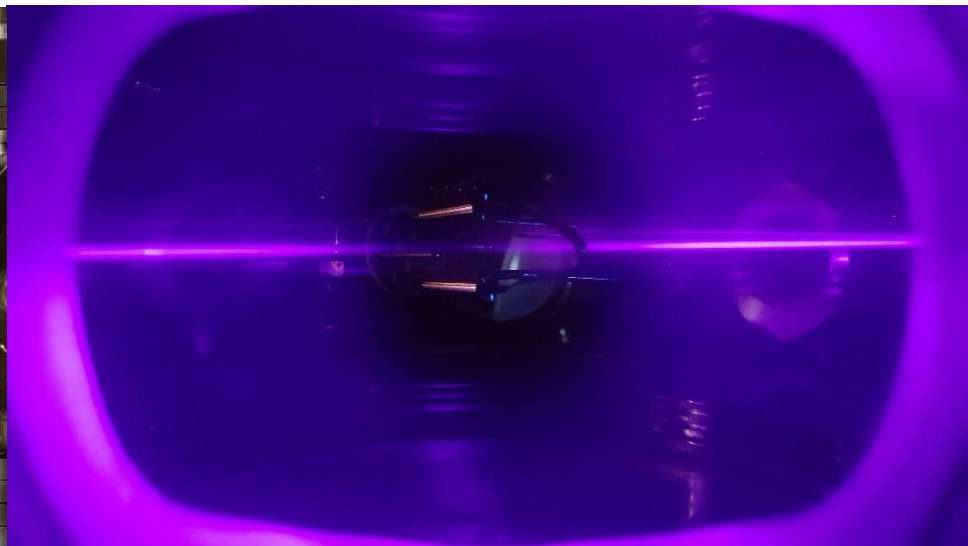
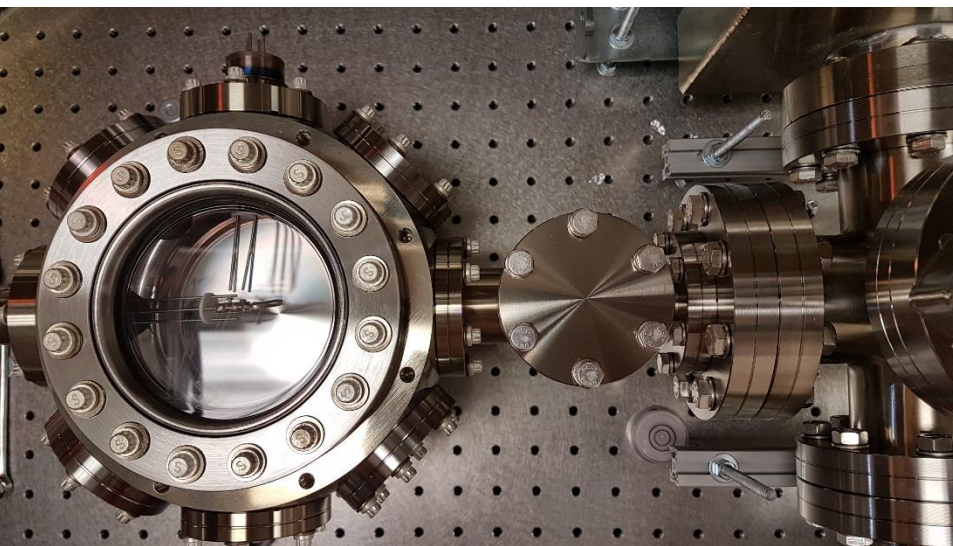


# Ytterbium Ion Clock

The next generation of Thailand Standard Time



Dr.Piyaphat Phoonthong  
Time Keeper/Researcher



Scan me

Astronomical Clock



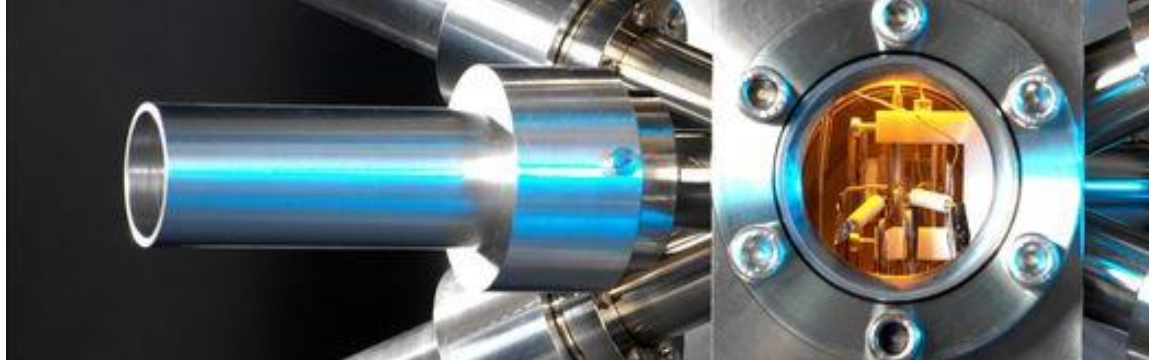
Mechanical Clock



Electrical Clock



Atomic Clock



พ.ศ. 2228 สมเด็จพระนารายณ์มหาราช

กล้องดูดาว นาฬิกากล

พ.ศ. 2400 พระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว

Bangkok Mean Time ณ พระที่นั่งภูวดลทัศไนย

พ.ศ. 2430 พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวมหาราช

ยิงปืนเที่ยง สร้างนาฬิกาแดดเรือนแรก

พ.ศ. 2463 พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว

พระราชกฤษฎีกาให้ใช้ GMT+7 (1 เมษายน 2463)

พ.ศ. 2476 กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

นาฬิกาสุกตัมเทียบกับการวัดดาราศาสตร์

พ.ศ. 2514 นาฬิกาอะตอมเรือนแรก

Rb Clock ให้บริการเทียบเวลาผ่านทางโทรศัพท์

พ.ศ. 2522 นาฬิกาอะตอมตามมาตรฐานสากล

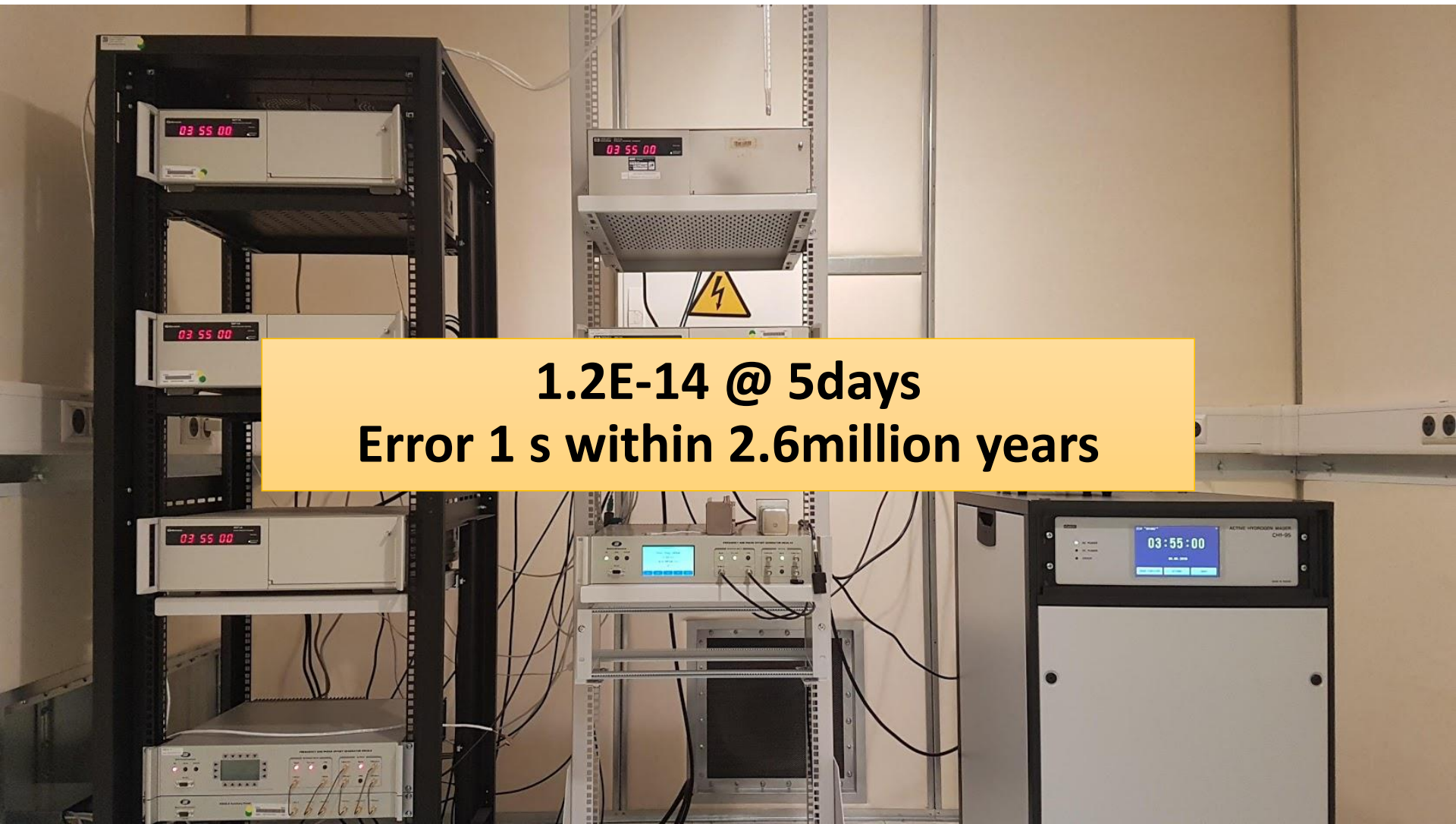
Cs Clock

พ.ศ. 2541 สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

UTC[NIMT]

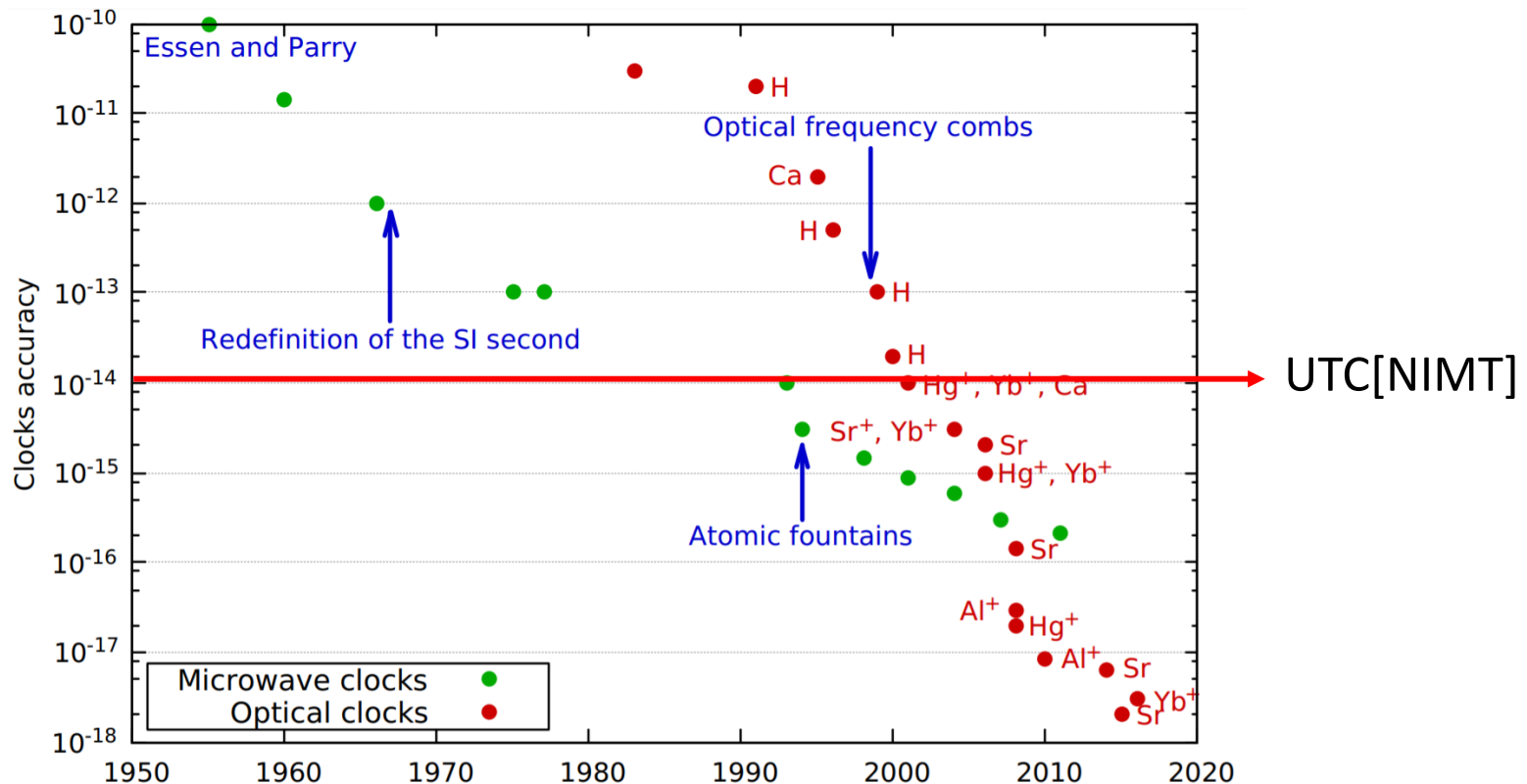


# UTC[NIMT]

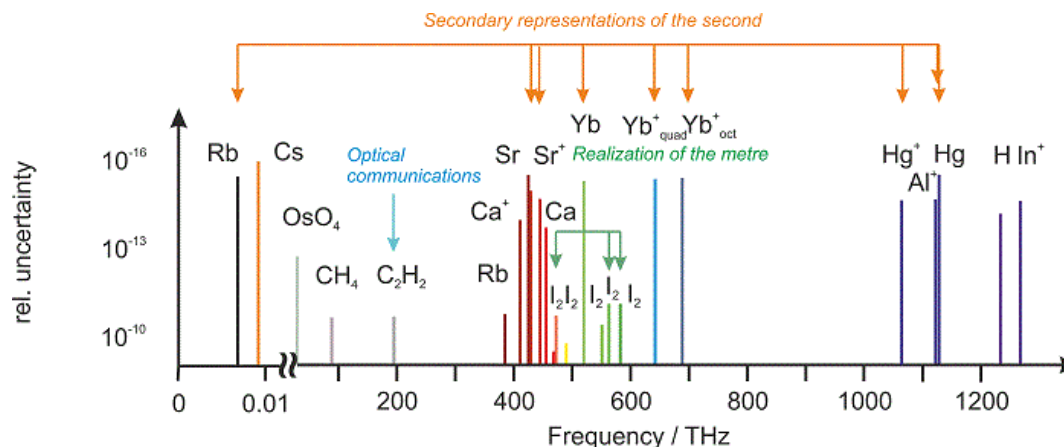


# Ytterbium Ion Clock

The second, symbol s, is the SI unit of time. It is defined by taking the fixed numerical value of the caesium frequency  $\nu_{\text{Cs}}$ , the unperturbed ground-state hyperfine transition frequency of the caesium-133 atom, to be 9 192 631 770 when expressed in the unit Hz, which is equal to  $\text{s}^{-1}$ .

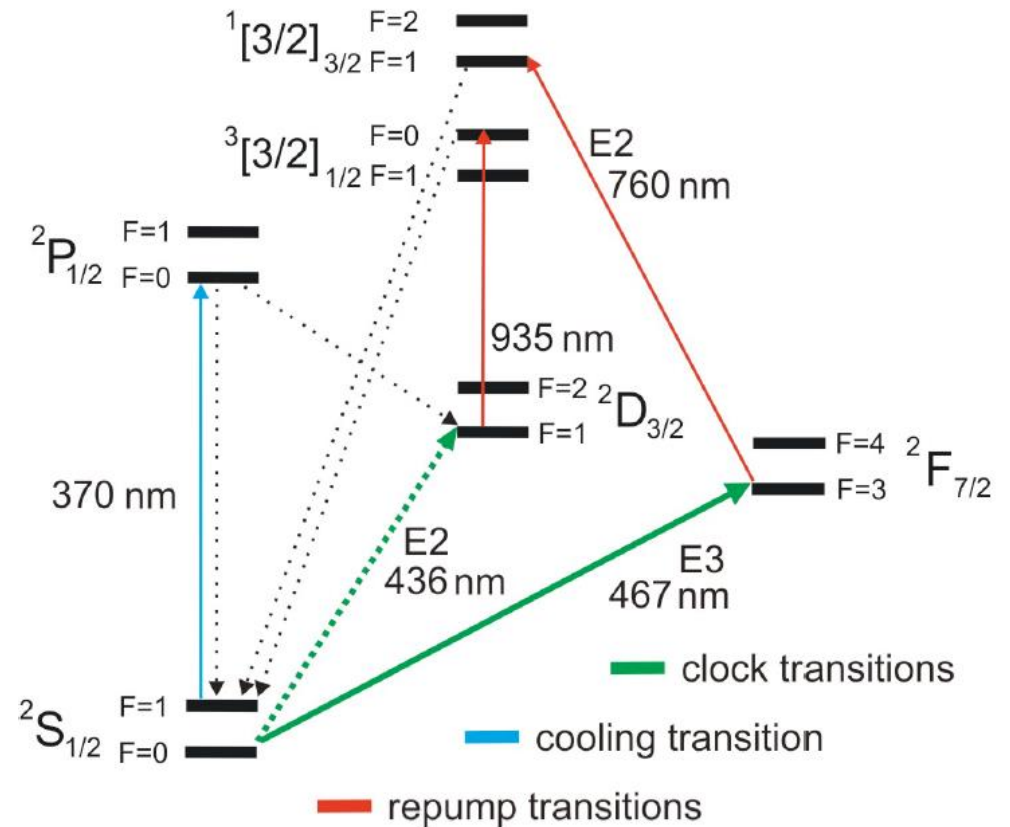


# Ytterbium Ion Clock

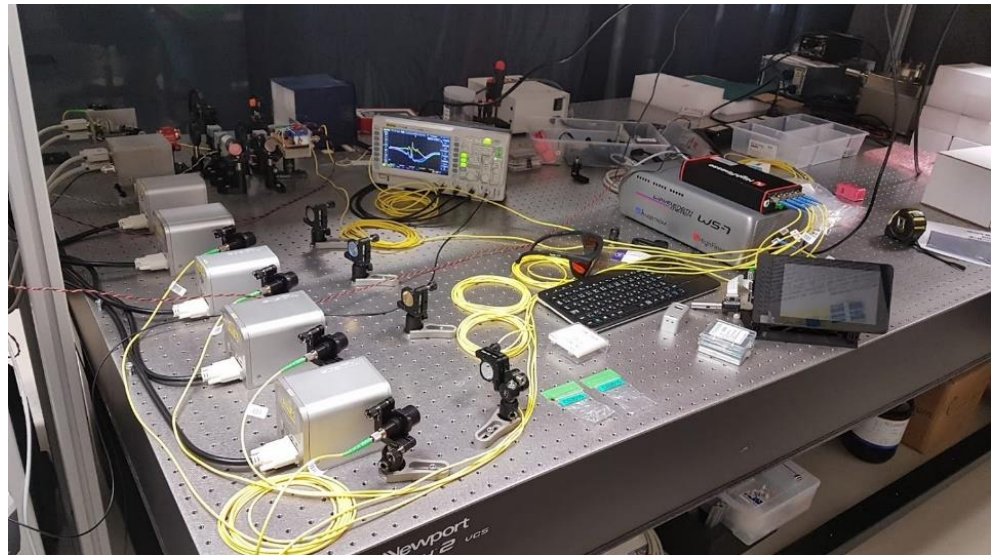
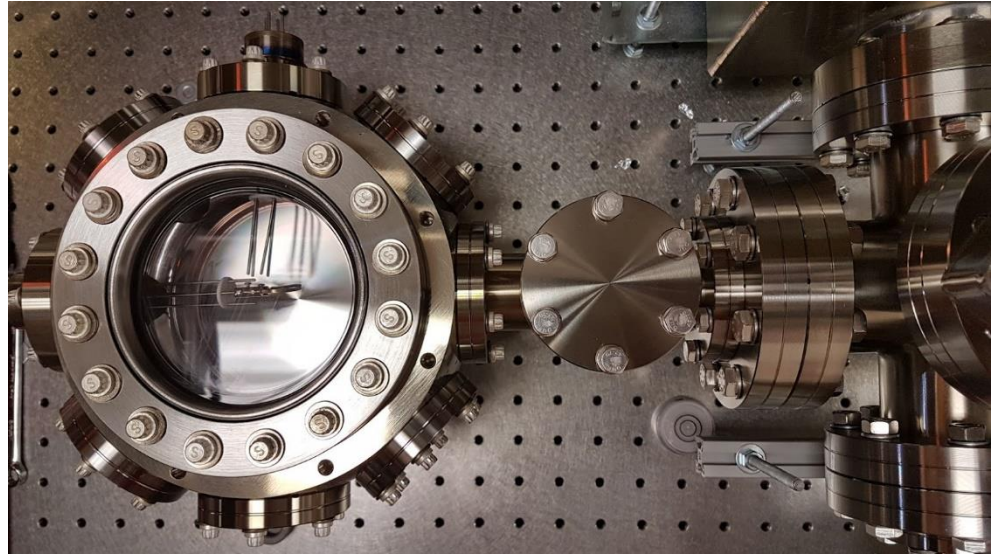
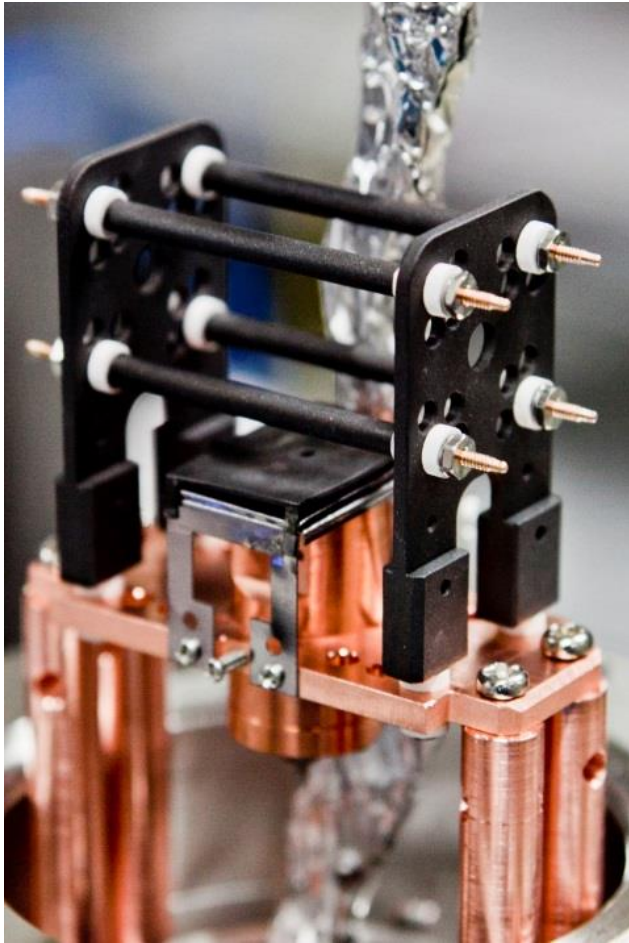


| Atom/ion            | Value (Hz)                          | Uncertainty |
|---------------------|-------------------------------------|-------------|
| $^{199}\text{Hg}$   | 1 128 575 290 808 154.4 (CCTF 2017) | 5E-16       |
| $^{27}\text{Al}^+$  | 1 121 015 393 207 857.3 (CIPM 2013) | 1.9E-15     |
| $^{199}\text{Hg}^+$ | 1 064 721 609 899 145.3 (CIPM 2013) | 1.9E-15     |
| $^{171}\text{Yb}^+$ | 688 358 979 309 308.3 (CIPM 2015)   | 6E-16       |
| $^{171}\text{Yb}^+$ | 642 121 496 772 645.0 (CIPM 2015)   | 6E-16       |
| $^{171}\text{Yb}$   | 518 295 836 590 863.6 (CCTF 2017)   | 5E-16       |
| $^{88}\text{Sr}^+$  | 444 779 044 095 486.5 (CCTF 2017)   | 1.5E-15     |
| $^{88}\text{Sr}$    | 429 228 004 229 873.0 (CCTF 2017)   | 4E-16       |

# Ytterbium Ion Clock



# Ytterbium Ion Clock



# Ytterbium Ion Clock



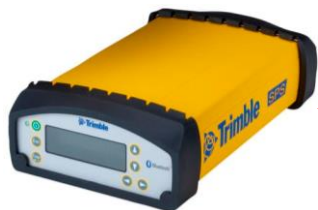
Ultra High Stability Optical Frequency Standard

- Optical clock comparison
- Standard for other SI units



Ultra High Stability Microwave Frequency Standard  
as Thailand Standard Time

- NTP 140M requests per day
- PTP for E-Grid, 5G



# Accuracy matters

10000 – 1



General use

0.001 – 0.1



Data Center, Server

1E-6 – 1E-3



Financial, Electrical Grid,  
Telecommunication

1E-9 – 1E-6



5G Network synchronization

1E-12 – 1E-9



Industry Standard (Oscillator)

# Accuracy matters

1E-12



Scientific Infrastructure

1E-13



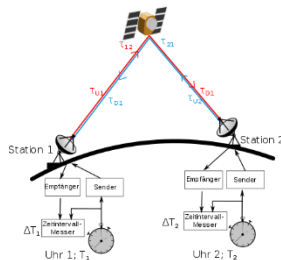
Dimension Metrology  
(Wavelength Standard)

1E-14



UTC[NIMT]

1E-17

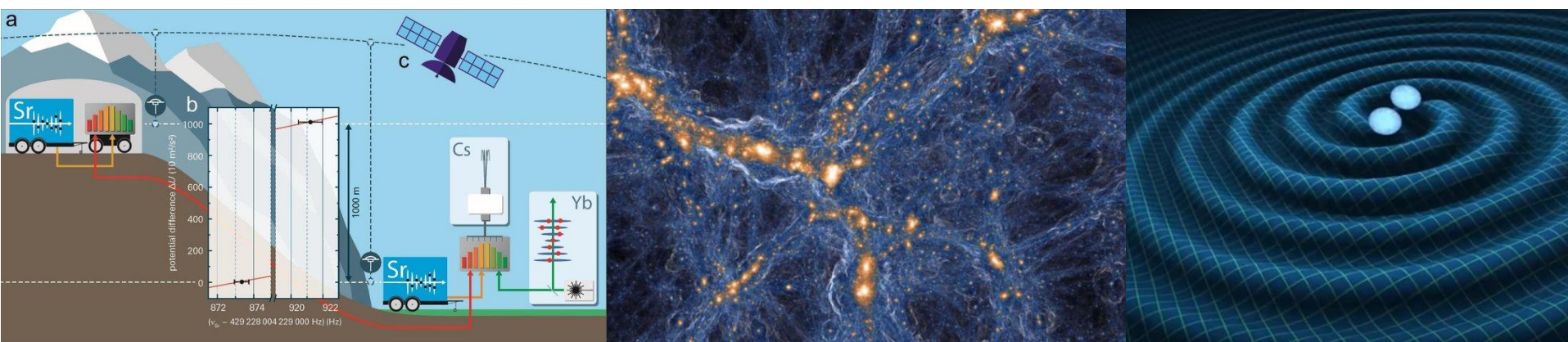


Intercontinental clock comparison (GNSS)

1E-19 Measurements beyond the geodetic limits (1mm)

# Accuracy matters

- Measurements beyond the geodetic limit
- Gravitational wave detector
- Fundamental Physics
  - Variation of the fine structure constant
  - Variation of the  $m_p/m_e$  ratio
  - Lorentz Symmetry



# Engineering

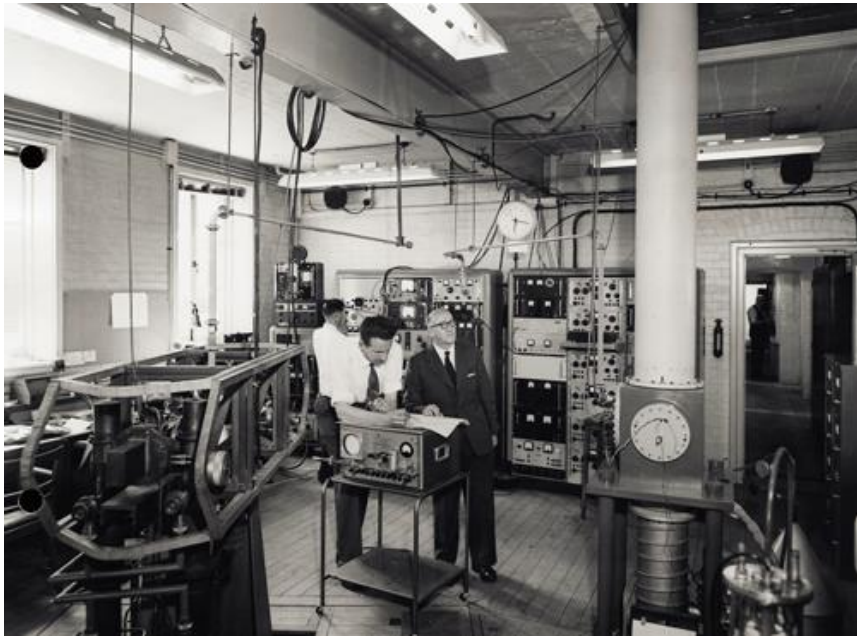


5MB IBM HDD in 1956



32TB Intel SSD in 2018

# Quantum Engineering



First Cs clock in 1955  
Stability  $\sim 1 \times 10^{-10}$

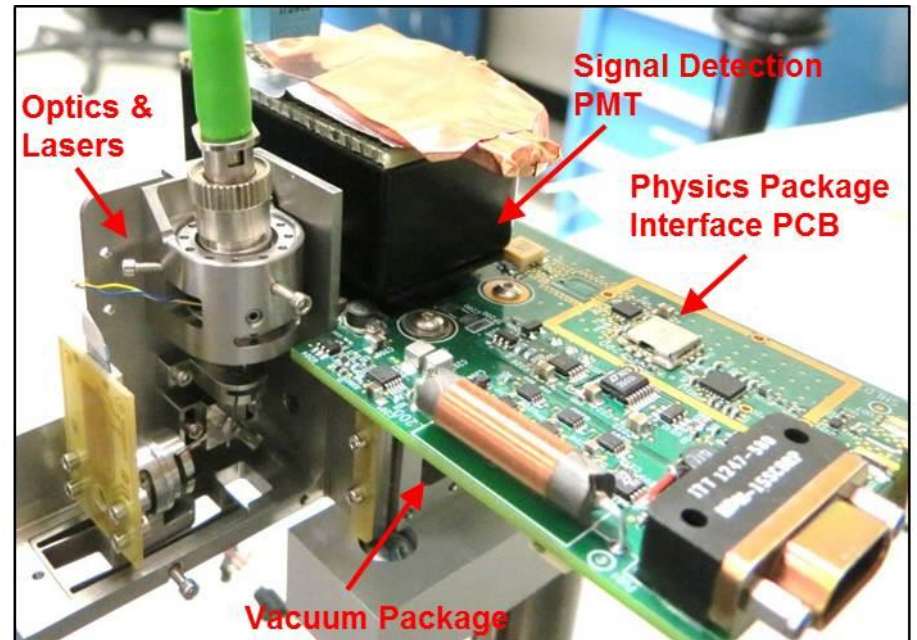


Chip Scale Atomic Clock in 2011  
Stability  $\sim 3 \times 10^{-10}$

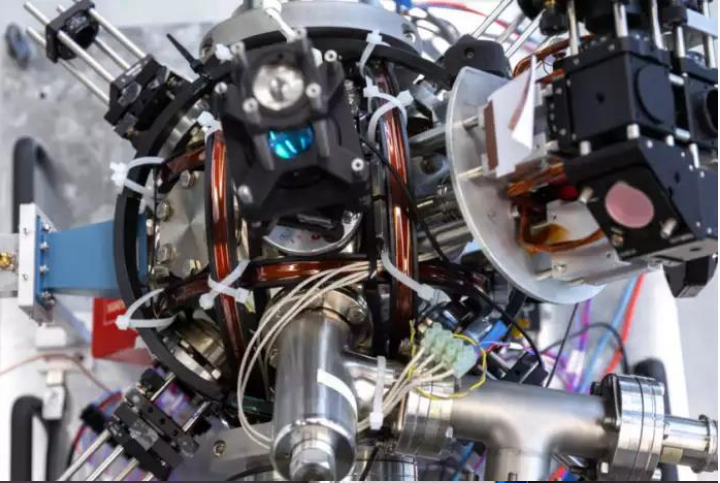
# Quantum Engineering



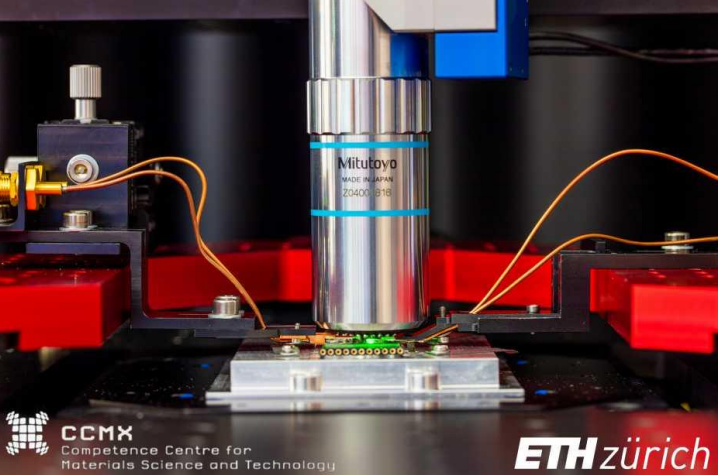
Ion clock in 2003  
Volume > 1 litre



Miniature Ion Trap in 2015  
Volume 1 c.c.



# Quantum Positioning



IMU = Accelerometer +  
Magnetometer +  
Gyroscope

