1.380 648 52(79) x 10-23 J K-1`

Ley de Wien

$$\lambda_{\mathrm{max}} = \frac{b}{T}$$



Ley de Stefan

$$j^{\star} = \sigma T^4.$$

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

9. *Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum;* *von Max Planck.*

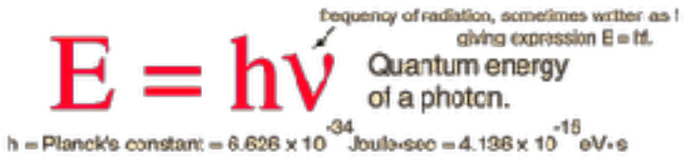
(In anderer Form mitgeteilt in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Sitzung vom 19. October und vom 14. December 1900, Verhandlungen **2.** p. 202 und p. 237. 1900.)

Einleitung.

Die neueren Spectralmessungen von O. Lummer und E. Pringsheim[1]) und noch auffälliger diejenigen von H. Rubens und F. Kurlbaum[2]), welche zugleich ein früher von H. Beckmann[3]) erhaltenes Resultat bestätigten, haben gezeigt, dass das zuerst von W. Wien aus molecularkinetischen Betrachtungen und später von mir aus der Theorie der elektromagnetischen Strahlung abgeleitete Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum keine allgemeine Gültigkeit besitzt.

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

La constante de Planck



Precision Tests of Quantum Mechanics

Steven Weinberg

Phys. Rev. Lett. 62, 485 – Published 30 January 1989

Límites estrictos sobre las posibles correcciones no lineales a la mecánica cuántica ordinaria buscando la desafinación (detuning) de las transiciones resonantes.

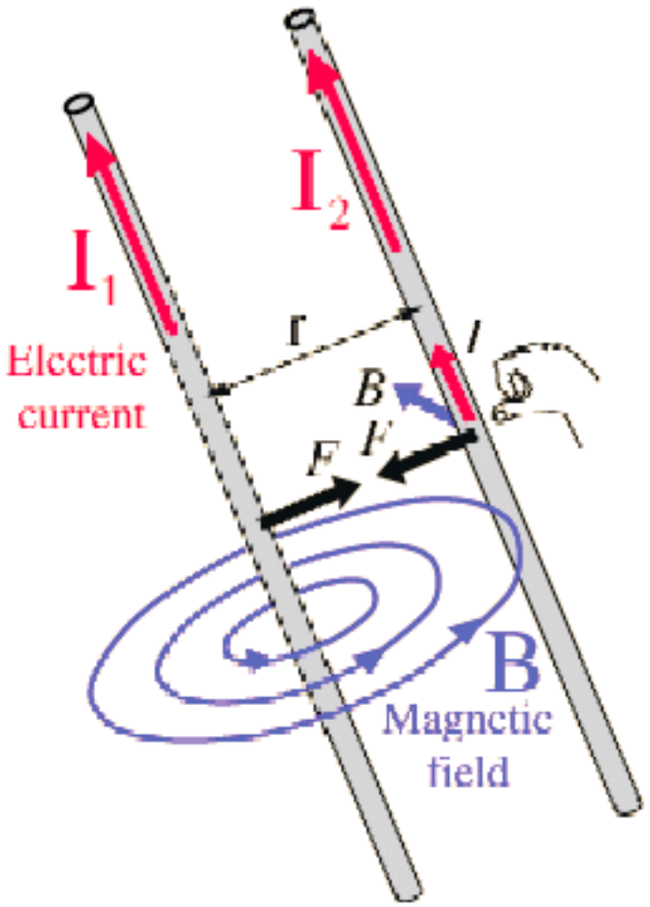
Una generalización no lineal sugerida de la mecánica cuántica se usa para mostrar que tal desafinación se esperaría en la transición rf en iones 9Be + que se usa para establecer estándares de frecuencia.

Las mediciones en la Oficina Nacional de Estándares ya establecen límites de orden 10-21 en la fracción de la energía del núcleo 9Be que podría deberse a correcciones no lineales a la mecánica cuántica, con buenas perspectivas de mejorar esto en 2-3 órdenes de magnitud.

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

Redefinición del Amperio:
Medida de la Carga Eléctrica del Electrón

La definición actual del amperio es cualquier cosa menos conveniente. Se basa en una configuración de prueba hipotética que incluye dos conductores de longitud infinita.

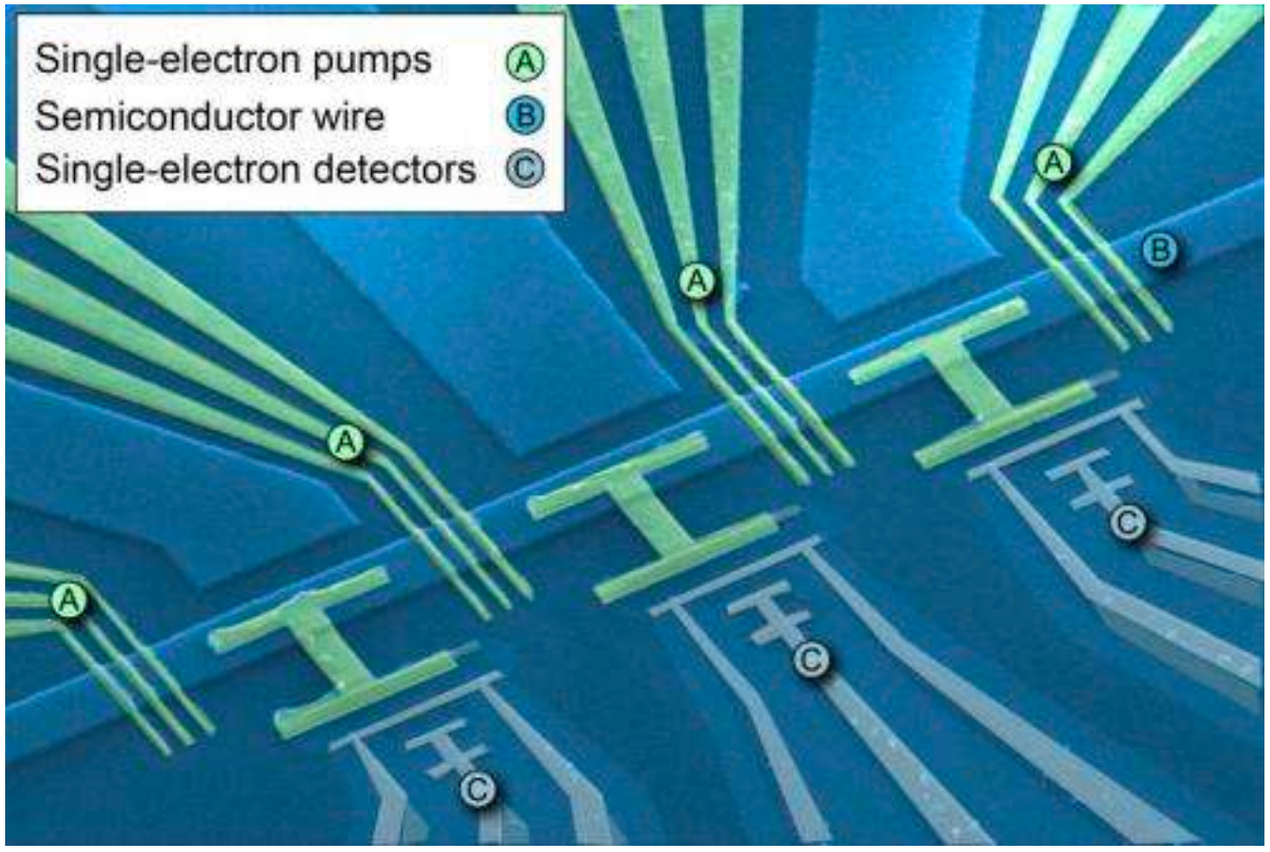


"El amperio es la corriente que, al fluir en dos alambres paralelos infinitos a un metro de distancia produce una fuerza entre ellos de 2 x 10-7 N / m".

$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1 i_2}{d} = \frac{4\pi\, x\, 10^{-7}}{2\pi}\frac{1\, x\, 1}{1} = 2\, x\, 10^{-7}\ N/m$$

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

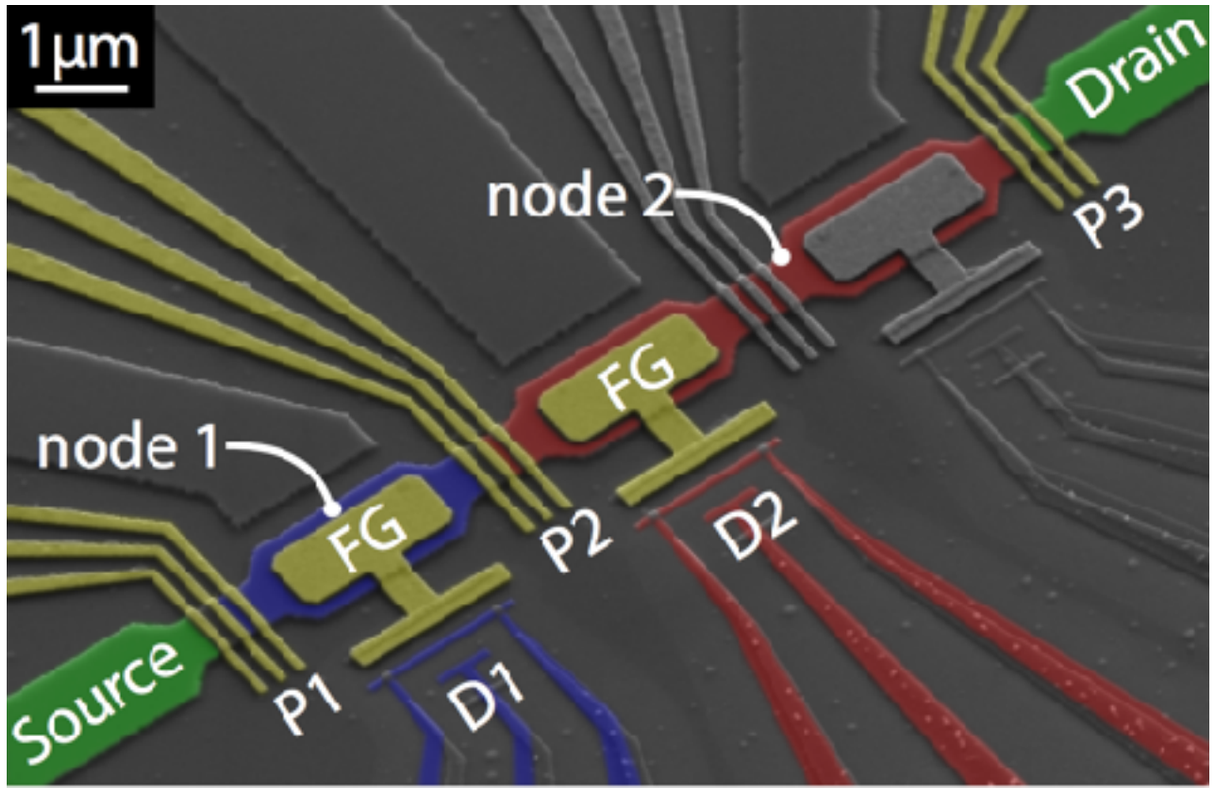
Redefinición del Amperio:
Medida de la Carga Eléctrica del Electrón



Esta estructura semiconductora puede medir electrones individuales y su respectiva carga. Cuatro "bombas de un solo electrón" están integradas en el chip; cada uno de ellos tiene tres electrodos de compuerta (coloreados en verde) que cruzan un cable semiconductor (azul). Los electrones bombeados se detectan con la ayuda de tres detectores de un solo electrón (gris). Crédito: PTB

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

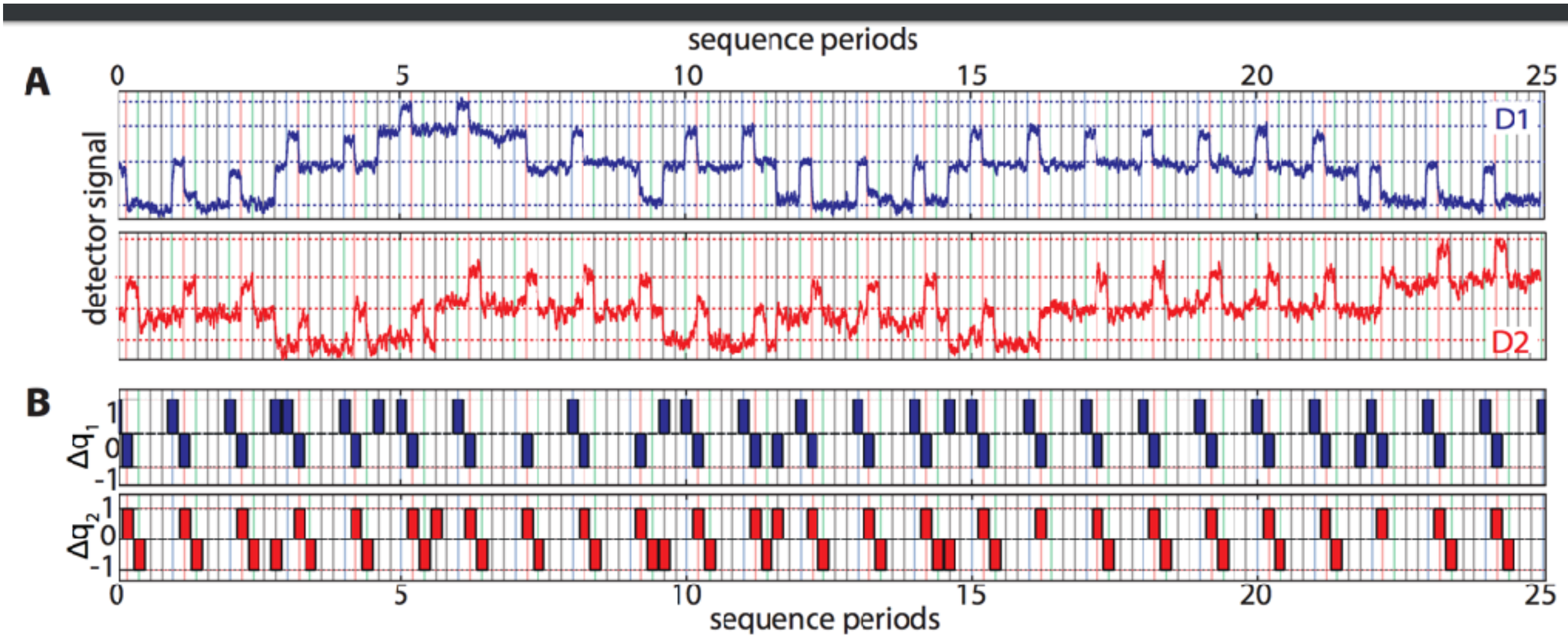
Redefinición del Amperio:
Medida de la Carga Eléctrica del Electrón



Solo recientemente, los científicos de PTB han desarrollado una bomba optimizada de un solo electrón que permite la generación de una corriente de un solo electrón y su medición independiente con la mínima incertidumbre.

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

Redefinición del Amperio:
Medida de la Carga Eléctrica del Electrón



Se ha logrado medir, por primera vez, la corriente que está involucrada en cada salto de un solo electrón. la fuente de corriente recientemente desarrollada permite la generación de pequeñas corrientes validadas hasta el rango de attoamperes

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

International Avogadro Coordination (IAC): The Avogadro Project

NA = 6.02214078(18) • 1023 mol^{-1}

indeterminación: 3 • 10^{-8}

Si-28

Sigue siendo un artefacto

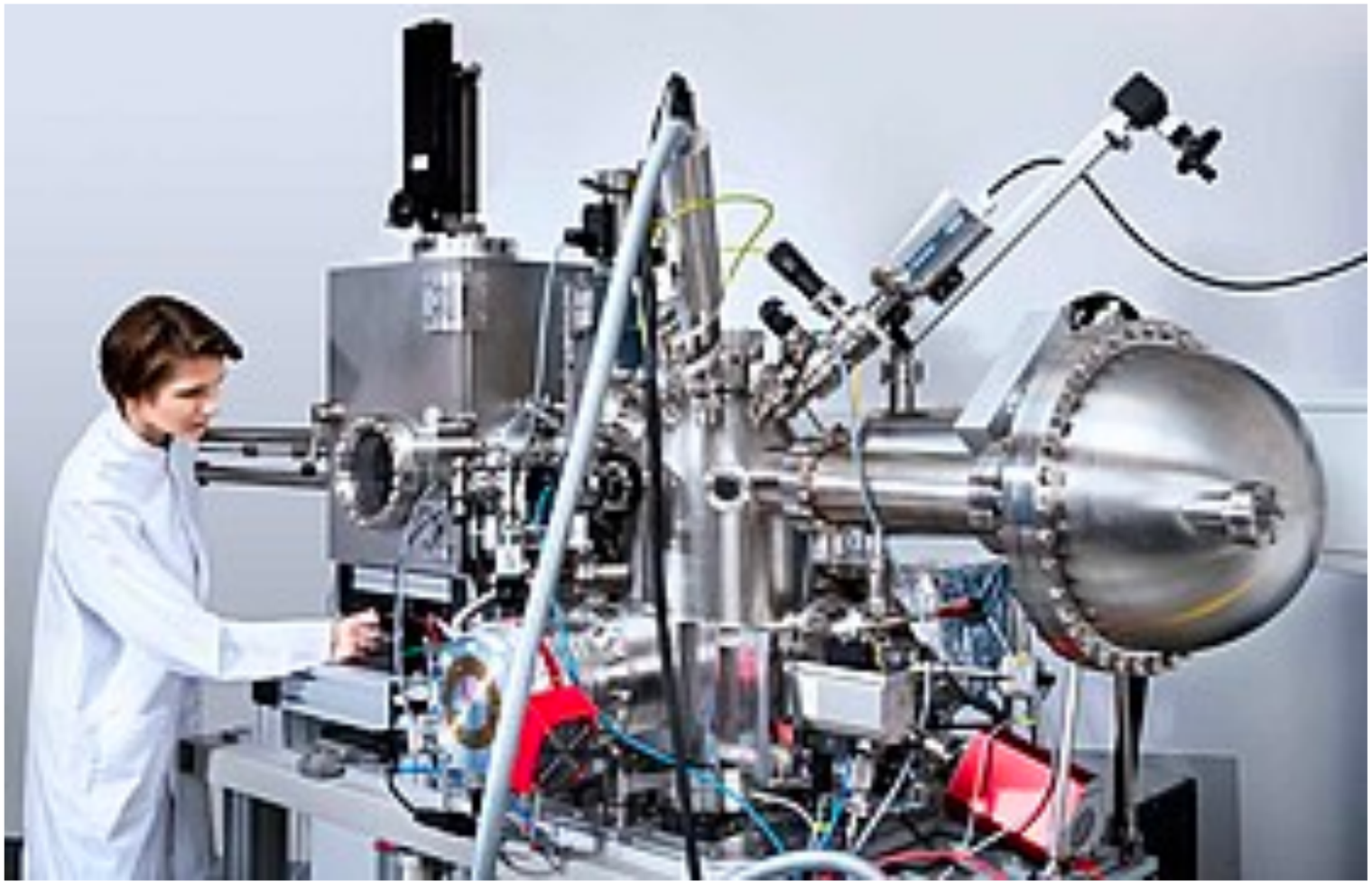
II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

International Avogadro Coordination (IAC): The Avogadro Project

NA = 6.02214078(18) • 1023 mol^{-1}

indeterminación: 3 • 10^{-8}

Si-28

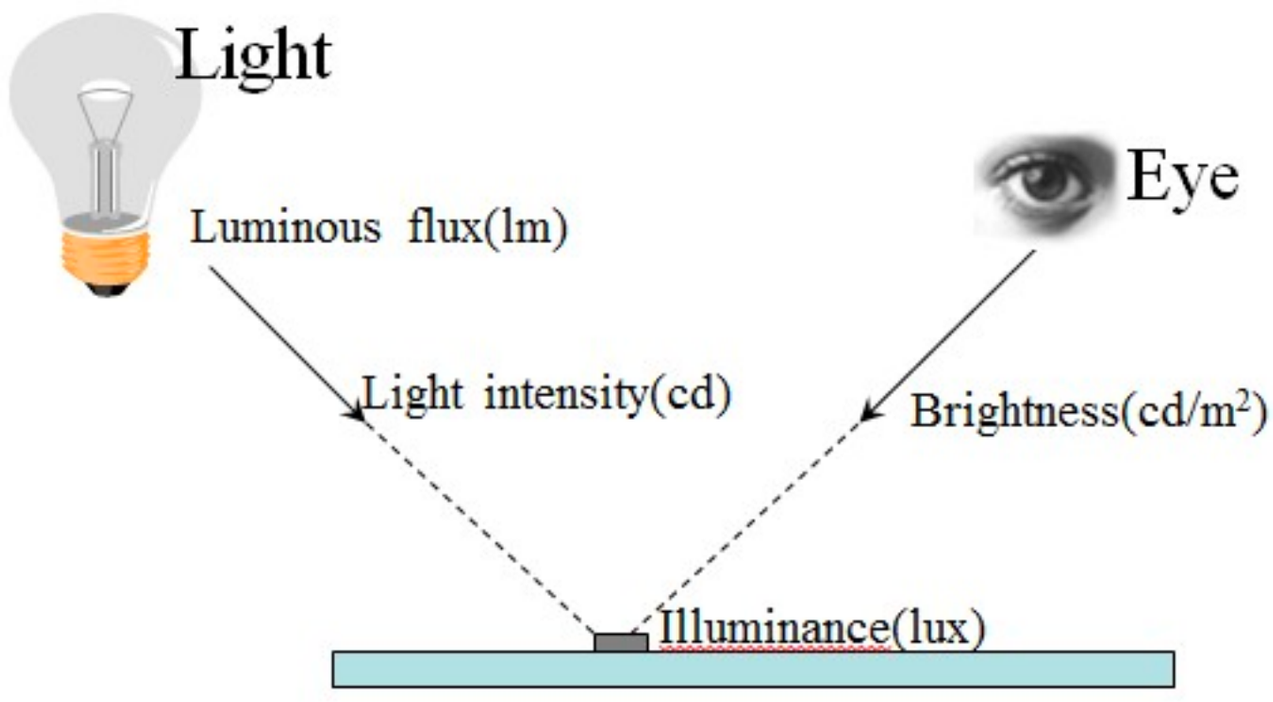


Sigue siendo un artefacto

II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

Eficacia Lumínica:
Candela

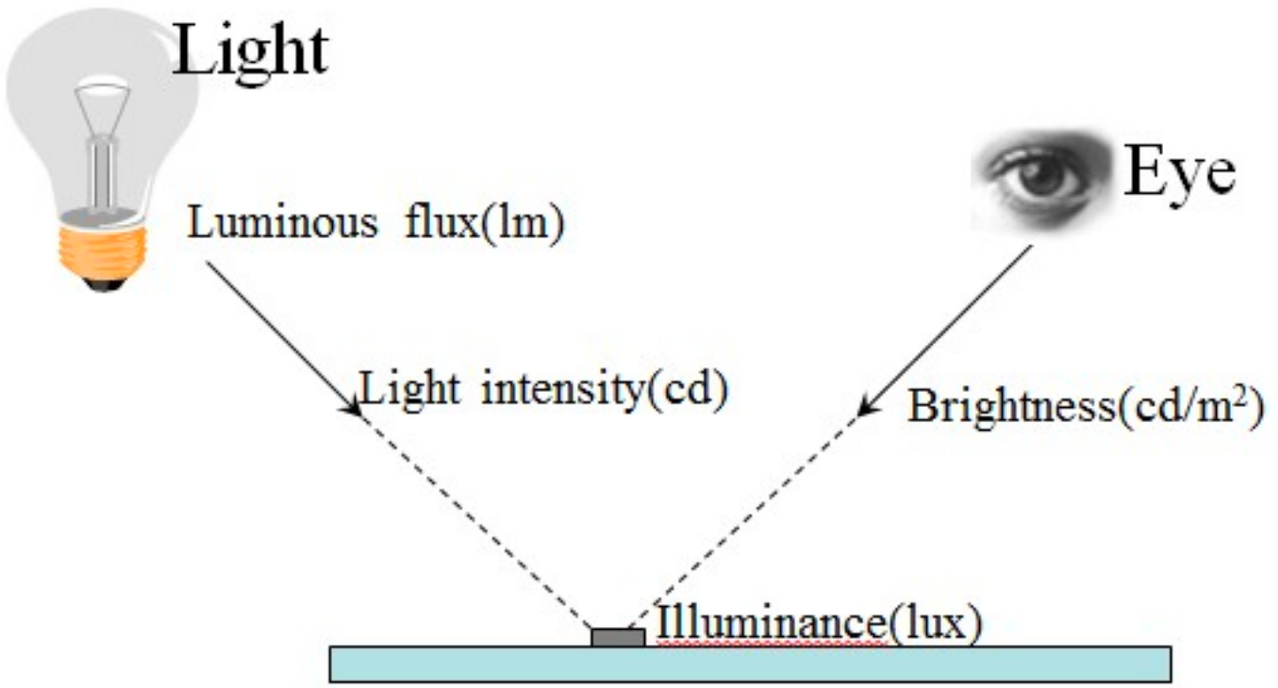
es una medida de qué tan bien una fuente de luz produce luz visible. Es la relación del flujo luminoso a la potencia, medida en lúmenes por vatio en el Sistema Internacional de Unidades (SI)



II. Las Constantes Fundamentales de la Naturaleza.

Eficacia Lumínica:
Candela

No hay una ley universal de la Física asociada: porque la fuente de luz no tiene por qué estar en equilibrio termodinámico.

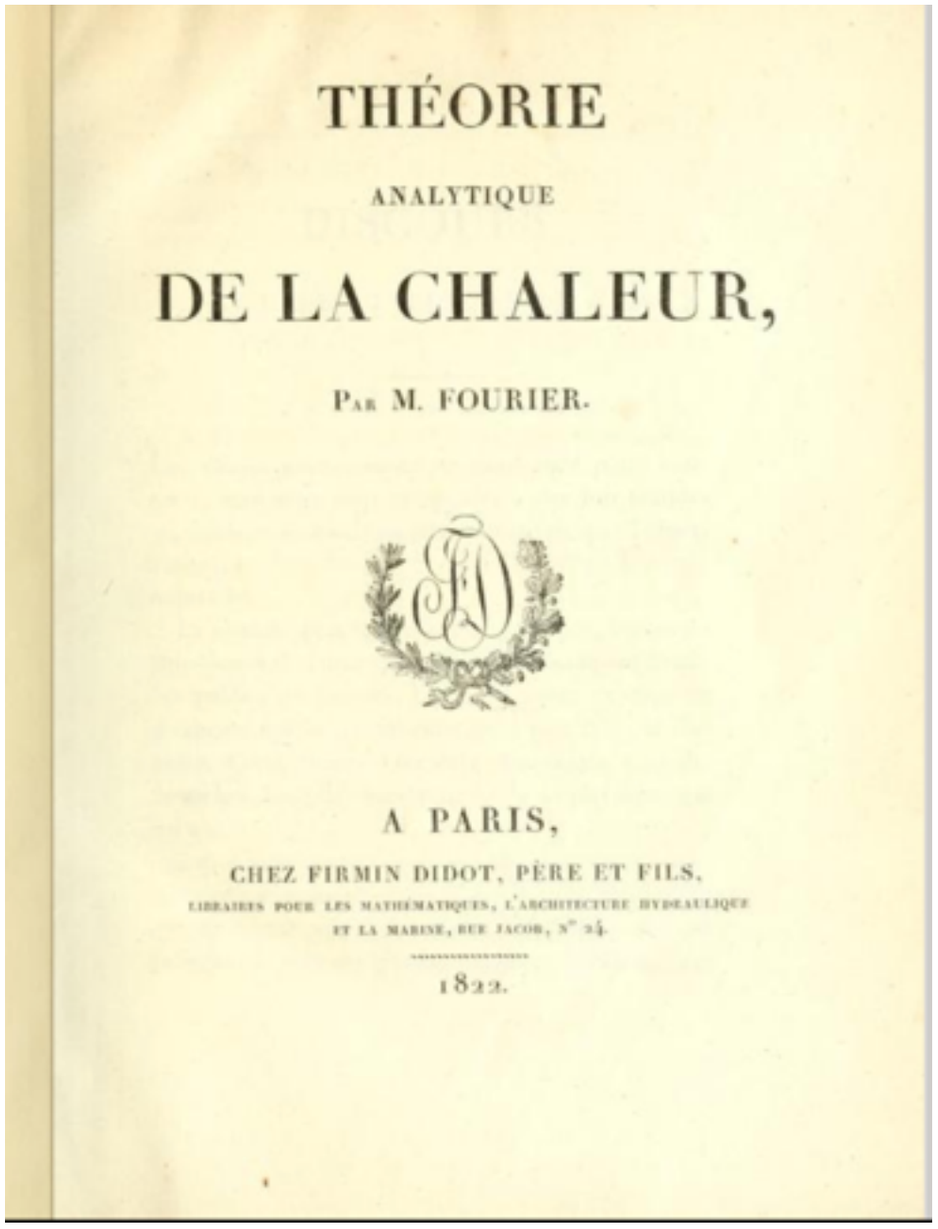


Es convencional

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El sistema de unidades proviene de los físicos franceses

1822, por Jean Baptiste Fourier (1768–1830)
en su
Théorie analytique de la Chaleur


THÉORIE
ANALYTIQUE
DE LA CHALEUR,
PAR M. FOURIER.
A PARIS,
CHEZ FIRMIN DIDOT, PÈRE ET FILS,
LIBRAIRES POUR LES MATHÉMATIQUES, L'ARCHITECTURE HYDRAULIQUE
ET LA MARINE, RUE JACOB, N° 24.
1822.

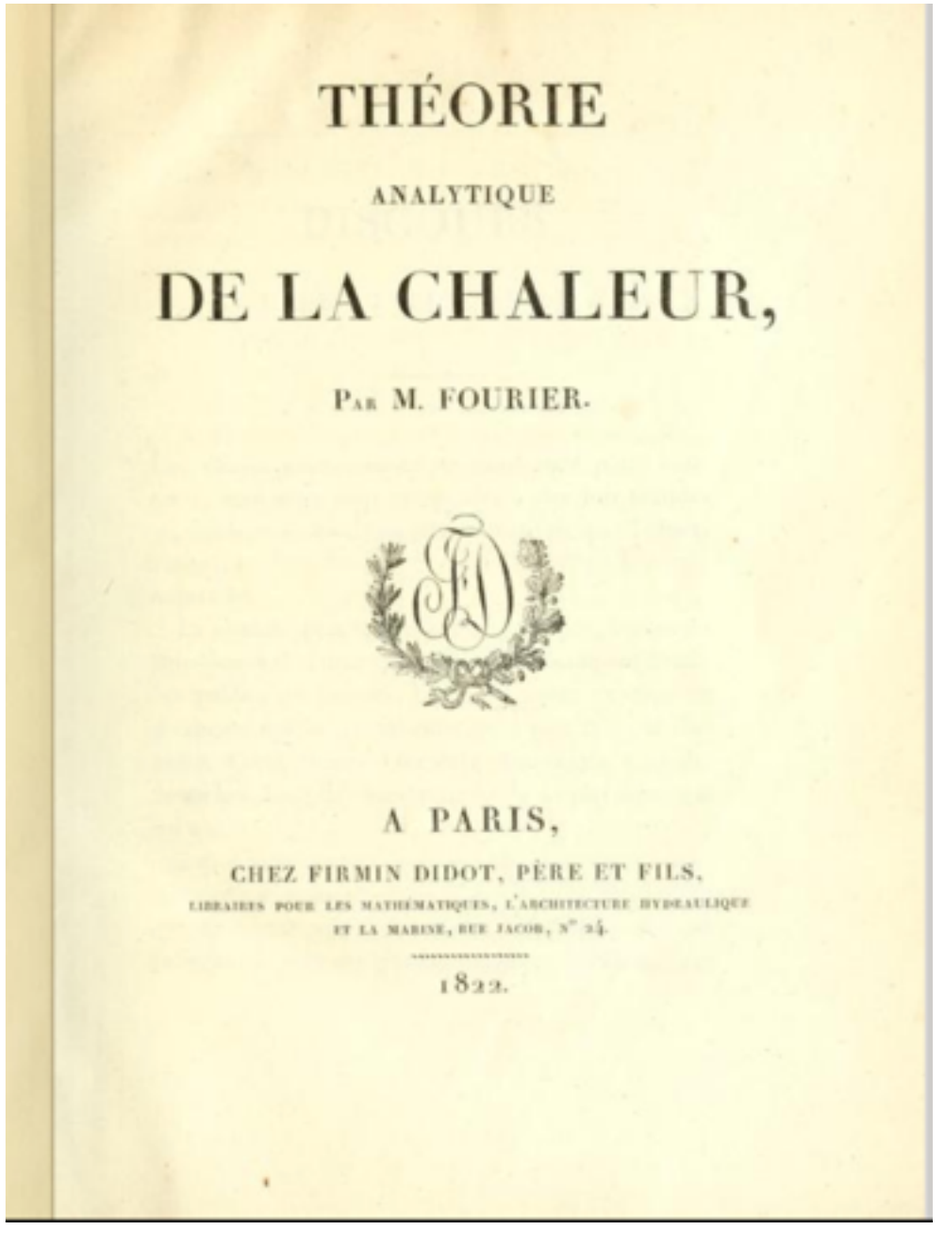
III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

Necesidad de establecer igualdades en Leyes de la Física que sean magnitudes homogéneas

Poder resolver ecuaciones diferenciales derivadas de las Leyes de la Física

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = 0$$

donde α es la difusividad térmica, que es una propiedad del material.



THÉORIE

ANALYTIQUE

DE LA CHALEUR,

PAR M. FOURIER.

A PARIS,

CHEZ FIRMIN DIDOT, PÈRE ET FILS,

LIBRAIRES POUR LES MATHÉMATIQUES, L'ARCHITECTURE HYDRAULIQUE ET LA MARINE, RUE JACOB, N° 24.

1822.

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

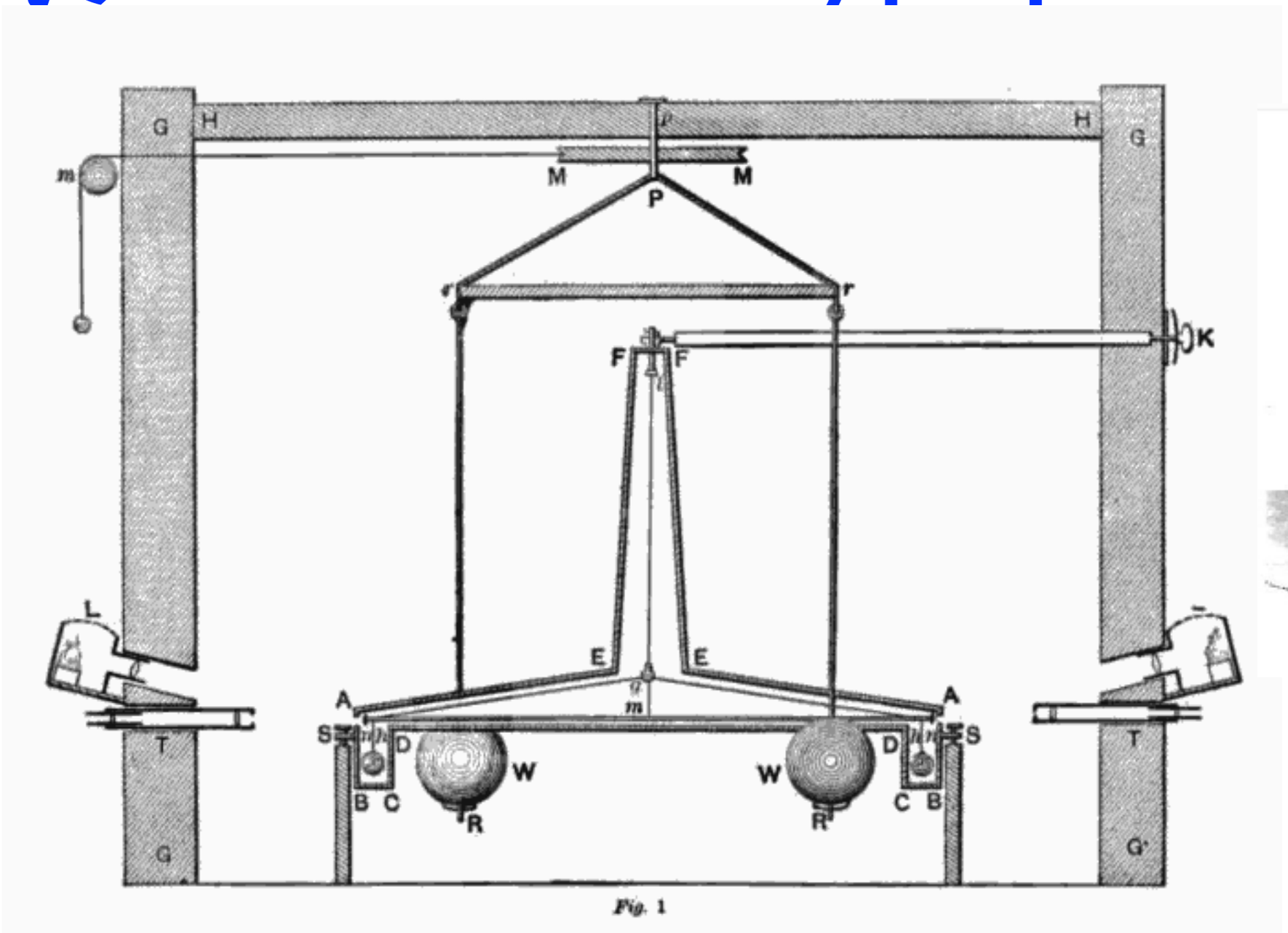


Fig. 1

H. Cavendish

1731-1810

Cavendish, H. 'Experiments to determine the Density of the Earth',
Philosophical Transactions of the Royal Society of London, (part II) 88 p.469-526 (21 June 1798),

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

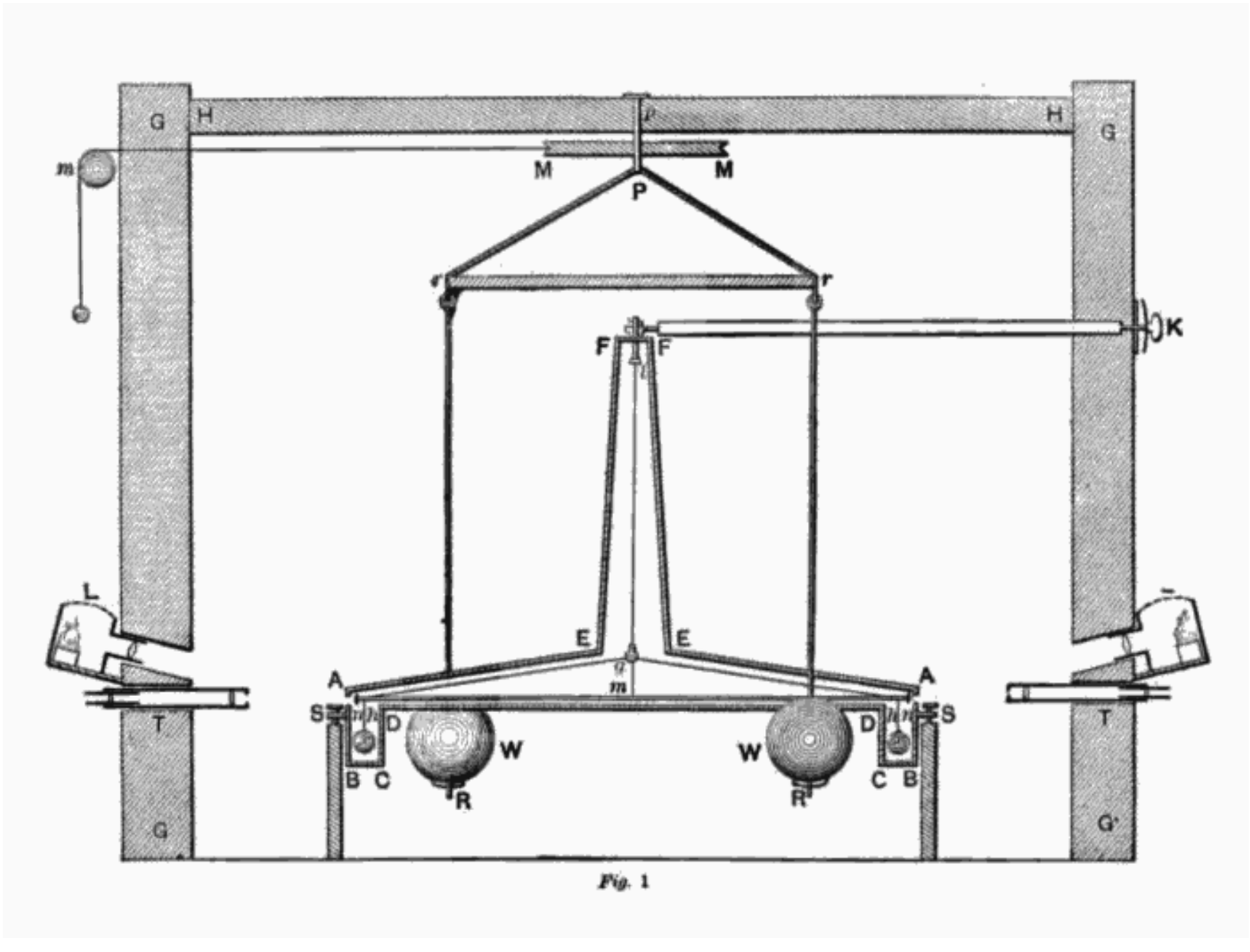
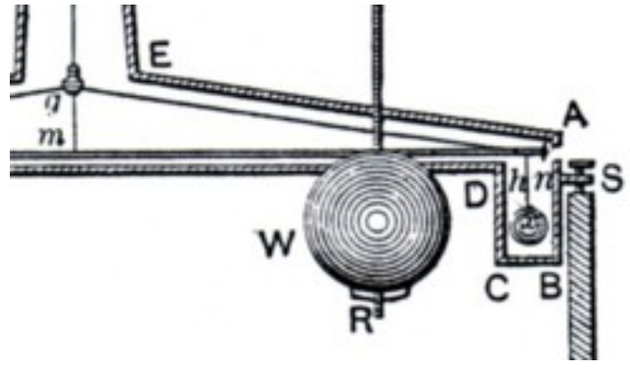


Fig. 1



III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

Balanza de torsión en el
Museo de la Ciencia en Londres

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

Cavendish no midió G ... pues no se había introducido en 1798:

Newton introdujo la Ley de Gravitación Universal como una proporcionalidad

$$F_G \propto \frac{Mm}{R^2}$$

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

$$F_G \propto \frac{Mm}{R^2}$$

El sistema de unidades actual no existía en época de Newton.

El sistema de unidades proviene de los físicos y matemáticos franceses s. XIX

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

¿Quién introdujo la G?

NEWTON NO, MITCHELL, CAVENDISH TAMPOCO…

LA PRIMERA VEZ QUE APARECE UNA ECUACION (IGUALDAD, EN VEZ DE PROPORCIONALIDAD) ES EN

4ª edición de "Cours élémentaire de Physique" (Paris, 1844), Nicolás Deguin

AUNQUE DEBE SE POSTERIOR PUES UNA TRADUCCION ESPAÑOLA
DE LA SEGUNDA EDICION YA LA INTRODUCE:

Curso elemental de Física **(Madrid, 1841) de Venancio González Valledor, catedrático de Física en los Estudios de San Isidro in Madrid**

OJO: AQUI APARECE COMO CONSTANTE f (no G) Y NO SE LE DA NINGUN VALOR NUMERICO.

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

¿Quién introdujo la G?

EL VALOR NUMERICO DE f APARECE MAS TARDE:

en 1873, en un trabajo presentado a la Academia de Ciencias de Paris:

1841 – 1902

'Détermination nouvelle de la constante de l'attraction et de la densité moyenne de la Terre' por

A. Cornu and J. Baille (*Comptes Rendus*, 1873, 76(15), 954–958).

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

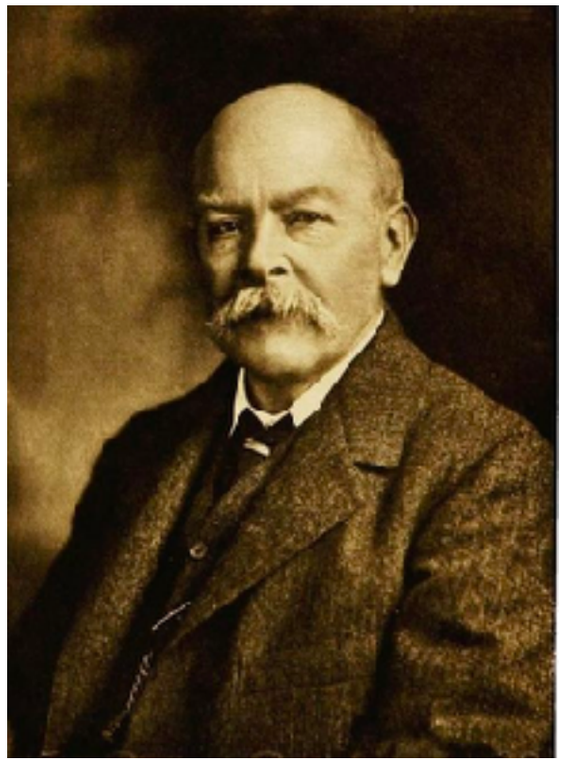
El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

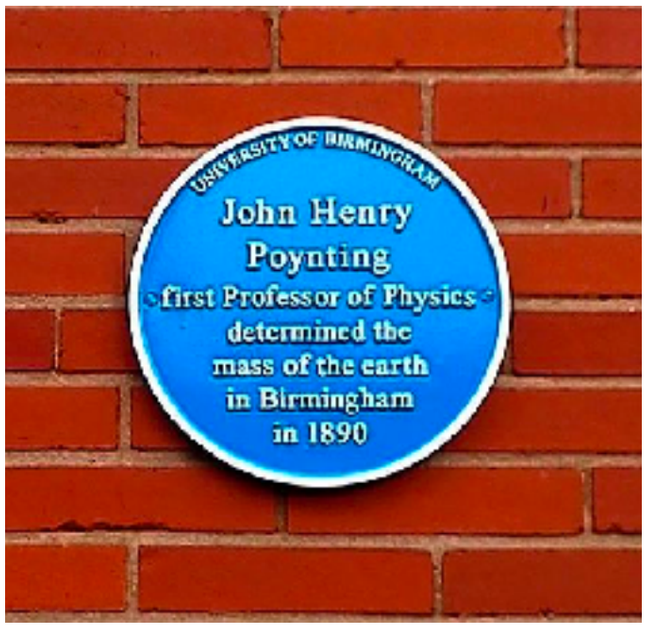
¿Quién introdujo la G?

FINALMENTE APARECE G:

[23] This is the symbol appearing in Poynting (1892). The first use of G is most likely earlier, but I have not yet had the opportunity to consult Poynting's references to V. Jolly, *Wiedemann's Annalen*, Vol. 5, p. 112 and Vol. 14, p. 331; Koening and Richraz, *Nature*, Vol. 31, pp. 260 and 475; and a 'recent' publication by C. V. Boys of which he does not give full reference. Boys uses the symbol G in a later publication than Poynting's, where he compares his own results of determining the density of the Earth with those of Cornu and Poynting, in (Boys, 1895). Poynting had by then already used a chemical balance made in London by Oertling for the same purpose (Poynting, 1879).



John Henry Poynting (1852–1914)



III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

¿Quién introdujo la G?

1884

Eine neue Methode zur Bestimmung der Gravitationsconstante.

Von Arthur König und Franz Richarz.

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

¿Quién introdujo la G?

$$k = \frac{g_0}{4m}(\delta_m + \delta'_m).$$

Wir erhalten also k aus den zu messenden Grössen g_0, m, δ_m und δ'_m, wobei für die Beurtheilung der Genauigkeit darauf hingewiesen werde, dass δ_m und δ'_m beide positiv sind.

Ist nun V das Potential des Bleiklotzes, G die Gravitationsconstante, z die verticale Coordinate, so ist

$$k = G\frac{\partial V}{\partial z}.$$

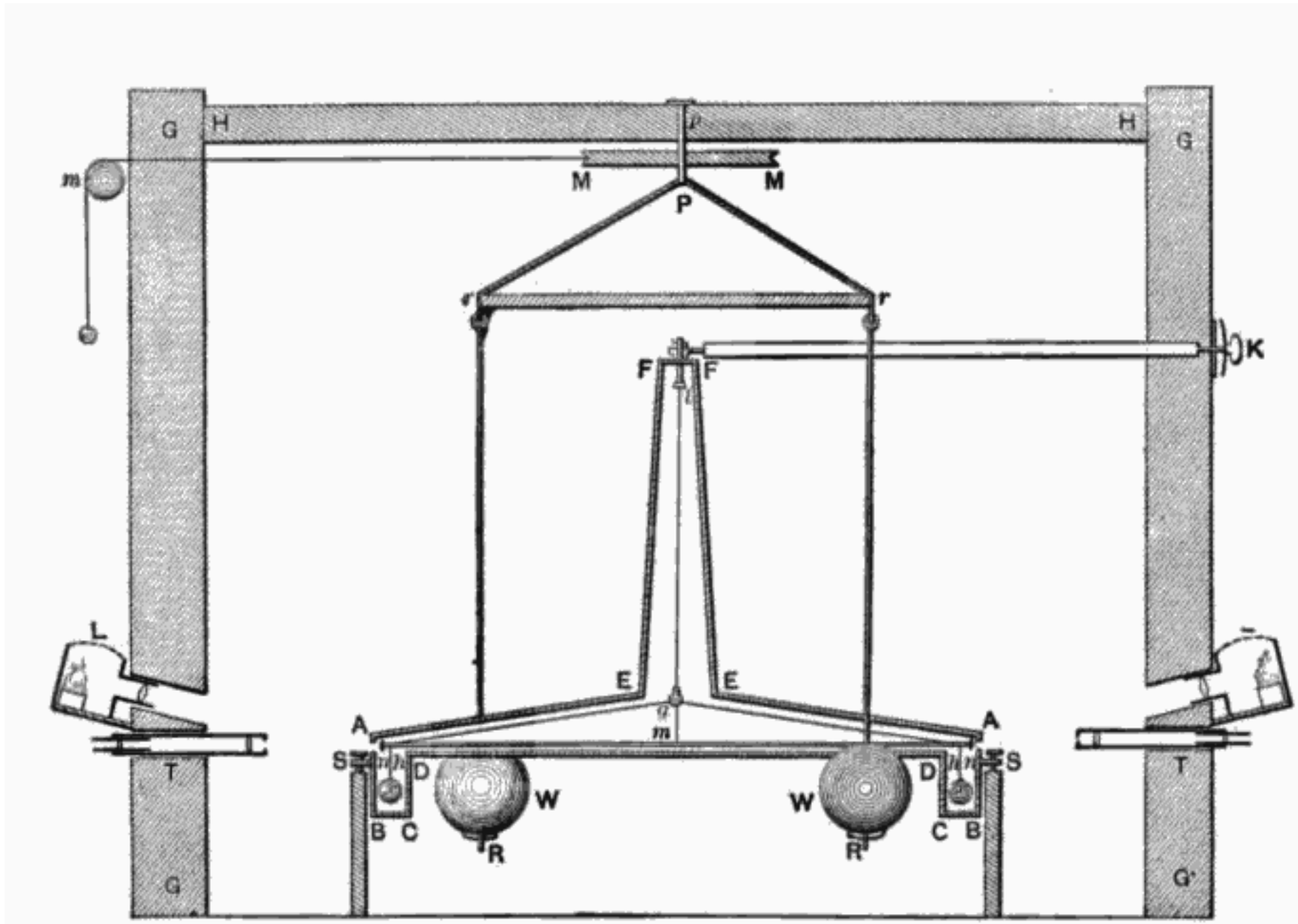
Der Differentialquotient $\frac{\partial V}{\partial z}$ lässt sich aus den bekannten Dimensionen des Parallelepipeds und dem Orte der Schalen berechnen; unsere Beobachtungen ergeben also die Gravitationsconstante G und damit auch die mittlere Dichtigkeit der Erde.

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

Cavendish midió la Densidad Media de la Tierra



H. Cavendish

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

Cavendish midió la Densidad Media de la Tierra

$$\rho_{\oplus} = \frac{3g}{4\pi R_{\oplus} G}$$

Midiendo el ángulo de la varilla y conociendo la fuerza de torsión (torque) del alambre para un ángulo dado, Cavendish fue capaz de determinar la fuerza entre los pares de masas. Dado que la fuerza gravitacional de la Tierra sobre la bola pequeña se podía medir directamente pesándola, la relación de las dos fuerzas permitió calcular la densidad de la Tierra, usando la ley de gravitación de Newton.

$$\rho_{\oplus} = 5.48 \ \rho_{\mathrm{agua}}$$

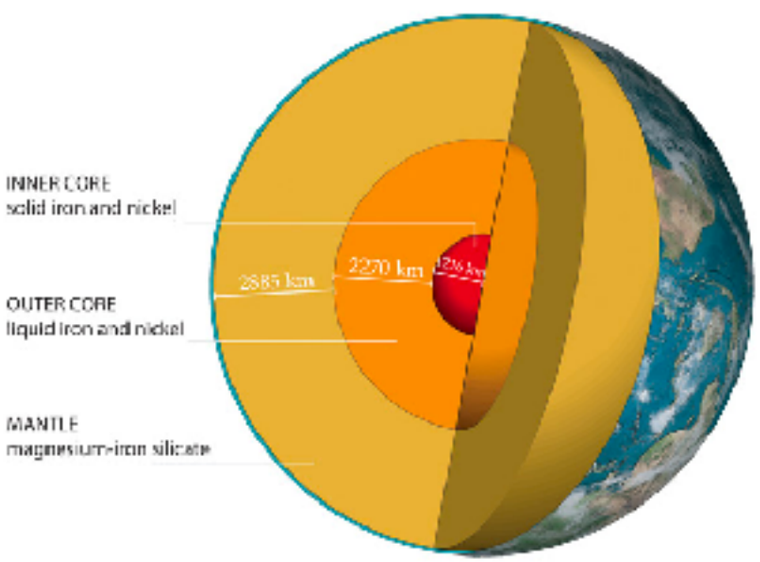
III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

Cavendish midió la Densidad Media de la Tierra

CAVENDISH MIDIÓ LA DENSIDAD DE LA TIERRA PARA RESOLVER DUDAS SOBRE LA COMPOSICIÓN Y FORMA DE LA TIERRA.



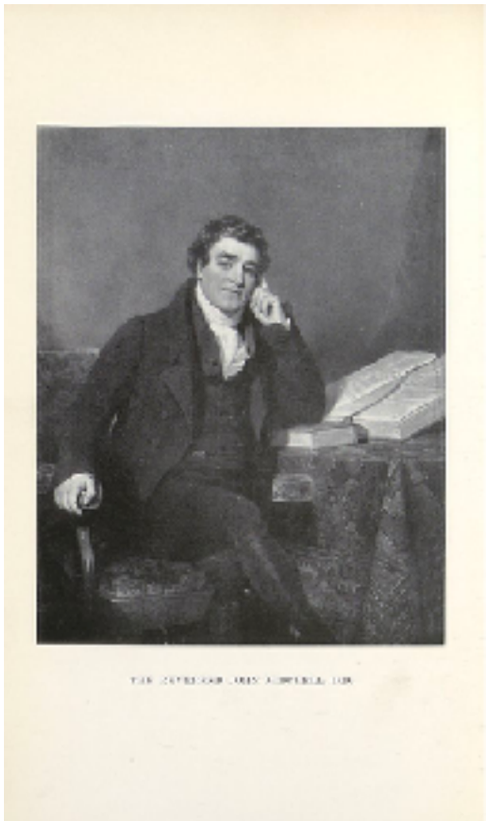
III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

¿Qué midió Cavendish y porqué es importante?

Cavendish midió la Densidad Media de la Tierra

CAVENDISH SE APOYÓ EN LA BALANZA DEL REV. **JOHN MITCHELL**
PERO LA PERFECCIONÓ TANTO QUE LA REHIZO POR COMPLETO.



ADEMÁS, J.MITCHELL TAMBIEN QUERIA PESAR LA TIERRA, Y NO SOLO ESO, TAMBIEN LA LUZ. DE AHI LLEGO A PLANTEAR EL CONCEPTO DE AGUJERO NEGRO (Estrellas Oscuras).

***Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, lied el 27 noviembre de 1783**

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

Science & Education **10:** 515–543, 2001.
© 2001 *Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.*

"Weighing" the Earth: a Newtonian Test and the Origin of an Anachronism*

ANTONIO MORENO GONZÁLEZ

Universidad Complutense, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación, Rector Royo Villanova s/n, 28040 Madrid, Spain

Abstract. The measure *G*, the universal gravitational constant, is attributed to Henry Cavendish. Nevertheless, the intention of the English physicist was to measure the density of the earth, which at that time was necessary in order to decide between different theories about the composition of this planet. *G* was measured much later. In this article I will try to explain how Cavendish accomplished the famous experiment and what his results were. Likewise, I will consider the problems that can arise in the scientific training of students from maintaining anachronisms such as this.

Galindo, A., Moreno, A., Benedí, A. & Varela, P.: 1998, Física, 2° Bachillerato LOGSE, McGraw-Hill, Madrid.

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

LA WIKIPEDIA NO DICE QUIEN MIDIO G

History of measurement [edit]

The gravitational constant appears in Newton's law of universal gravitation, but it was not measured until 1798, seventy-one years after Newton's death, when Henry Cavendish performed his Cavendish experiment (*Philosophical Transactions* 1798). Cavendish measured G implicitly, using a torsion balance invented by the geologist Rev. John Michell.

NO APARECE EN LA ENTRADA DE CORNU.

LA WIKIPEDIA NO DICE QUIEN INTRODUJO G, NI CUANDO.

III. El Origen de las Dimensiones Físicas.

El papel de G en el sistema de unidades de la Física

TAMPOCO EL NIST NO DICE QUIEN MIDIO G

NSF Ideas Laboratory at NIST: Measuring "Big G" Challenge

Physics needs you to make one of the most difficult measurements.

Yes, we mean you in front of the monitor. You do not have to have a background in the field.

Read On.

1. Motivation
2. Ideas Lab
3. What is an Ideas Lab

WORKSHOP

July 18, 2016 to July 22, 2016

Preliminary proposal Deadline: **May 16, 2016**

Participation in the Ideas Lab is by invitation from the pool of applicants that submitted a preliminary proposal

ORGANIZATIONS

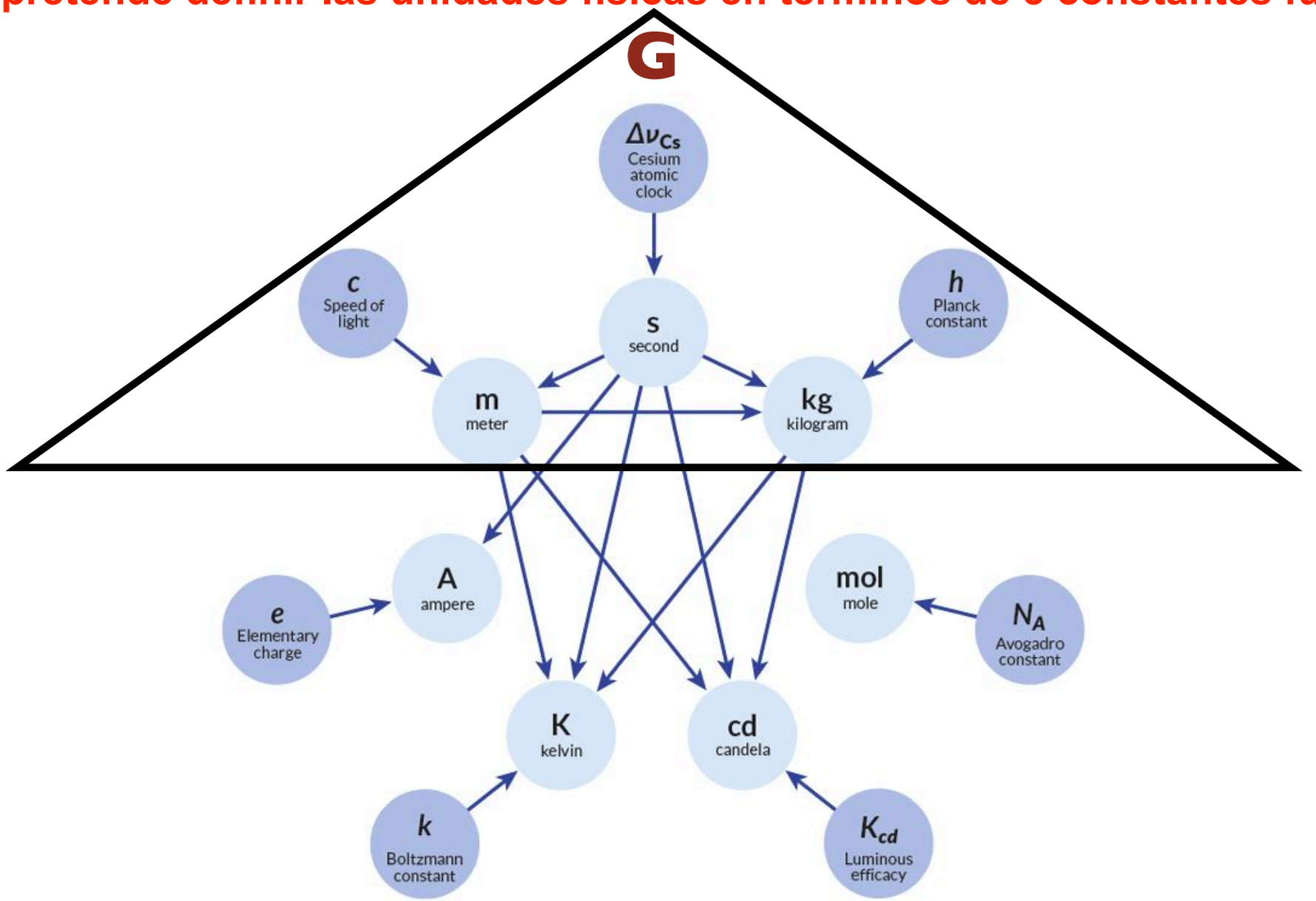
Physical Measurement Laboratory
Quantum Measurement Division

1. Motivation

The gravitational constant *G* is a measure of the strength of the gravitational interaction. A first laboratory determination of *G* was performed in 1798 by Henry Cavendish. Since that time hundreds of measurements were performed worldwide. Despite that long history, our current knowledge of the gravitational constant is comparatively poor. The recent recommended value by the Committee on Data for Science and Technology (CODATA) has a relative uncertainty of 47×10^{-6}. Compare this with the relative uncertainties of the Planck constant (0.012×10^{-6}) or the Boltzmann constant (0.57×10^{-6}).

IV. Una Anomalía Gravitacional en el SI.

El próximo Sistema Internacional (SI) supondrá una gran revolución pues se pretende definir las unidades físicas en términos de 5 constantes fundamentales

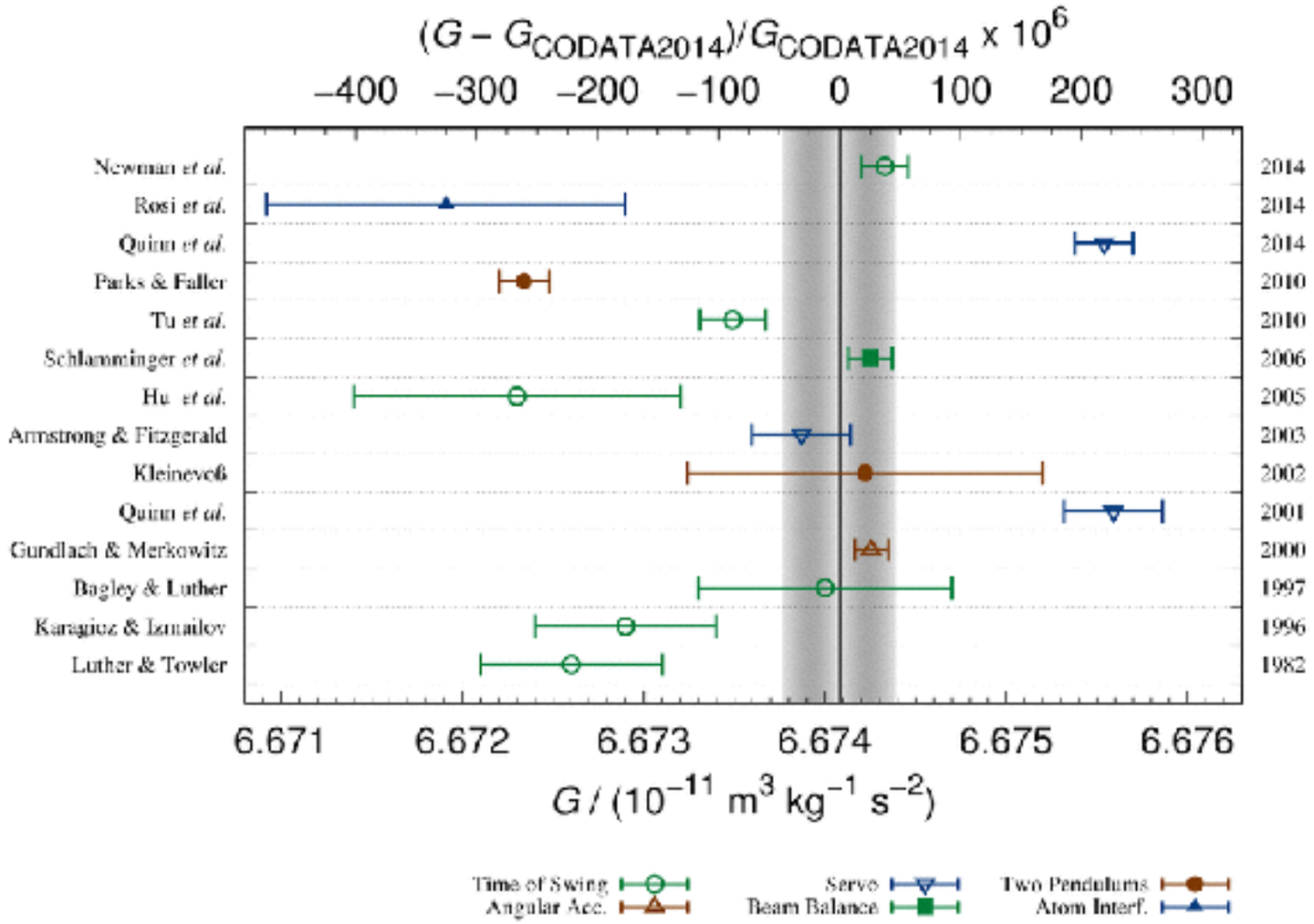


Curiosamente, no aparece la G entre ellas.
De hecho, el kilo como unidad de masa será definido a través de la constante h de Planck: el llamado kilo cuántico, utilizando el efecto Hall y el efecto Josephson.
Este hecho es de nuevo indicativo de que el PGG sigue abierto en metrología.

IV. Una Anomalía Gravitacional en el SI.

El llamado problema de la G grande de Newton (PGG) se ha vuelto muy desconcertante tras más de treinta años de toma de medidas por métodos tradicionales (clásicos):

los valores medidos de G no parecen converger a ningún valor, y lo que es peor aún, la convergencia empeora con cada nuevo valor añadido a la lista de mediciones.

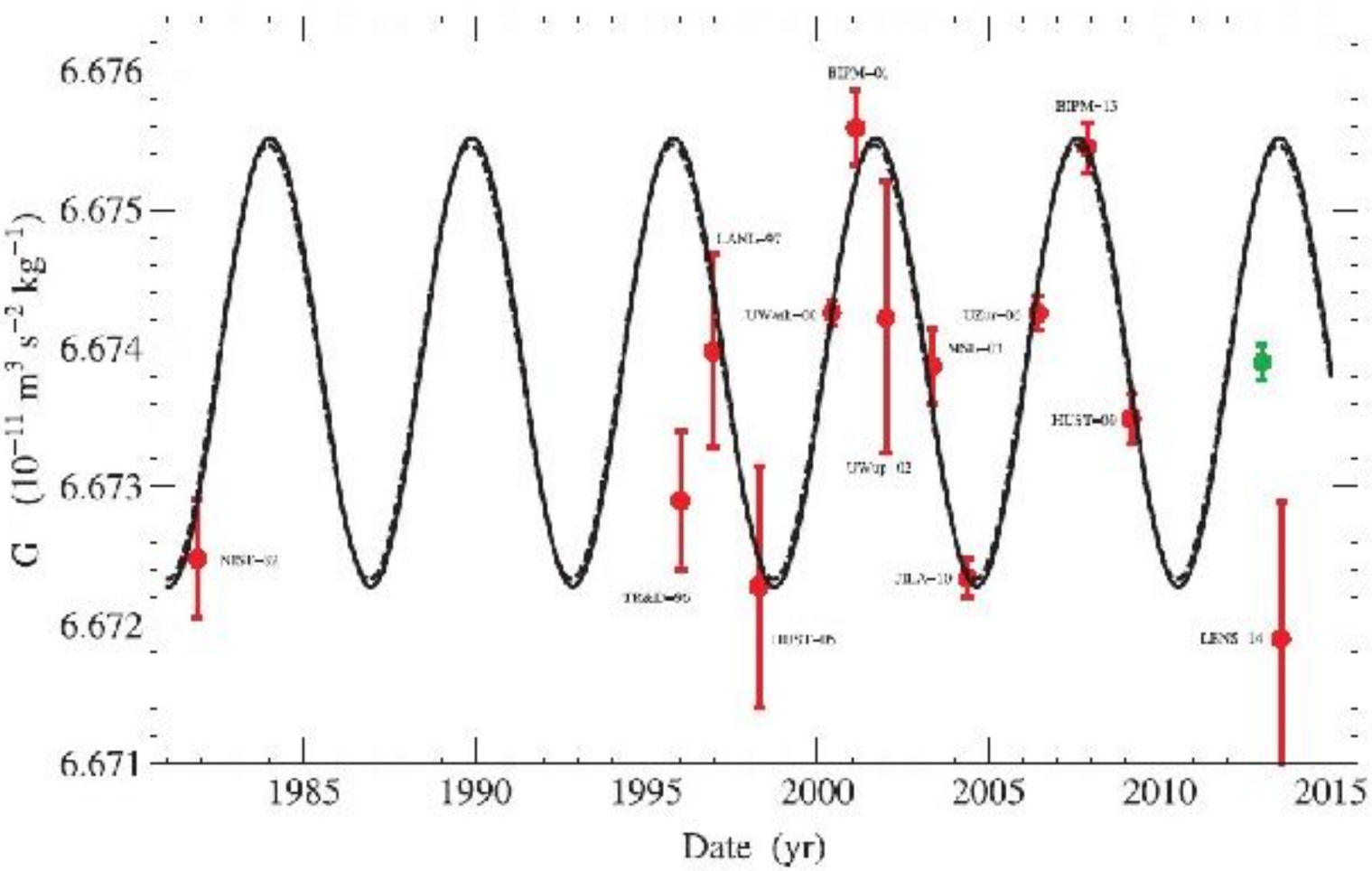


Aunque detrás de estas discrepancias podría encontrarse efectos relacionados con nuevos aspectos de la gravitación no conocidos anteriormente,

IV. Una Anomalía Gravitacional en el SI.

El llamado problema de la G grande de Newton (PGG) se ha vuelto muy desconcertante tras más de treinta años de toma de medidas por métodos tradicionales (clásicos):

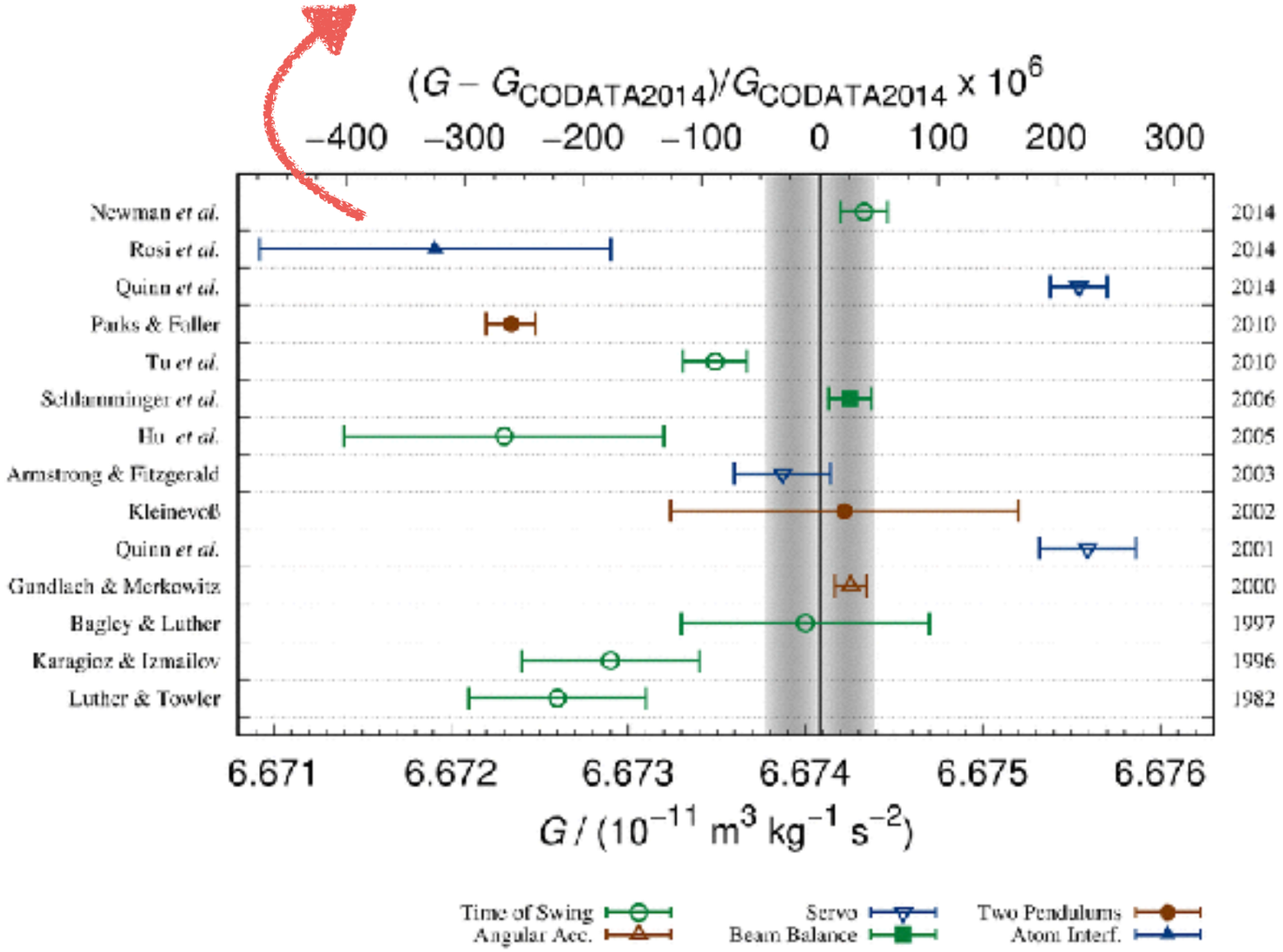
los valores medidos de G no parecen converger a ningún valor, y lo que es peor aún, la convergencia empeora con cada nuevo valor añadido a la lista de mediciones.



Aunque detrás de estas discrepancias podría encontrarse efectos relacionados con nuevos aspectos de la gravitación no conocidos anteriormente,

IV. Una Anomalía Gravitacional en el SI.

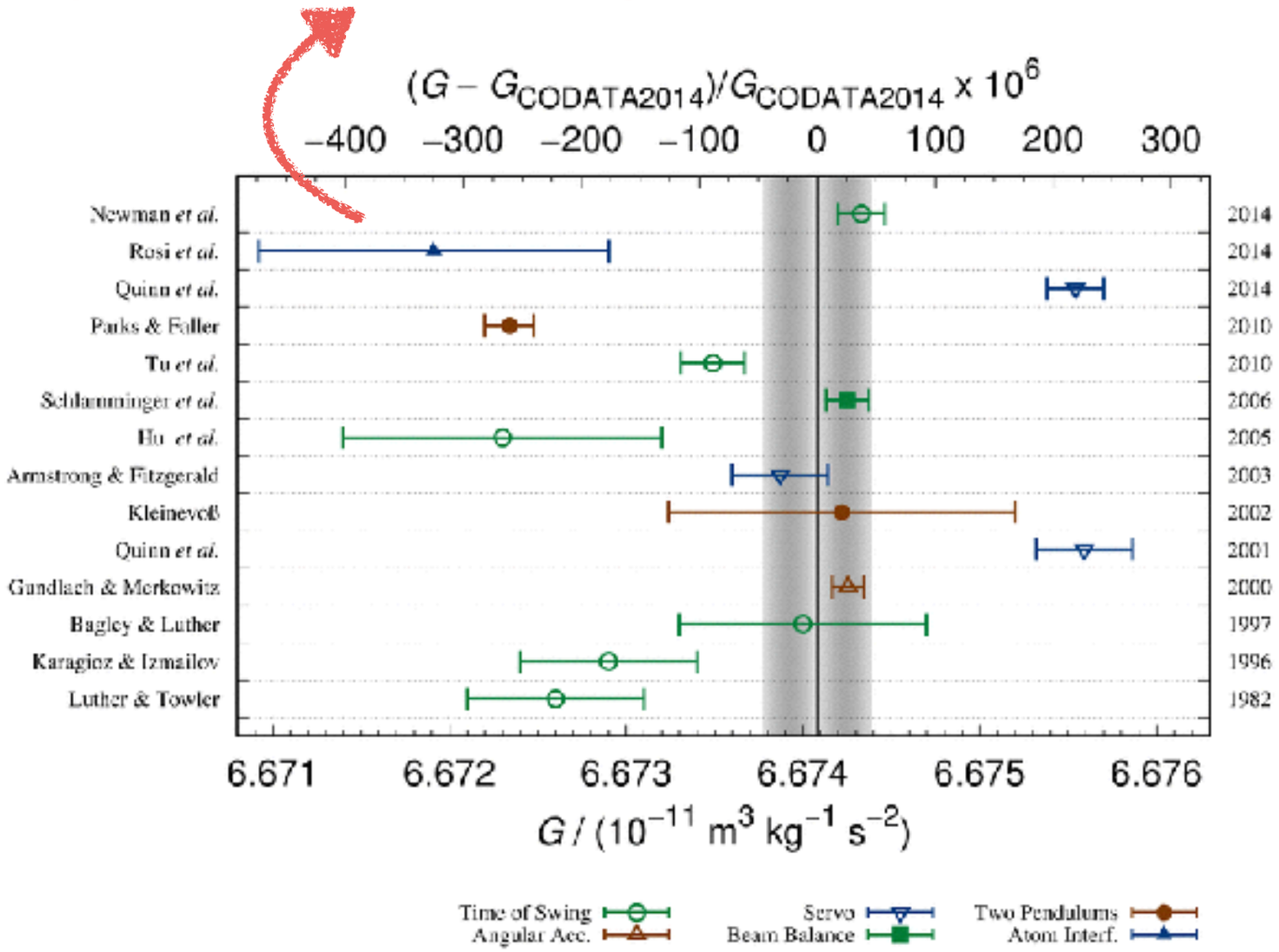
¿Qué hacer para mejorar los resultados cuánticos?



Exactitud: hay margen suficiente para mejorar la calidad de los resultados en los próximos años

IV. Una Anomalía Gravitacional en el SI.

¿Qué hacer para mejorar los resultados cuánticos?

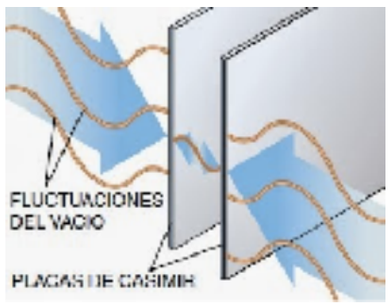


Precisión: se puede mejorar con técnicas de Metrología Cuántica

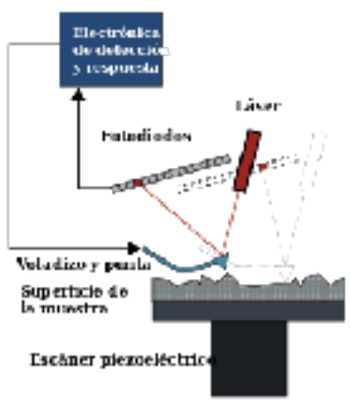
IV. Una Anomalía Gravitacional en el SI.

La medición de un valor más preciso de G beneficiará muchos campos de la física, química y biologia, para la determinación precisa de los valores absolutos de pequeñas fuerzas

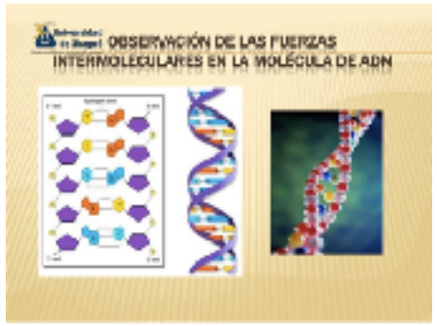
- **comprensión del efecto Casimir,**



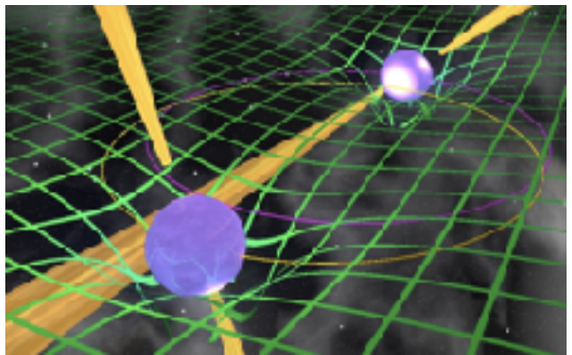
- **la mejora de las constantes de resorte que se utilizan para calibrar microscopía de fuerza atómica**



- **comprensión de las fuerzas intermoleculares en el ADN [1].**



- **Un valor preciso de G para probar las teorías propuestas que unifican la gravedad con la electrodinámica cuántica.**



V. Conclusiones.

Por el futuro SI de unidades

Esperemos lo mejor

Por el momento, eso es todo!

Muchas gracias por la atención

FIN

The best
Is yet
To come