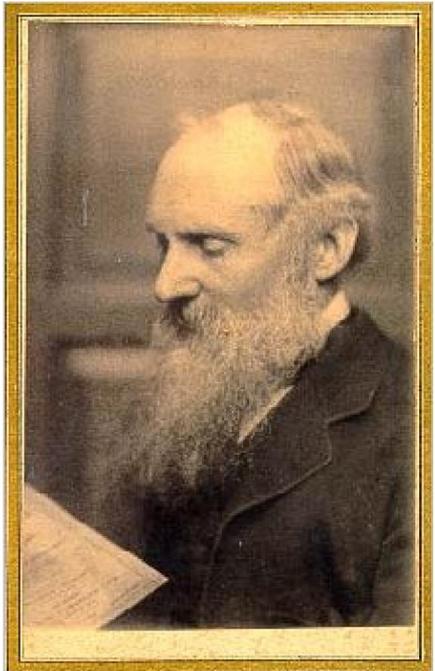


LA NUEVA DEFINICIÓN DEL KELVIN Y SUS IMPLICACIONES

Dolores del Campo Maldonado



DEFINICIÓN DEL KELVIN: 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1967 (Metrologia 1968, 4, 43)

“La unidad de Temperatura, kelvin, es la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua ()”*

CIPM 2005:

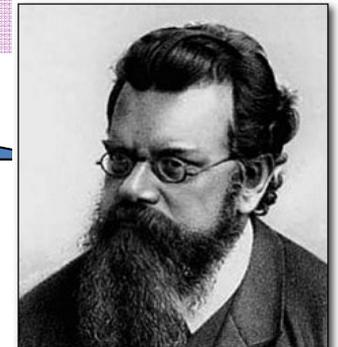
(*) Agua con la composición isotópica (VSMOW):
 Temperatura del punto triple del agua
 0,000 155 76 moles de ^2H por mol de ^1H , 0,000 379 9
 moles de ^{17}O por mol de ^{16}O y 0,000 2005 2 moles de
 ^{18}O por mol de ^{16}O



... Pero en 2019

kelvin (y °C) se definirán en función del promedio de la cantidad de energía que los átomos y las moléculas de una sustancia tienen a una temperatura determinada.

Especificando valor exacto para k (en unidades de $J \cdot K^{-1}$)



ya partir de 2019, las medidas de temperatura serán fundamentalmente medidas de la energía del movimiento molecular!



...pero la mayoría de los termómetros seguirán siendo calibrados de acuerdo a la EIT-90...

¿Qué es k ?

- ❑ Es el “factor de conversión” entre energía térmica y energía mecánica (entre J y N·m).
- ❑ Es un puente entre la física microscópica y macroscópica (principio de equipartición):

En un sistema de partículas (p.e. un gas), en estado de equilibrio su energía interna sólo depende de la temperatura:

$$E \propto \frac{1}{2} \cdot k \cdot T$$

- ❑ Según CODATA (2017):

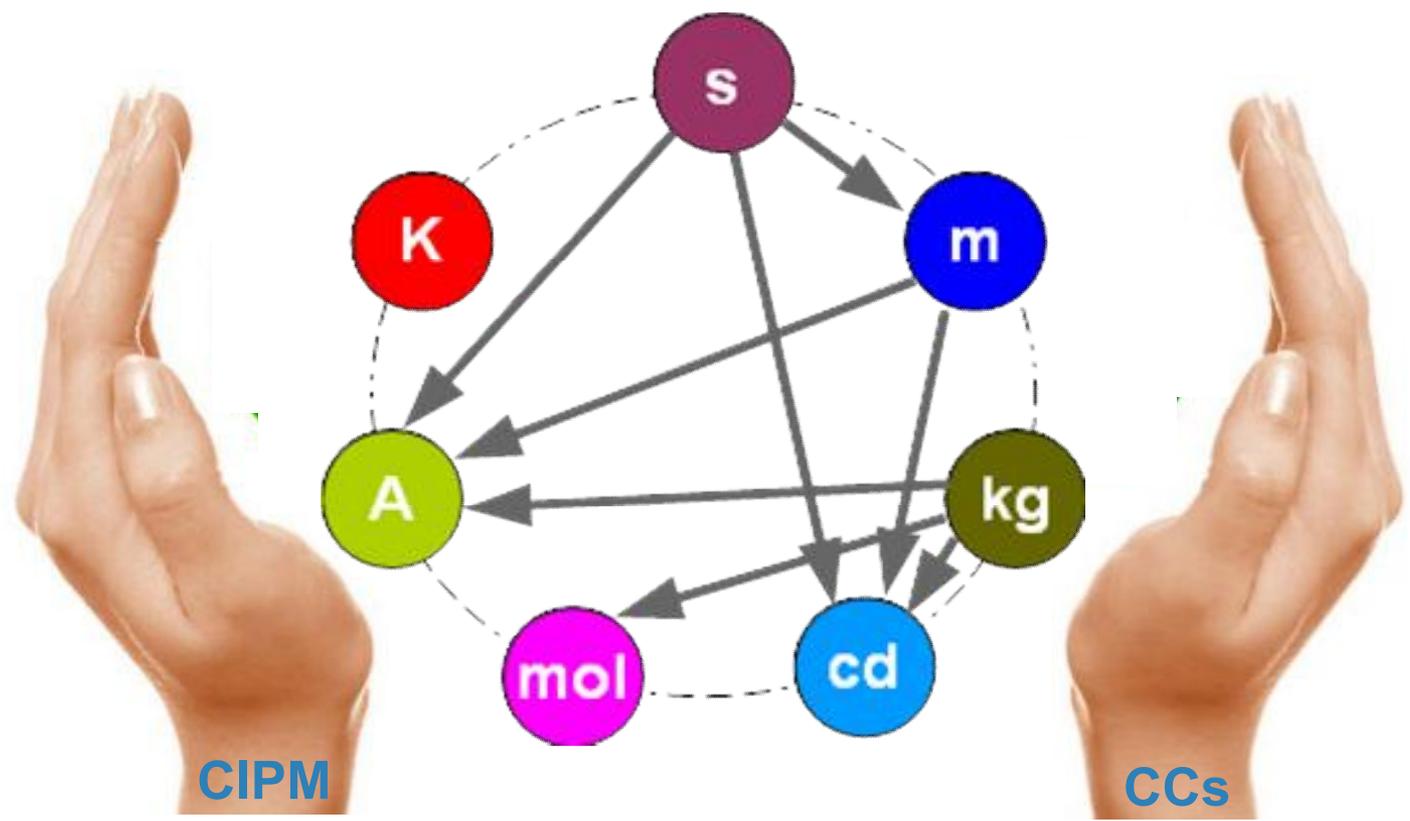
$$k = R \cdot N_A^{-1} = 1,380\ 649 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

La constante de Boltzmann

Las unidades J y N·m representan la misma magnitud en el SI (energía) por lo que deberían ser idénticas pero, debido a que en la actualidad el kelvin se define de forma independiente al del resto de las unidades básicas, hay ciertas diferencias causadas por las distintas fuentes de error a las que se ven sometidos los termómetros.

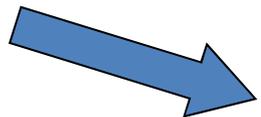
¡Sólo los termómetros termodinámicos pueden establecer directamente esta relación!

La relación entre el mensurando y la temperatura termodinámica a través de una ley de la física





Deriva del kg

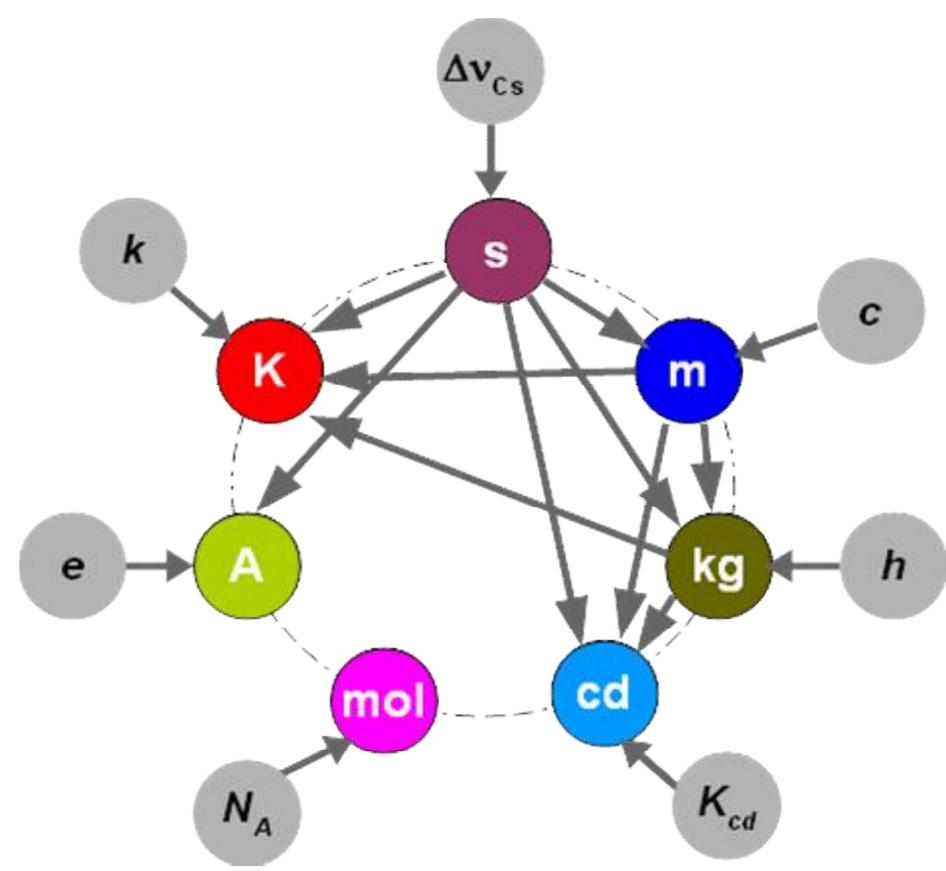


Definición del A

El CIPM tras muchas consideraciones decidió abandonar el “viejo estilo” de definir las unidades en función de la mejor tecnología disponible en un momento determinado para definir las en función de algo mucho más estable a lo largo del tiempo :



¡Las **CONSTANTES FÍSICAS** de la **NATURALEZA!**



Del problema del kilogramo y del amperio podemos **aprender una importante lección** → deben evitarse definiciones de las unidades basadas en “los mejores desarrollos tecnológicos del momento”.

DEFINICIÓN

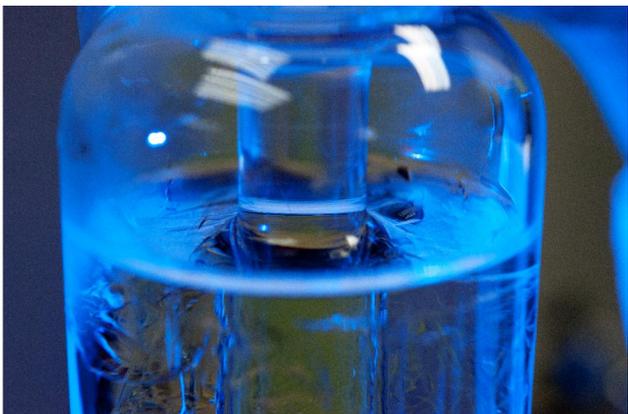
REALIZACIÓN





Al crear SI basado en constantes de la naturaleza, el concepto de lo que queremos decir con “unidad de medida” permanecerá a lo largo del tiempo sujeto sólo a las propias leyes de la física. El beneficio es que estas definiciones serán exactas y sin incertidumbre a pesar de los futuros cambios tecnológicos que puedan producirse y estos mismos cambios podrán ser utilizados para mejorar la propia realización de estas unidades

Usando la definición actual, la temperatura del punto triple del agua tiene el valor exacto de 273,16 K (0,01 °C) y es el punto de partida de todas las calibraciones de termómetros de alta calidad metrológica.



¡cualquier temperatura que se mide es una comparación con la temperatura del punto triple del agua!

La nueva definición del K

Tras la nueva definición el kelvin será tal que la constante de Boltzmann tendrá un valor exacto de $1,380\ 649 \times 10^{-23}$ J/K. Este número se ha elegido de forma que el punto triple del agua seguirá teniendo el mismo valor: 273,16 K, pero a partir de la nueva definición tendrá asociado una incertidumbre de medida

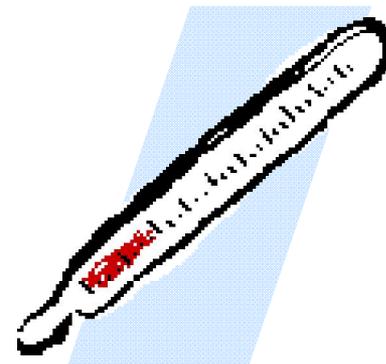


273,160 00 K \pm 0,000 10 K



El problema básico en la construcción de un termómetro termodinámico o absoluto es encontrar ecuaciones teóricas de la física en las que intervenga la temperatura junto con otra magnitud medible y que pueda materializarse en un sistema real (termómetro) con la precisión requerida.

Se llama termómetro primario o termodinámico, aquel cuyo comportamiento sigue una ley física.



Evolución de los requisitos



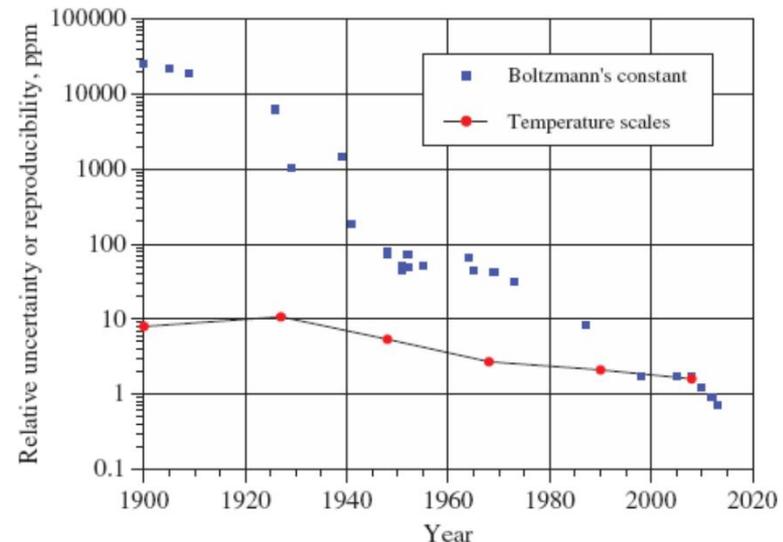
k con incertidumbre relativa de 1×10^{-6} por al menos dos métodos totalmente independientes y corroborada por algún otro.



k al menos uno de los métodos con incertidumbre relativa 1×10^{-6} y otro mejor que 3×10^{-6} .

... aún así

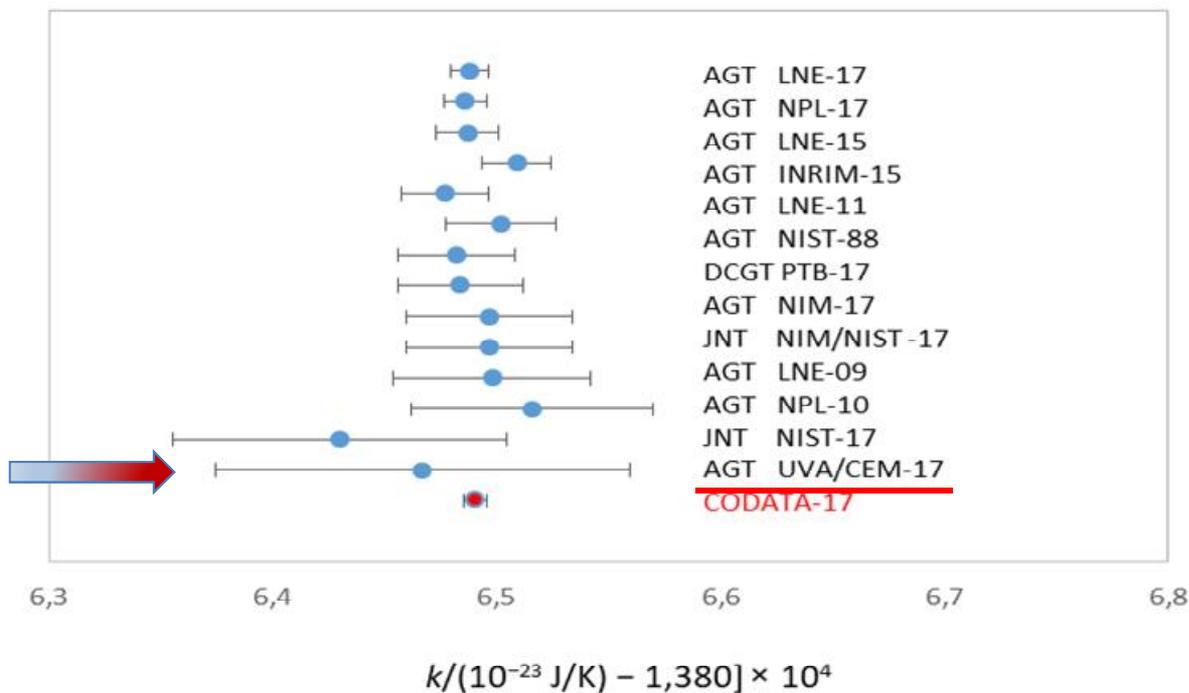
la **mejora** de la incertidumbre en la determinación de la constante de Boltzmann ha sido espectacular en los últimos años !!!



Fuente: Metrologia 52 (2015) S213–S216



considerando que se habían cumplido los requisitos establecidos en 2014 ya que tres experimentos: AGT, DCGT y JNT habían conseguido determinar k y que uno de ellos (AGT) lo había hecho con una incertidumbre relativa inferior a 1×10^6 elevó una recomendación al CIPM para que se finalizase la re-definición del kelvin



EL TERMÓMETRO ACÚSTICO

Ecuación para un GAS IDEAL:

$$u_0^2 = \gamma \cdot \frac{k \cdot T}{m} \quad \text{con} \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v} = 5/3 \text{ para gases monoatómicos}$$

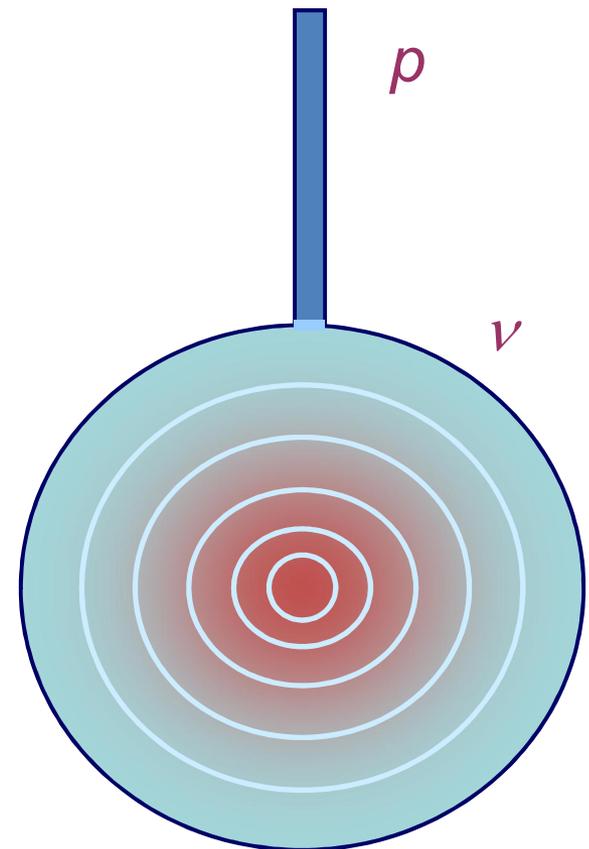
Ecuación de para un GAS REAL:

$$u^2 = u_0^2 \cdot (1 + \alpha \cdot p + \beta \cdot p^2 + \dots)$$

EXPANSIÓN DEL VIRIAL

- Parámetros a determinar:
- p
 - *frecuencias de resonancia ν*

Problemas:
Determinación del volumen del resonador



EL TERMÓMETRO DE CONSTANTE DIELECTRICA

Ecuación de Clausius-Mossoti para GAS IDEAL:

$$\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r - 2} = \frac{\alpha}{V_m} = \frac{\alpha}{N_A} \cdot \frac{p}{k \cdot T}$$

Ecuación de Clausius-Mossoti para GAS REAL:

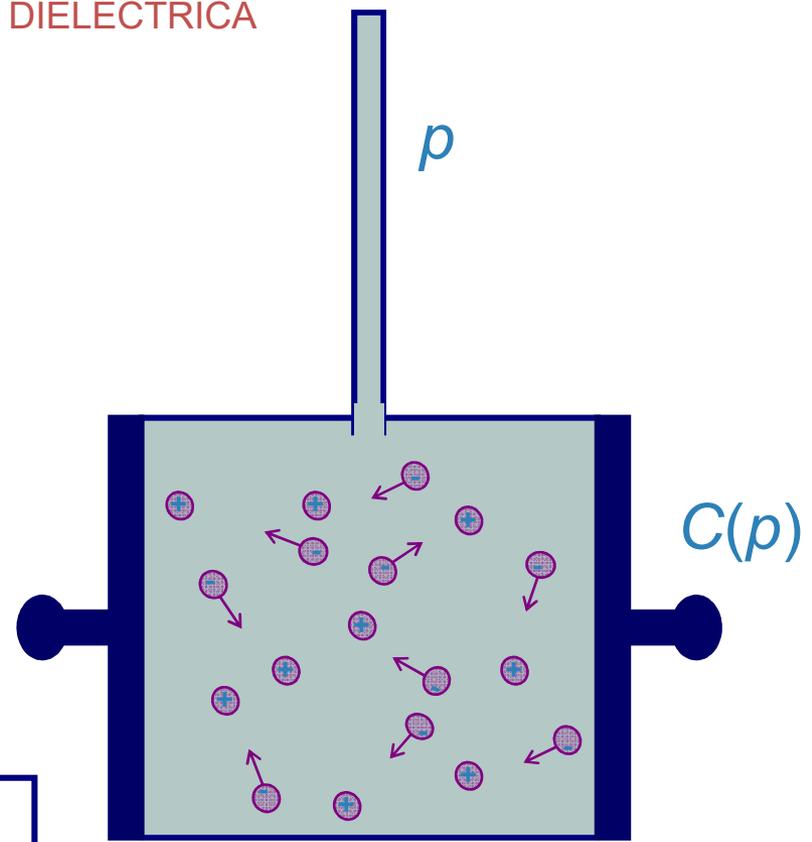
$$\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r - 2} = \frac{\alpha}{V_m} \left(1 + \frac{b}{V_m} + \frac{c}{V_m^2} + \dots \right)$$

Polarizabilidad molar del He determinada en 2004 con incert. de 10^{-6}

EXPANSIÓN DEL VIRIAL

- Parámetros a determinar:
- p
 - Relación de capacidades

Problemas:
Necesidad de medir la presión con incertidumbre relativa de 10^{-6} y relación de capacidades con 10^{-9} .



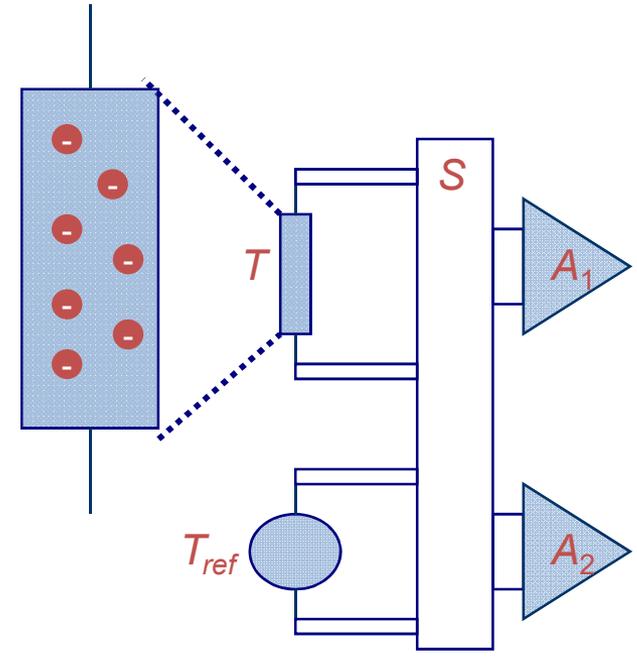
Termometría de ruido:

Fórmula de Nyquist:
$$\overline{V^2} \approx 4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta\nu$$

Para $h \cdot \nu \ll k \cdot T$ (bajas frecuencias)

Parámetros a determinar:
• V
• ν

Problemas:
Amplificadores (estabilidad de la ganancia y del ancho de banda) y aislamiento (fuentes de ruido externas).
Tiempos de integración de semanas.





Mise-en-Pratique para la definición del kelvin

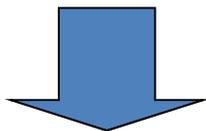
✓ Guía para la realización práctica de la unidad de temperatura de acuerdo con el SI.

✓ Instrumento abierto y flexible que permite la inclusión de nuevos métodos de medida

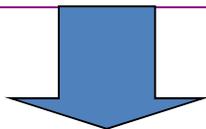
✓ Actualmente EIT-90 + EPBT-2000 y diferencias entre t_{90} y T

✓ En el futuro incluirá: métodos primarios, aproximaciones indirectas...

La nueva definición no altera el valor del punto triple del agua!!



No afectará las calibraciones que se realicen de acuerdo con la EIT-90.



INFLUENCIA INAPRECIABLE A NIVEL INDUSTRIAL (intencionado)



...para $-253\text{ °C} > t > 1000\text{ °C}$ convivirán calibraciones según EIT-90 y medidas directas de temperatura termodinámica...



Gracias por su atención