

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Mauricio López R.
División de Tiempo y Frecuencia
CENAM

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Contenido



Ícono del Fuego Nuevo
Culturas prehispánicas en Mesoamérica

0. Introducción
1. La unidad de tiempo
2. El SI y el segundo
3. Peines de frecuencia
4. Relojes ópticos

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

0. Introducción

Los antecedentes



CENAMI
CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA

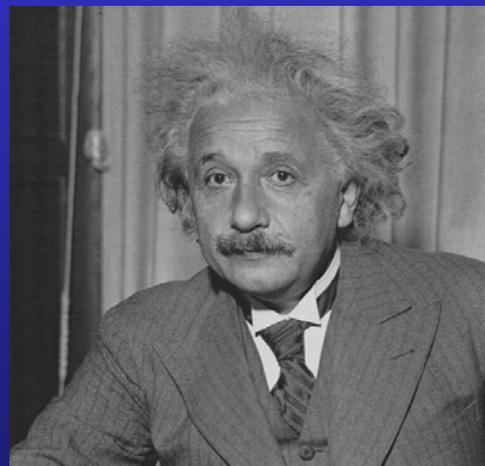


Encuentro Nacional
de Metrología
Eléctrica
13, 14 y 15 de junio de 2005

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



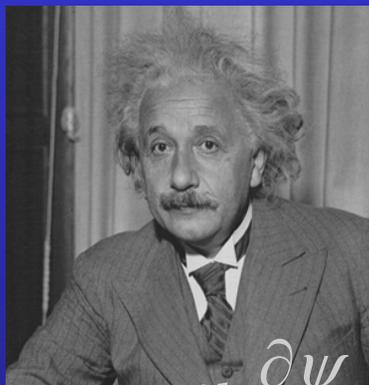
Albert Einstein



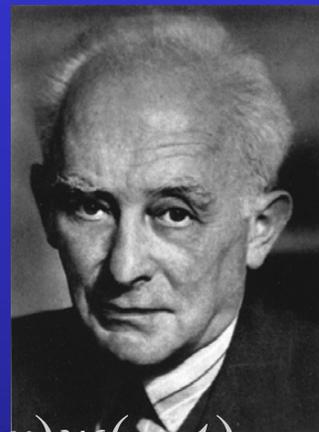
Conmemorando el primer centenario de los
artículos de Albert Einstein de 1905

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Albert Einstein



Max Born

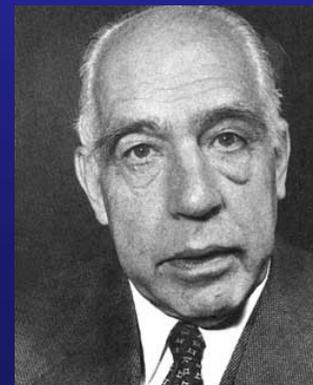


$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + V(x)\psi(x,t)$$

Erwin Schrödinger



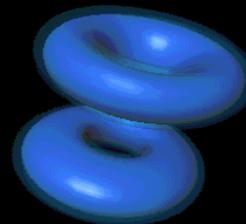
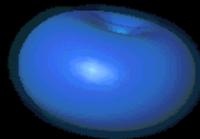
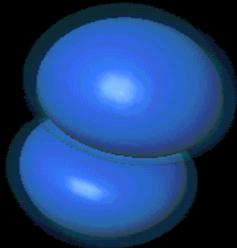
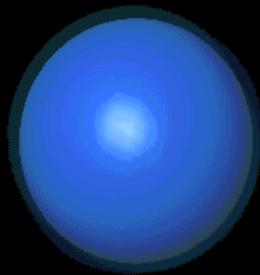
Niels Bohr



La Unidad de Tiempo, el SI y la
Metrología Eléctrica

Mecánica Cuántica

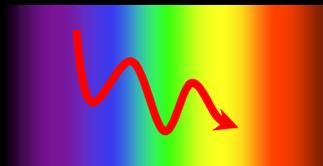
$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi$$



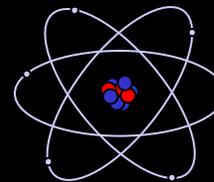
La Unidad de Tiempo, el SI y la
Metrología Eléctrica

Interacción Radiación-Materia

Principio físico de operación de relojes atómicos



*Electromagnetismo/
Óptica*

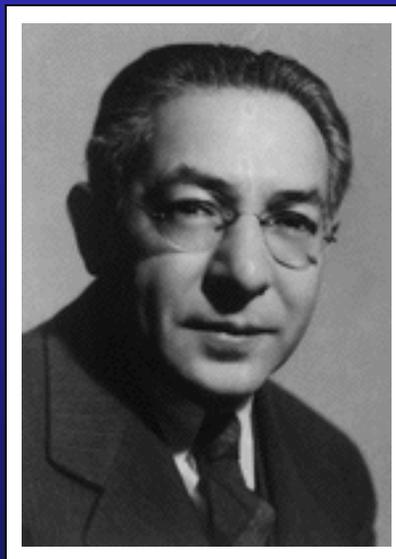


Física Atómica

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi$$

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

El principio para usar transiciones atómicas como referencias para construir patrones de frecuencia fue propuesto por primera vez por I. Isaac Rabi de la Universidad de Columbia en los años 1930s



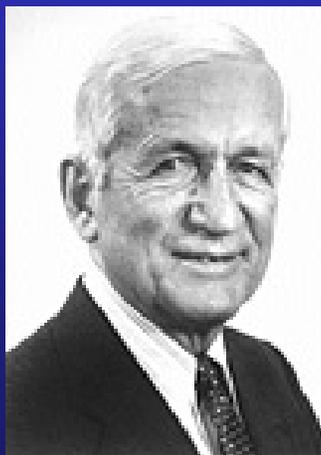
I. Isaac Rabi



**The Nobel Prize
in Physics 1944**

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

La invención del método de los campos oscilantes separados y su aplicación en los relojes atómicos fue hecha por Norman Ramsey

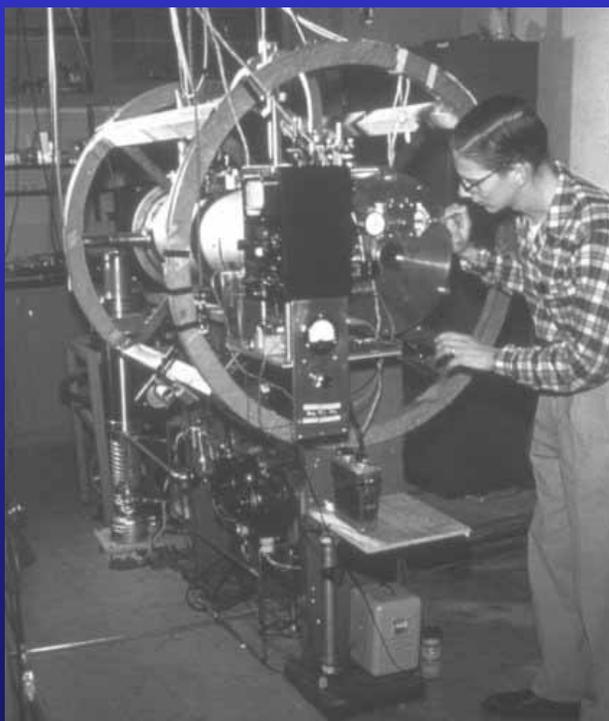


Norman F. Ramsey



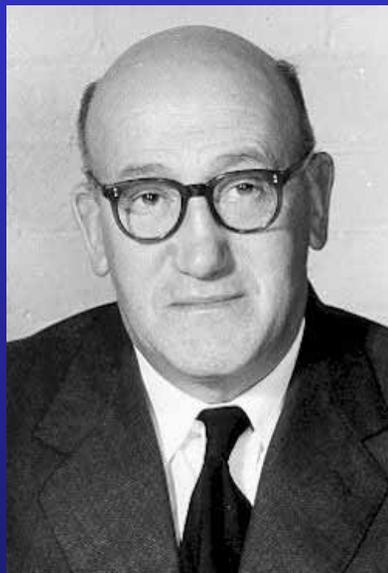
**The Nobel Prize
in Physics 1989**

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

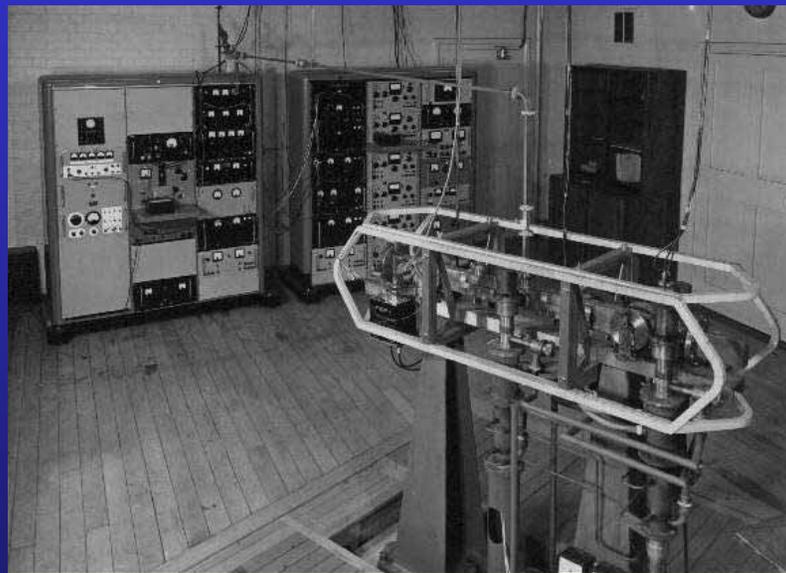


NBS-1, 1952

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

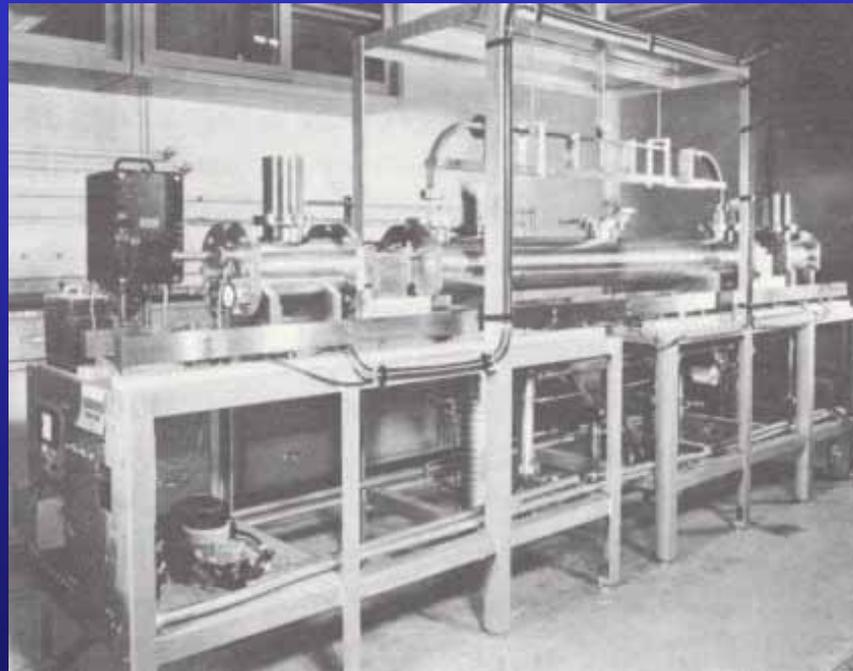


Louis Essen



Caesium I, 1955 (NPL)

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



NBS-2, 1960

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

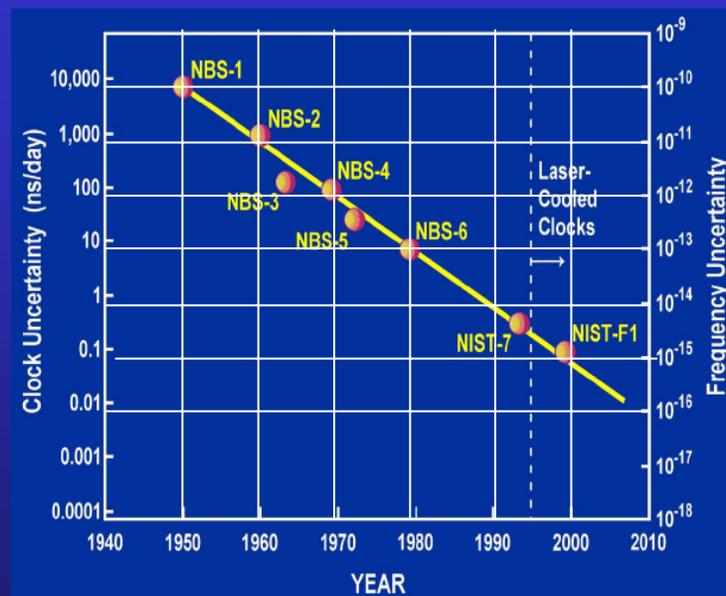


Atomichron (Atomic-Cesium) Clock, 1960
National Company, Inc
Malden, Massachusetts
USD 20,000

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

1. La unidad de tiempo

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



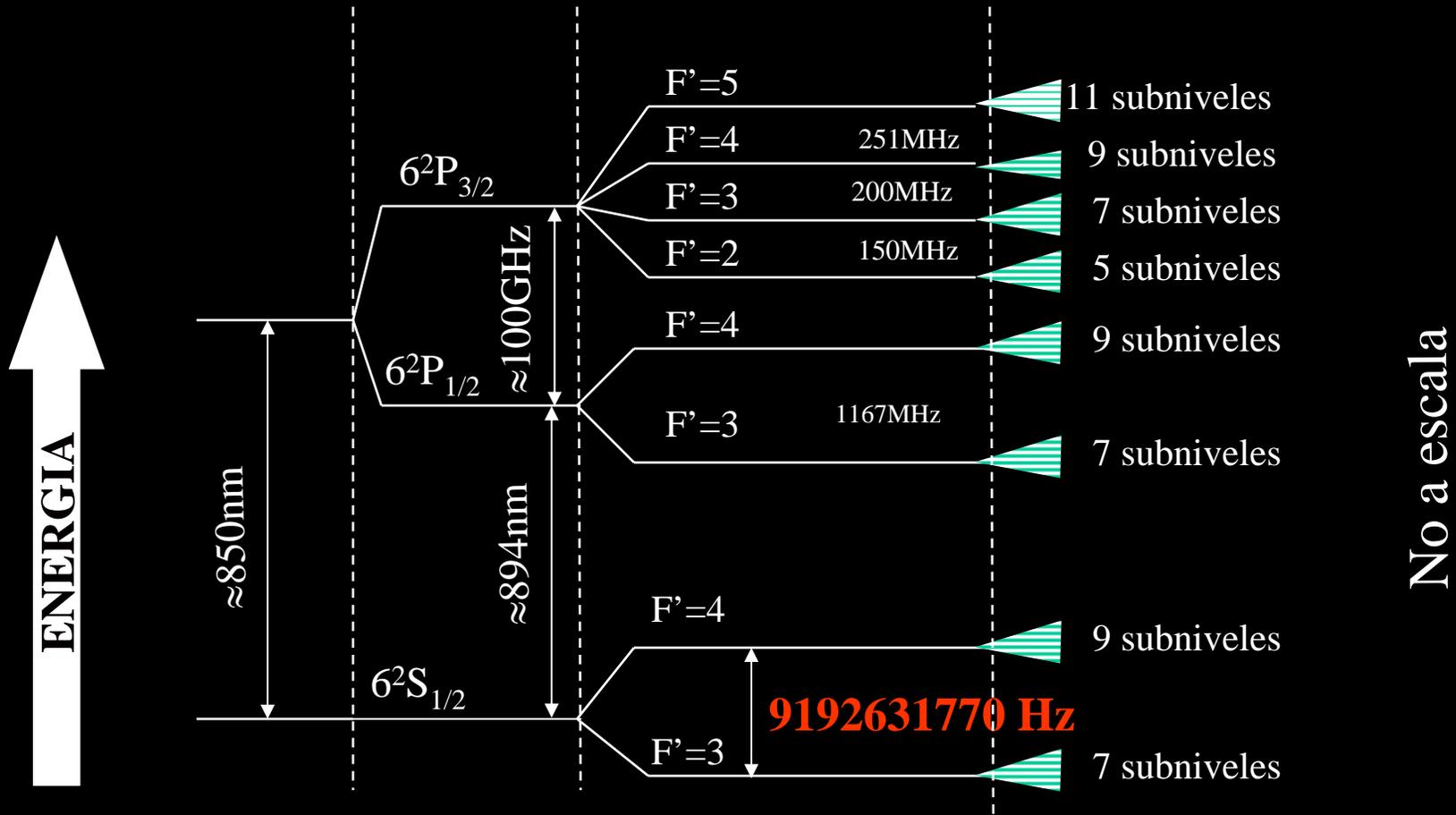
La realización de la unidad de tiempo muestra, en términos generales, una mejora en el nivel de incertidumbre de un orden de magnitud por década. El gráfico muestra la evolución del nivel de exactitud de los patrones primarios de frecuencia desarrollados por el National Institute of Standards and Technology (NIST).

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Un segundo es la duración de 9 192 631 770
períodos de la radiación asociada a la transición
hiperfina del estado base del átomo de Cesio-133

13a Conferencia General de Pesas y Medidas
Octubre de 1967

Primeros niveles de energía del átomo de Cesio-133



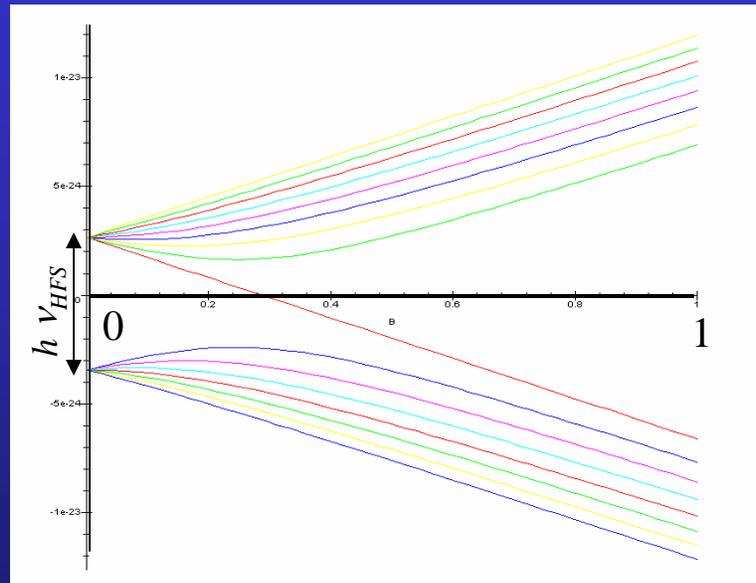
Eléctrica + Espín-órbita + Electrón Núcleo + Efecto Zeeman

INTERACCION

No a escala

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Energía / Joules



Inducción
magnética /
Teslas

$$\delta E = -\frac{h\nu_{HFS}}{2(2I+1)} - g_I \mu_B m_F B_0 \pm \frac{1}{2} h\nu_{HFS} \sqrt{1 + \frac{4m_F}{2I+1} \frac{\mu_B(g_I + g_J)}{h\nu_{HFS}} B_0 + \frac{\mu_B^2(g_I + g_J)^2}{h^2\nu_{HFS}^2} B_0^2}$$

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Relojes atómicos de selección magnética



CENAMI
CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA



**Encuentro Nacional
de Metrología
Eléctrica**
13, 14 y 15 de junio de 2005

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



CsV, NRC

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



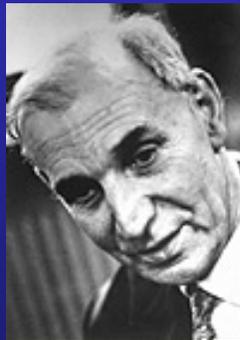
Relojes atómicos de selección magnética del PTB

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Relojes atómicos de bombeo óptico

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

El descubrimiento y desarrollo de métodos ópticos para el estudio de resonancias de radio en átomos fue llevado a cabo por Alfred Kastler



Alfred Kastler

France

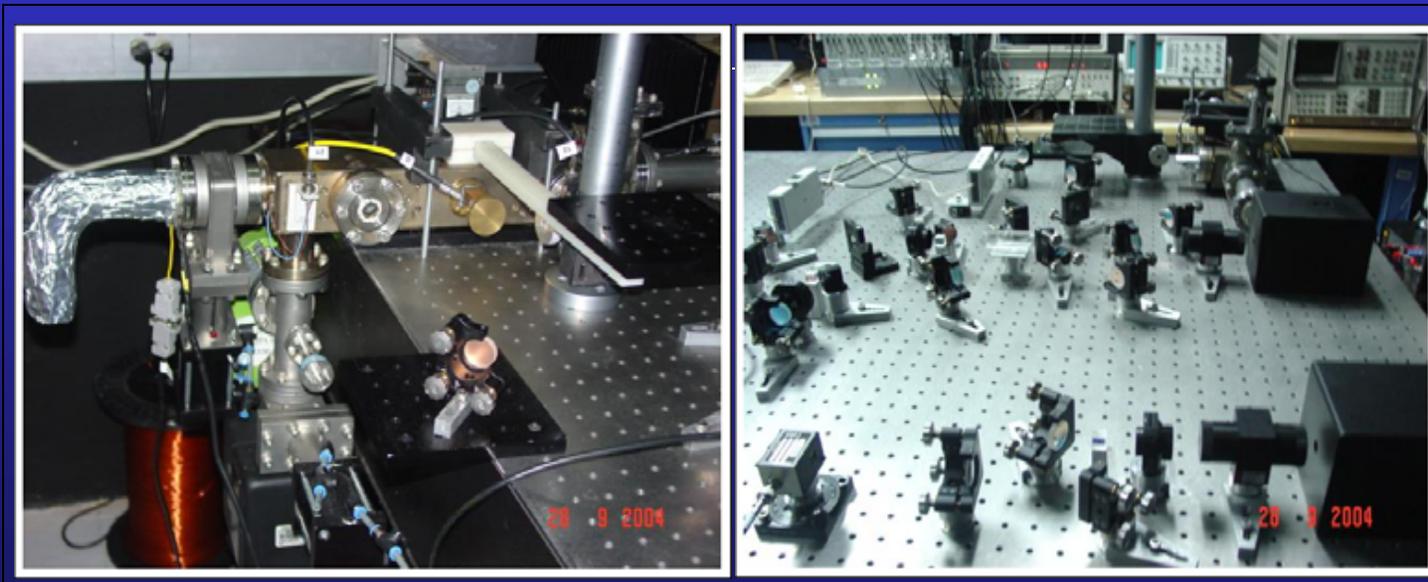
École Normale Supérieure, Université de Paris
Paris, France

b. 1902
d. 1984



**The Nobel Prize
in Physics 1966**

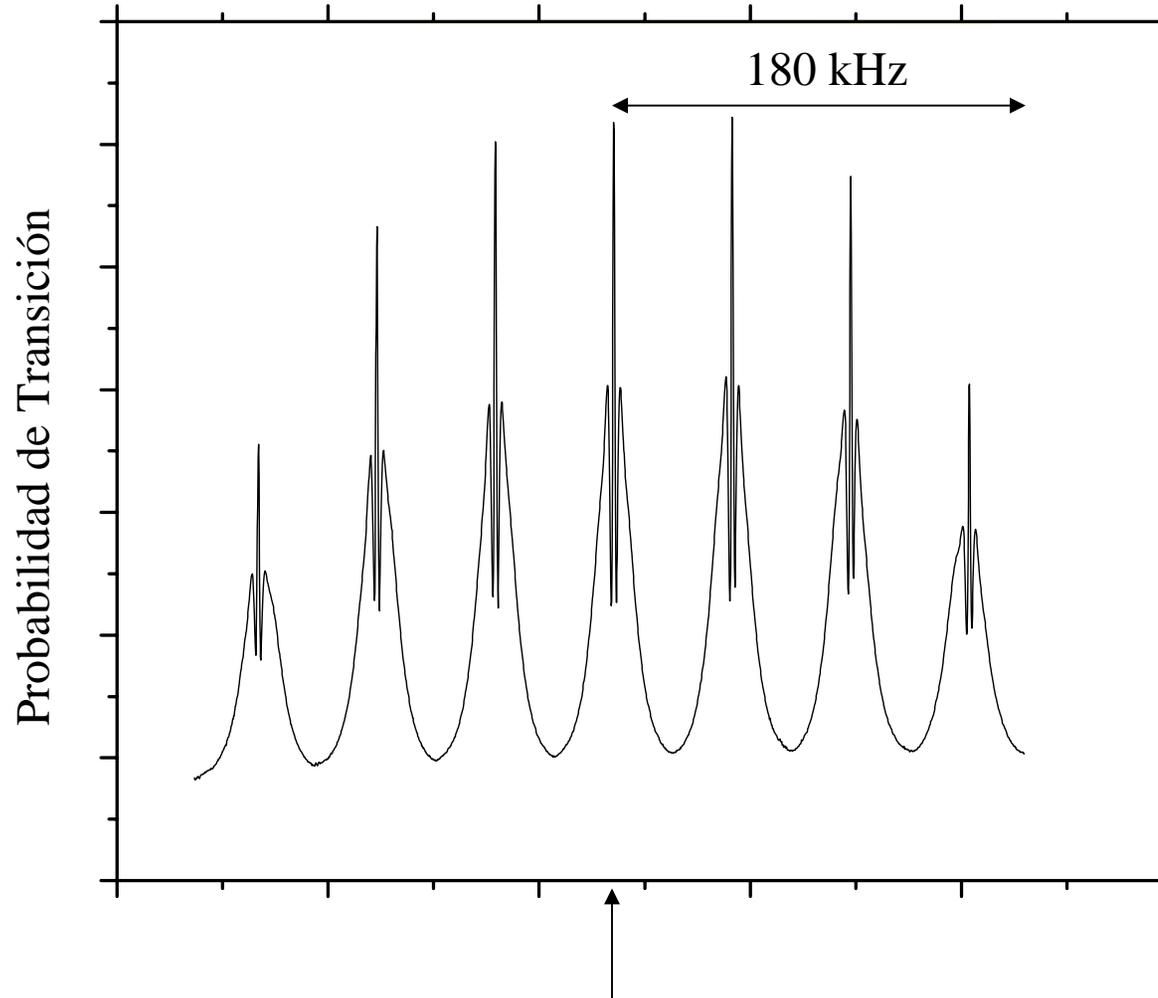
La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



CsOp-1, CENAM

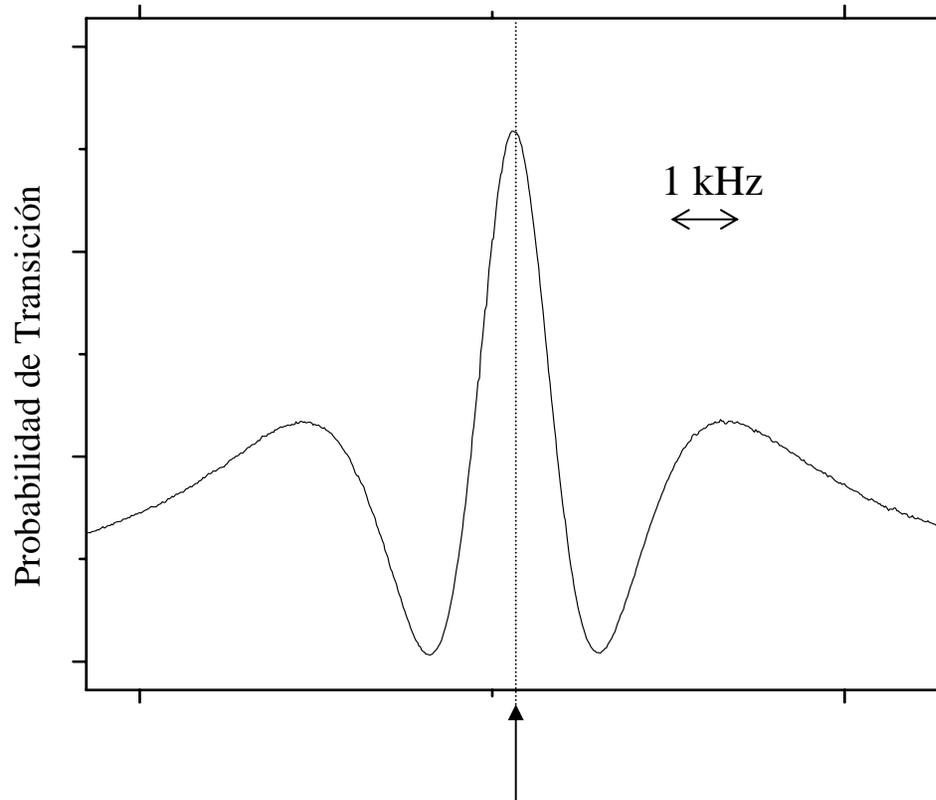


Espectro de Ramsey del CsOp-1



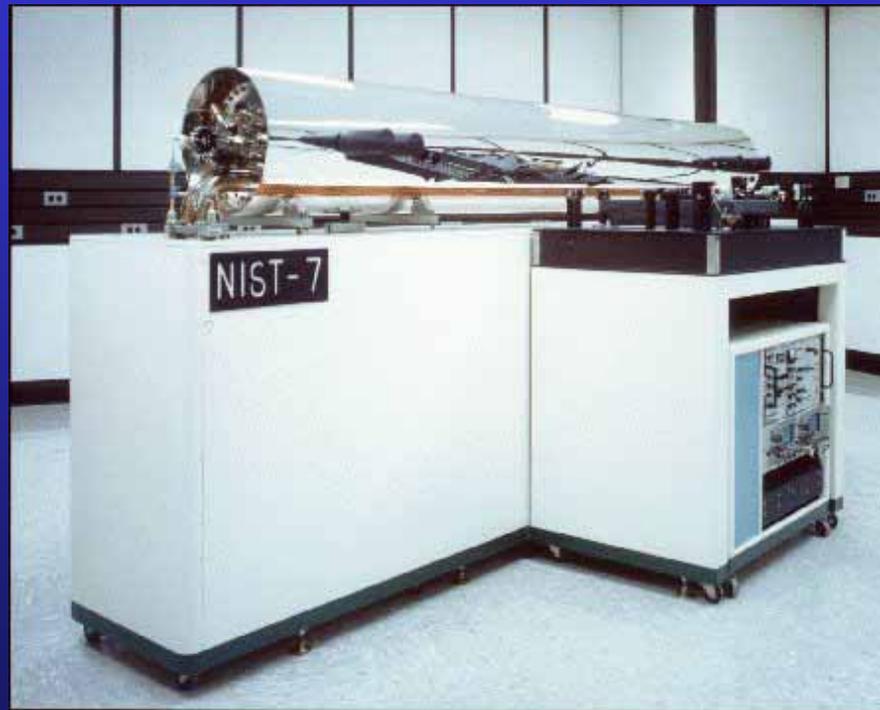


Franja de Ramsey del CsOp-1 (línea central del espectro de Ramsey)



Frecuencia que define a la
unidad de tiempo del SI

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



NIST-7, NIST

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Relojes de átomos fríos de Cs-133



CENAM
CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA



Encuentro Nacional
de Metrología
Eléctrica
13, 14 y 15 de junio de 2005

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Manipulación de átomos con luz



Steven Chu

USA

Stanford University
Stanford, CA, USA

b. 1948



Claude Cohen-Tannoudji

France

Collège de France; École
Normale Supérieure
Paris, France

b. 1933



William D. Phillips

USA

National Institute of
Standards and Technology
Gaithersburg, MD, USA

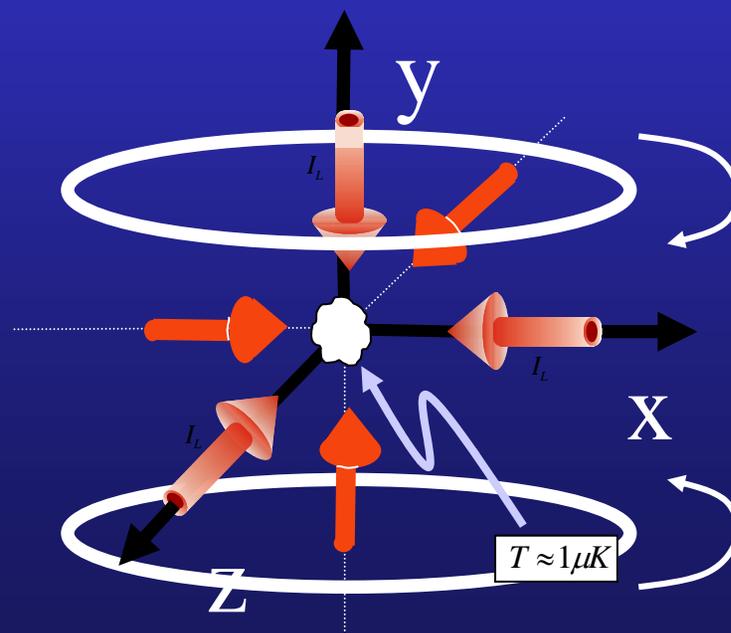
b. 1948



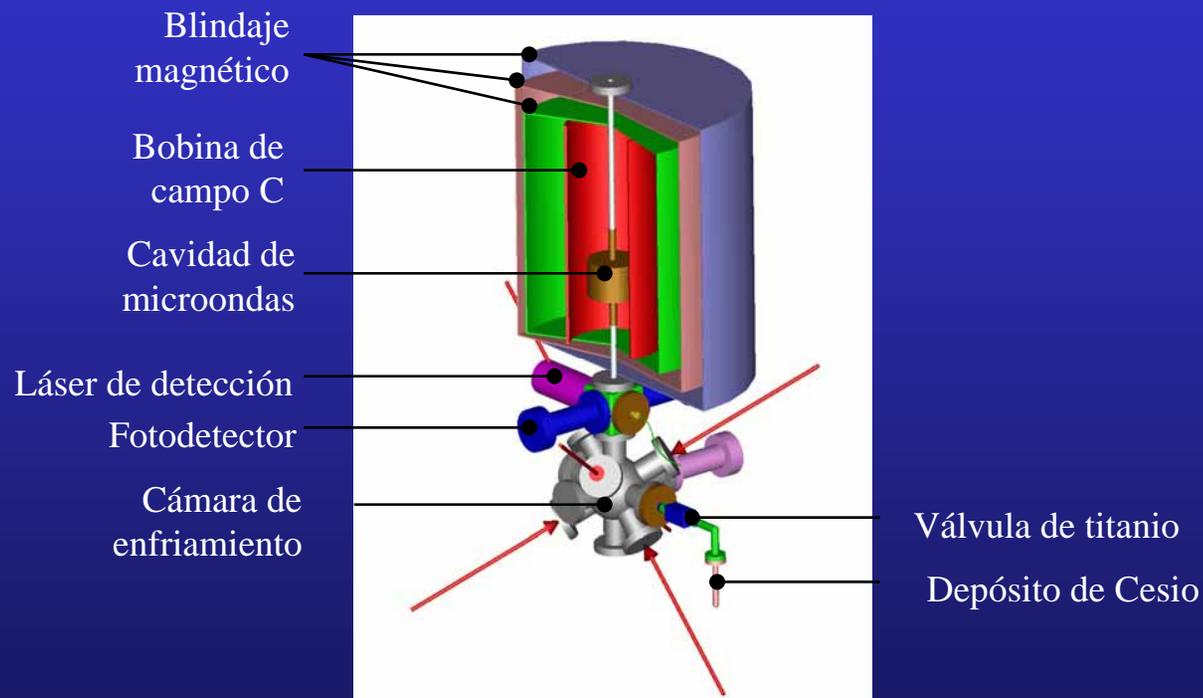
**The Nobel Prize
in Physics 1997**

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Trampa Magneto-óptica Fuerzas tipo fricción

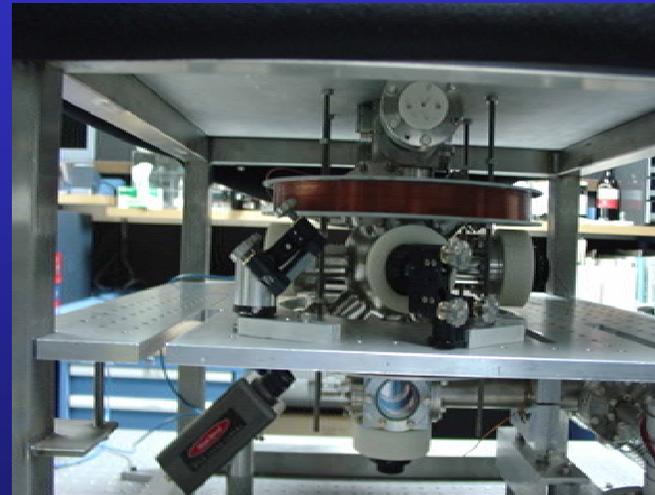
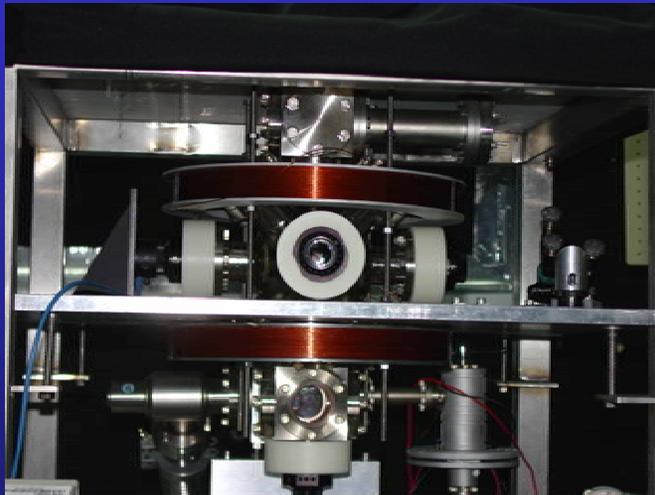


La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



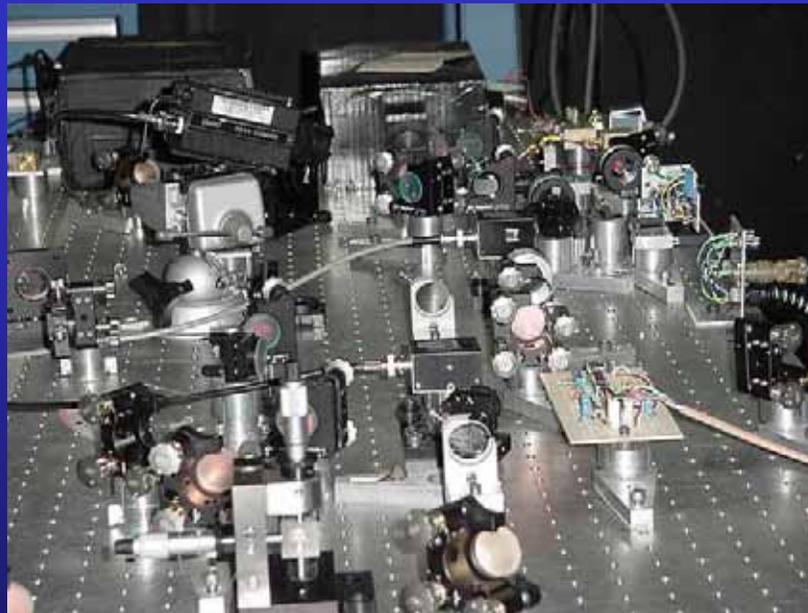
CsF-1, CENAM

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



Trampa Magneto-Óptica del CsF-1, CENAM

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



Sistema Óptico del CsF-1

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



NIST-F1

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

2. El SI y la Unidad de tiempo



CENAMI
CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA

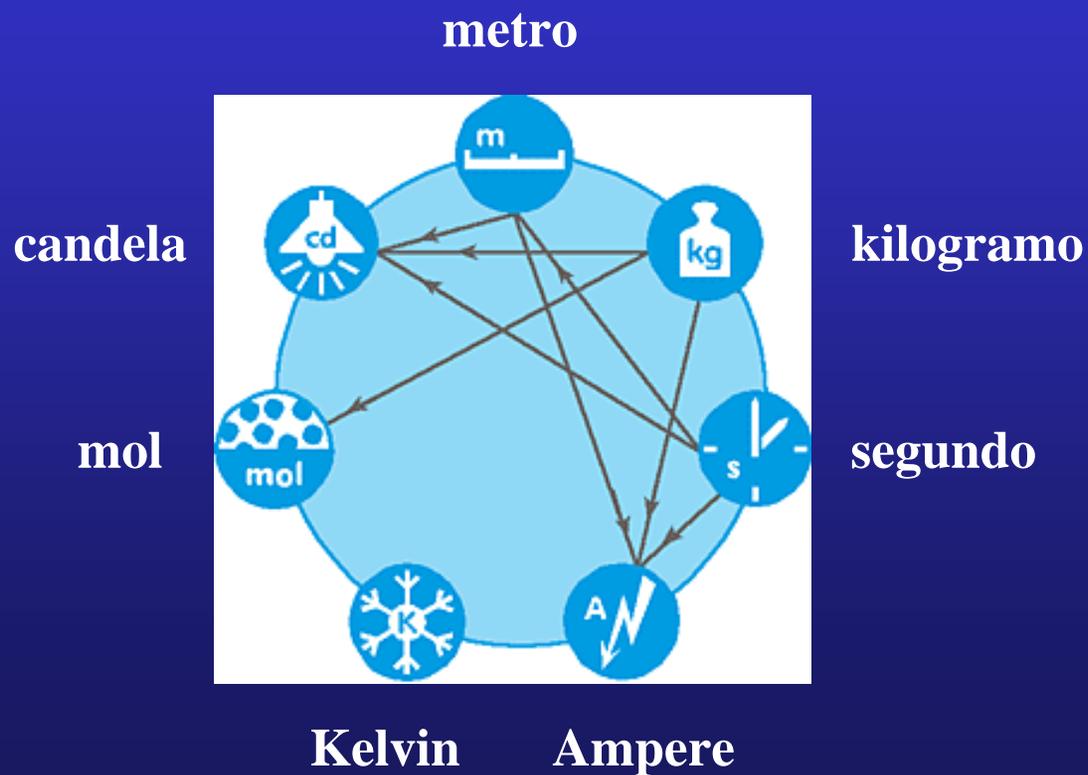


SECRETARÍA DE
ECONOMÍA | SE

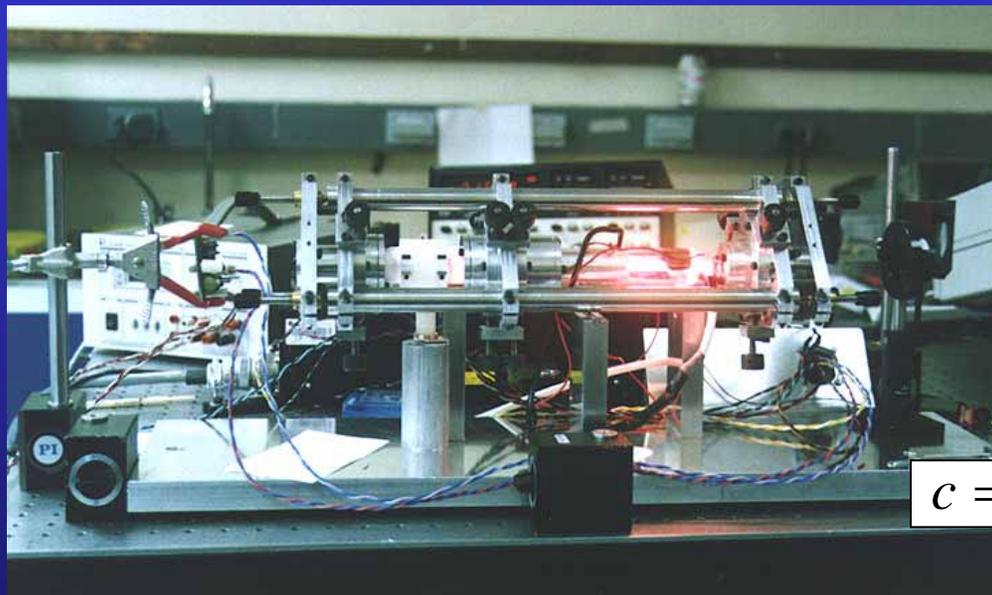


Encuentro Nacional
de Metrología
Eléctrica
13, 14 y 15 de junio de 2005

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



$$c = \lambda \nu$$

Láser de HeNe estabilizado al Yodo para la realización de la unidad de longitud. En la realización de la unidad de longitud se requiere la medición de la frecuencia de radiación de los láseres estabilizados

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



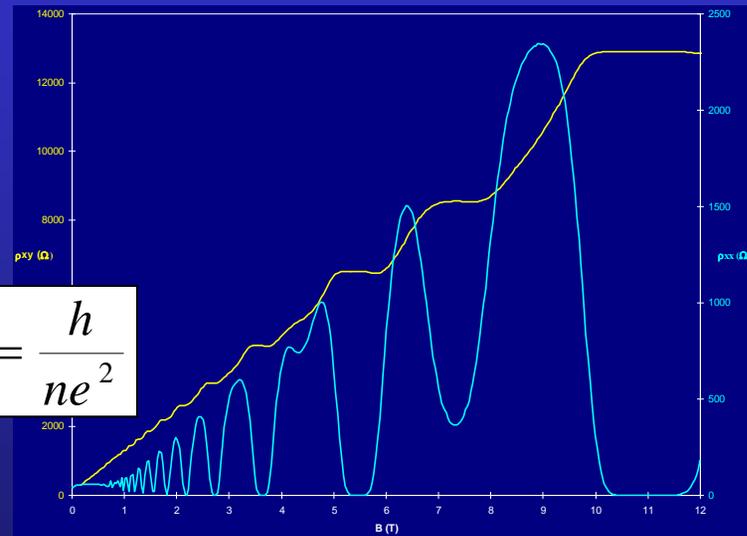
$$V = nf \frac{h}{2e}$$

En la reproducción de la unidad de tensión eléctrica por medio del efecto Josephson se requiere la medición de la frecuencia de radiación con la cual se generan los pares de cooper en el dispositivo Josephson

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



$$R_H = \frac{h}{ne^2}$$



La unidad de tiempo interviene de manera indirecta en el Efecto Hall Cuántico por medio de la unidad de tensión eléctrica

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi} \gamma B_0$$

En las mediciones de densidad de flujo magnético, por medio de la técnica de resonancia magnética nuclear, la unidad de tiempo interviene a través de la medición de la frecuencia de precesión del momento magnético nuclear alrededor del campo magnético

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

3. Peines de Frecuencia

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

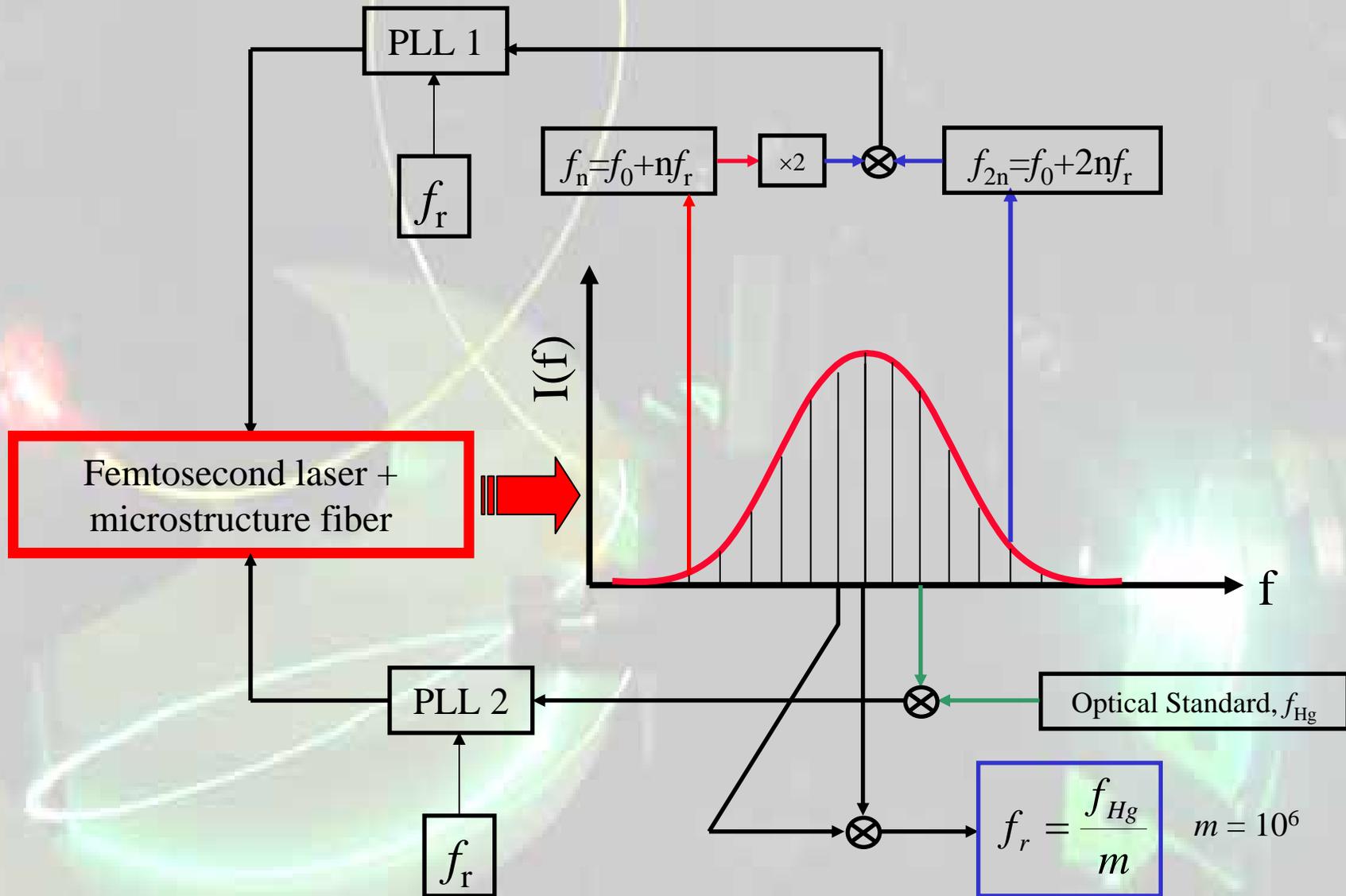
Peines de Frecuencia



Los peines de frecuencia permiten calibrar frecuencias ópticas usando como referencia los relojes atómicos de Cesio-133



Peines de Frecuencia



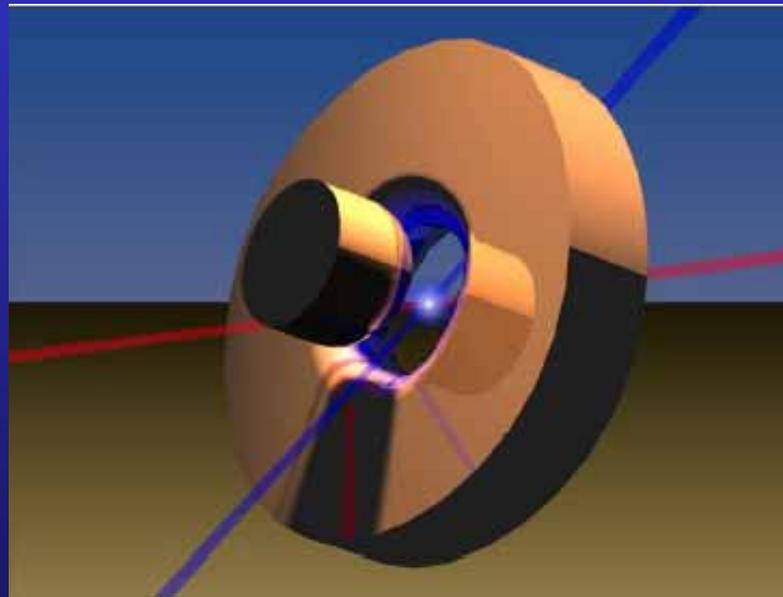
La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

4. Relojes Ópticos

El desarrollo de los peines de frecuencia han abierto un panorama muy interesante para el desarrollo de relojes ópticos, esto es, relojes cuya transición de referencia se encuentre en la parte visible del espectro electromagnético

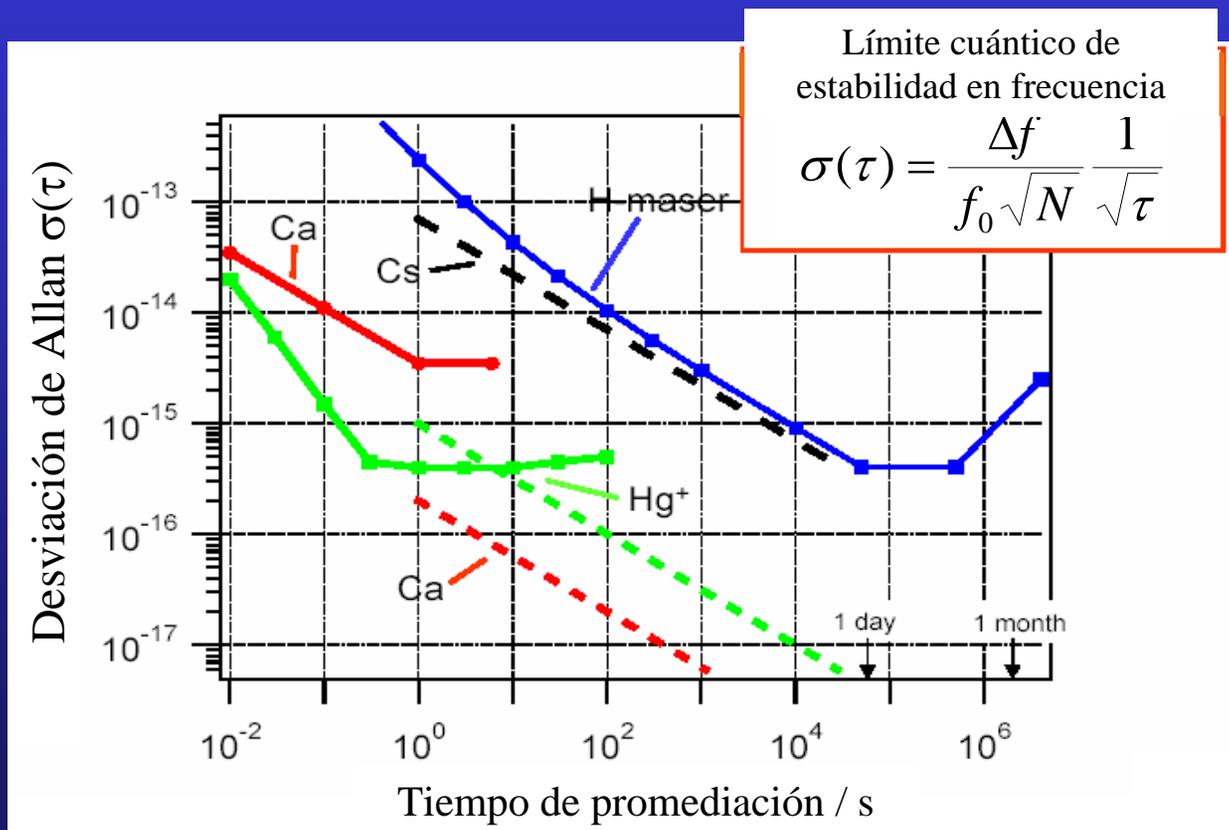
La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

Relojes Ópticos

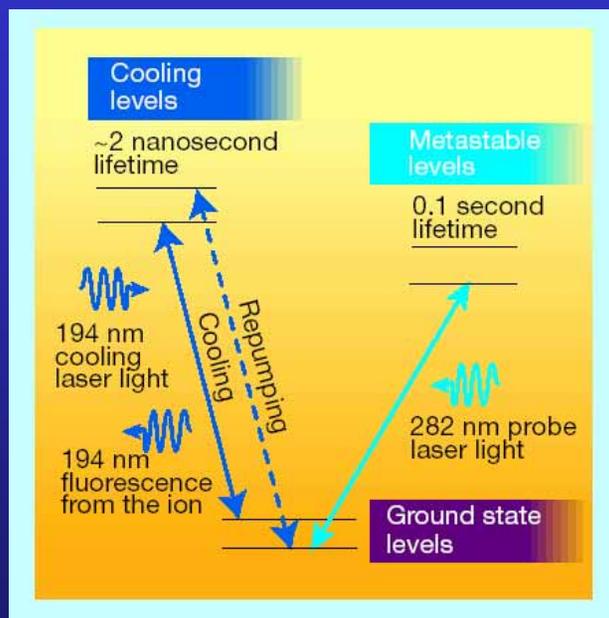


Trampa de iones de estroncio del NRC

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica



Niveles de energía de iones de mercurio



La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	*	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuc
		*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
		**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Elementos químicos usados en los relojes ópticos

La Unidad de Tiempo, el SI y la Metrología Eléctrica

GRACIAS

Mauricio López R.
División de Tiempo y Frecuencia
CENAM