

# **Fizikai mennyiségek, távolság és idő mérése**

**Szabó Gábor**

# Fizikai mennyiség

$$Q = \{\mathbf{x}\} [\mathbf{x}]$$

↑ mérőszám

← mértékegység

**Mértékegység: az azonos fajtájú (dimenziójú) mennyiségek halmazából kiválasztott vonatkoztatási mennyiségérték.**

# Dimenzionális homogenitás

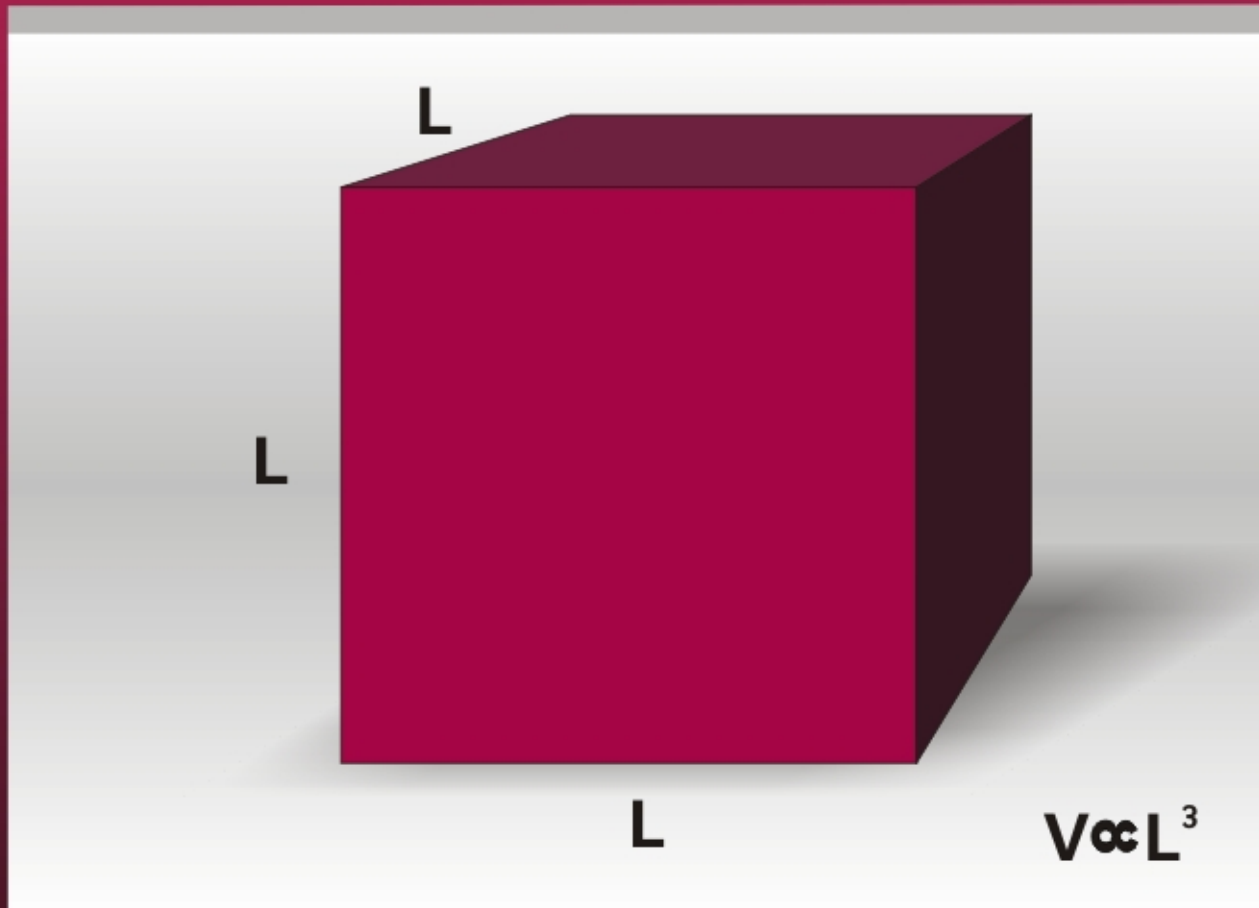
„Ha két részecske állandó sebességgel mozog, akkor sebességük hányadosa megegyezik a megtett távolságok hányadosának, és az eltelt idő reciprok hányadosának szorzatával.” Galilei, (1638)

Fourier

$$[M_1]^{a_1} [M_2]^{a_2} \dots [M_n]^{a_n} = [M_1]^{b_1} [M_2]^{b_2} \dots [M_n]^{b_n}$$
$$a_1 = b_1, a_2 = b_2, \dots, a_n = b_n$$

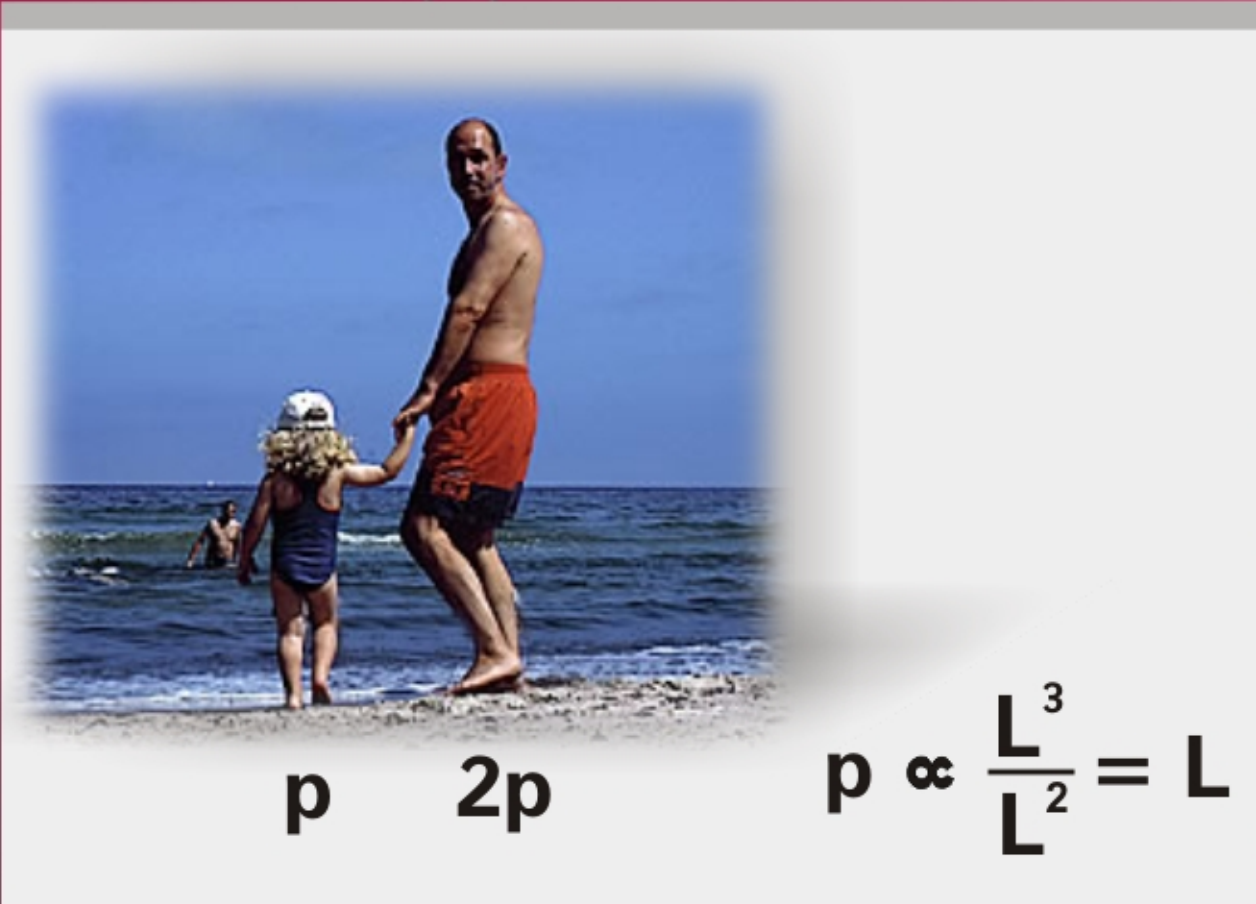
Dimenziók módszere, skálázás

A térfogat a lineáris méret köbével skálázódik





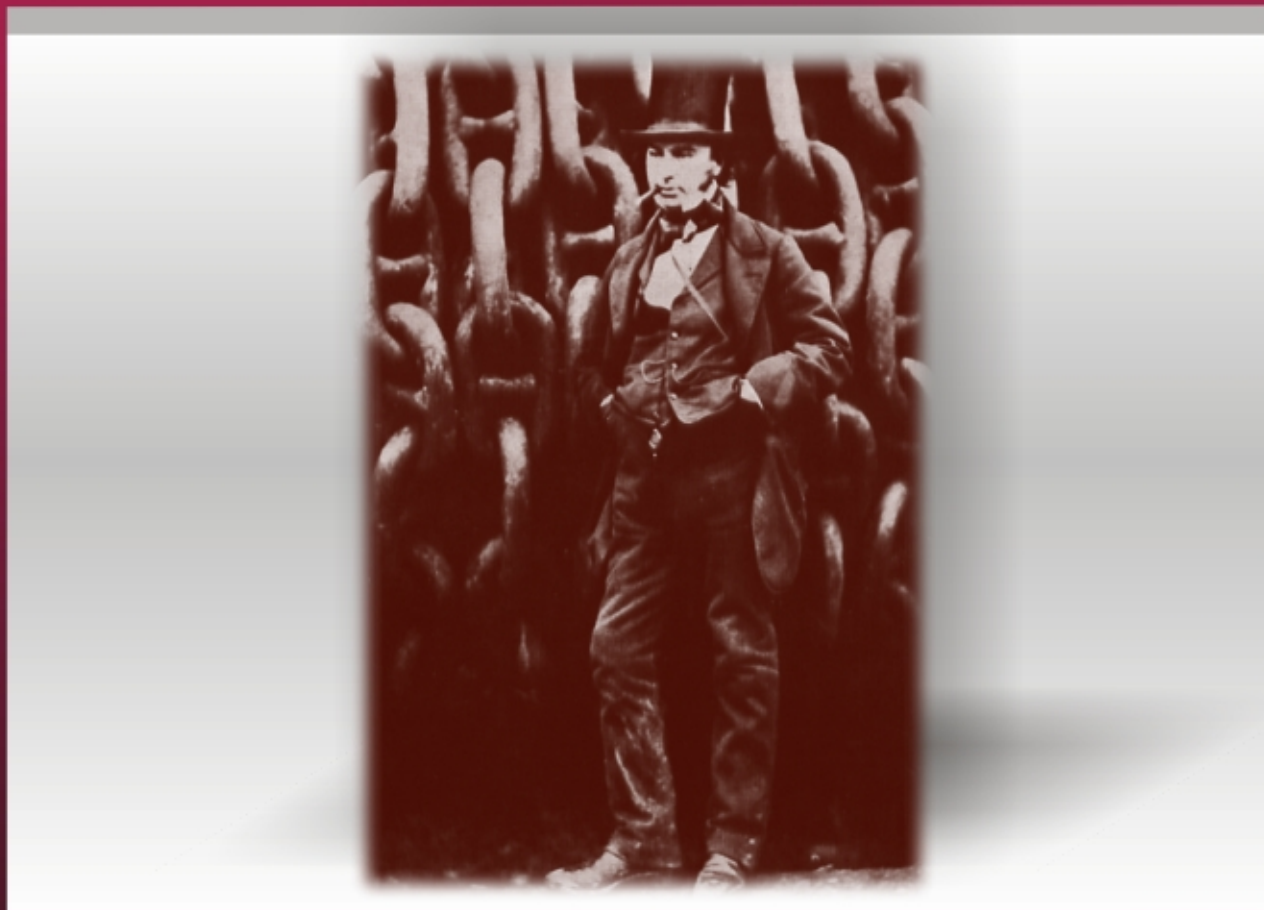
# Apa vagy gyermeke talpát szúrja jobban a homok?



**p**      **2p**

$$p \propto \frac{L^3}{L^2} = L$$

## Isambard Kingdom Brunel (1806–1859)



Fotó: Robert Howlett, 1857

## A Great Western gőzhajó



# Mérés

**A mérendő mennyiségnek az adott mennyiség  
egységével (etalonjával) történő összehason-  
lítása**

# Mérési hiba (pontosság)

$$X \pm \Delta X$$

## Relatív hiba

$$\frac{\Delta X}{X}$$

# Mértékegységek megválasztása

**Elvárások:**

**Kellő mérési pontosság**

**Időtállóság**

**Essen az emberi méretek tartományába**

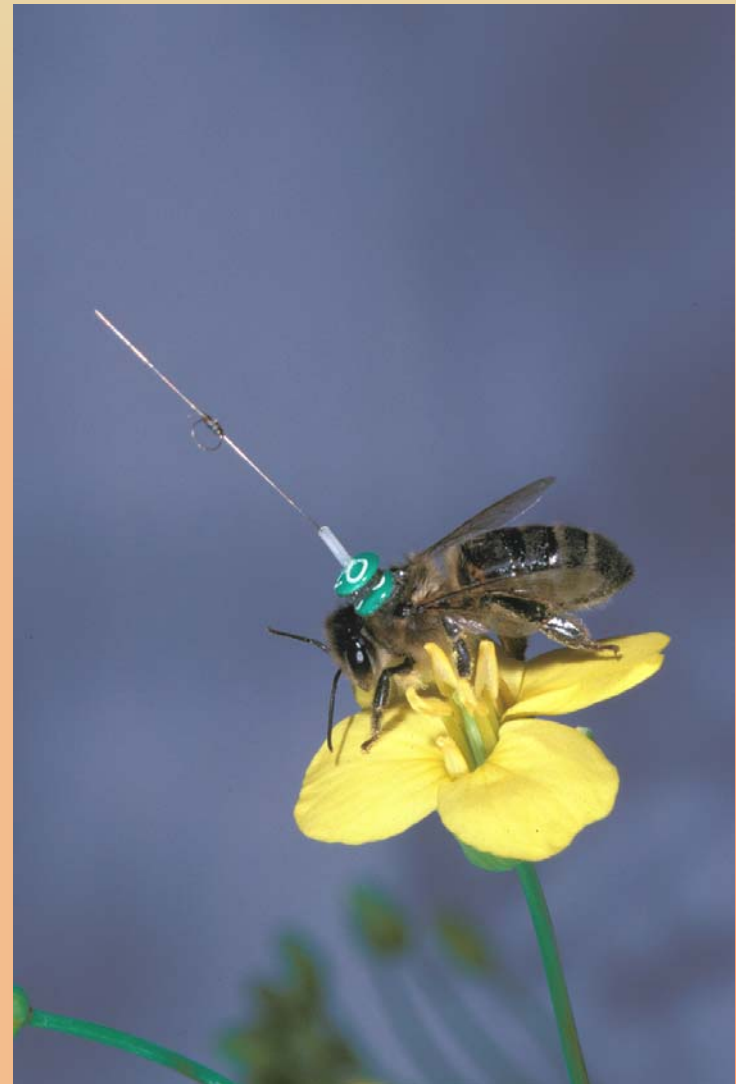
# Mértékegységek megválasztása

**Koherens mértékegység rendszerek**

**Alapmennyiségek  $\Rightarrow$  származtatott mennyiségek**

# Hosszúság fogalma

**méhek tánca**





# Hosszúság mérése

megalitikus yard



# Hosszúság mérése

**Indus völgyi kultúrák (Kr.e. 2600) 1,7 mm!**

# Antik láb



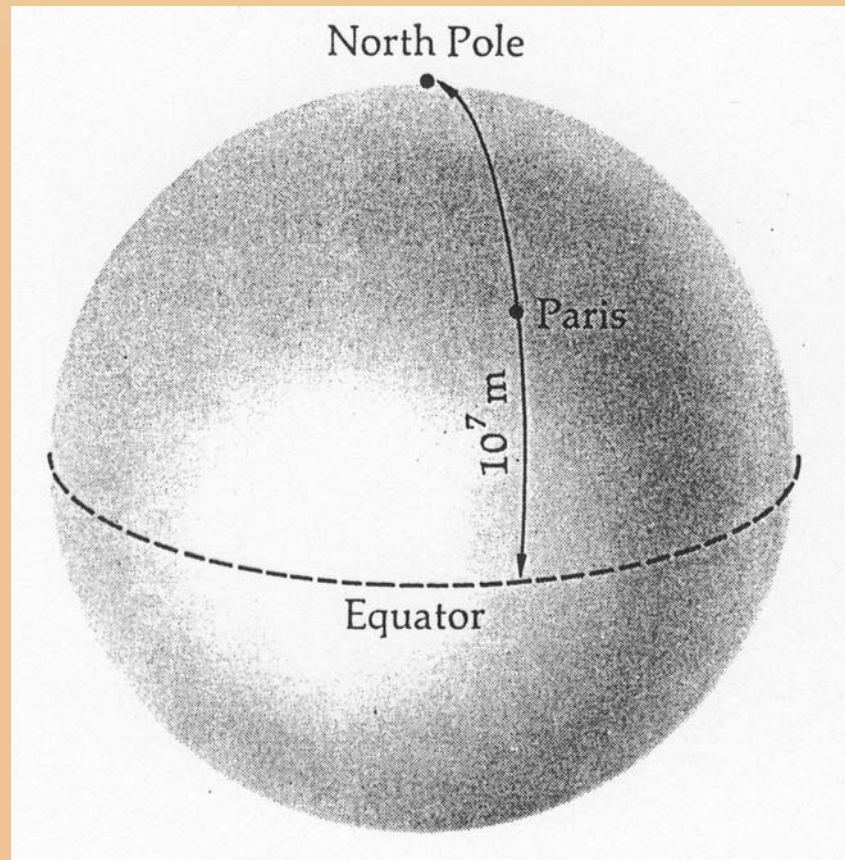
# **A hosszúság egységei**

**Méter (egységesítés)**

# A méter definíciójának fejlődése

1791:

A Párizson áthaladó délkör 40 milliomed része.



# A méter definíciójának fejlődése

1889: ősméter (relatív hiba  $2 \cdot 10^{-7}$ )



# A méter definíciójának fejlődése

**1960:**

**A kripton által kibocsátott fény hullámhosszának 1,650,763.73-szerese (rel. hiba  $10^{-8}$ )**

**1983:**

**A fény által (vákuumban)  $1/299,792,458$  s alatt megtett út (rel. hiba  $10^{-12}$ )**

**(Bay Zoltán javaslata)**



# Az új definíció pontossága

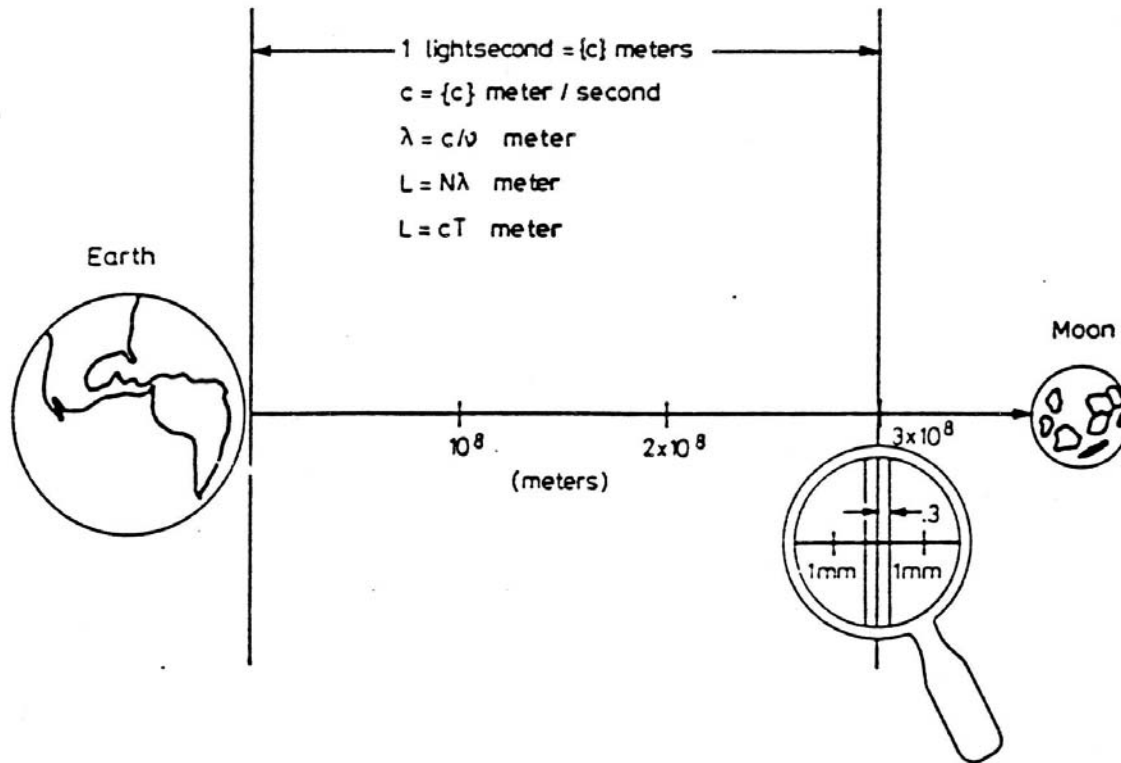


Fig. 3. Illustration of the unified time-frequency-length measurement System II. The second is defined like before (Fig. 1) by an atomic clock. The meter is defined such that 1 Light-second = {c} meters, where {c} is an agreed upon (dimensionless) number to be established after  $c$  is measured to the full accuracy permitted by the present meter (Fig. 2). The lightsecond is a distance traveled by light waves in 1 second, about 3/4 distance to the moon, with an uncertainty of only  $\pm .3$  mm, corresponding to about one picosecond reproducibility of the second. Wavelength is a  $\lambda = c/\nu$  submultiple of the meter, known as accurately as the optical frequency  $\nu$  is measured. Length can be measured either as a multiple of wavelength or as  $c$  multiplied by a measured time-of-flight of light waves,  $T$ . The limit of reproducibility of the meter in this system is the same as that of the second, about  $10^{-12}$



# A méter definíciójának fejlődése

**Relatív hiba ma:  $10^{-15}$  !!!**

# Hosszúság mérésére szolgáló eszközök

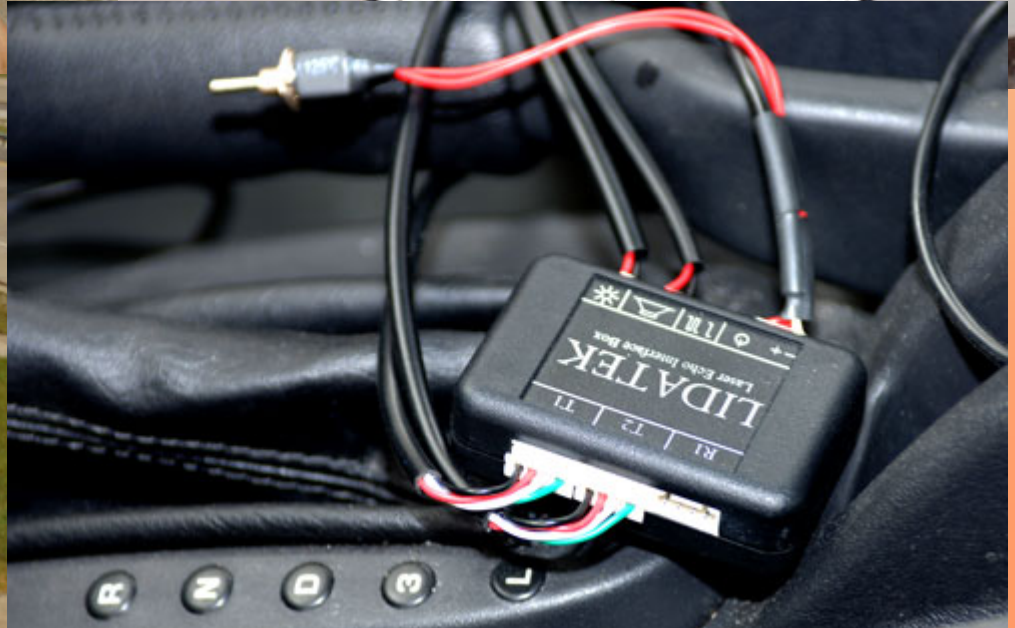
**Méterrúd, mérőszalag**

**Tolómérő**

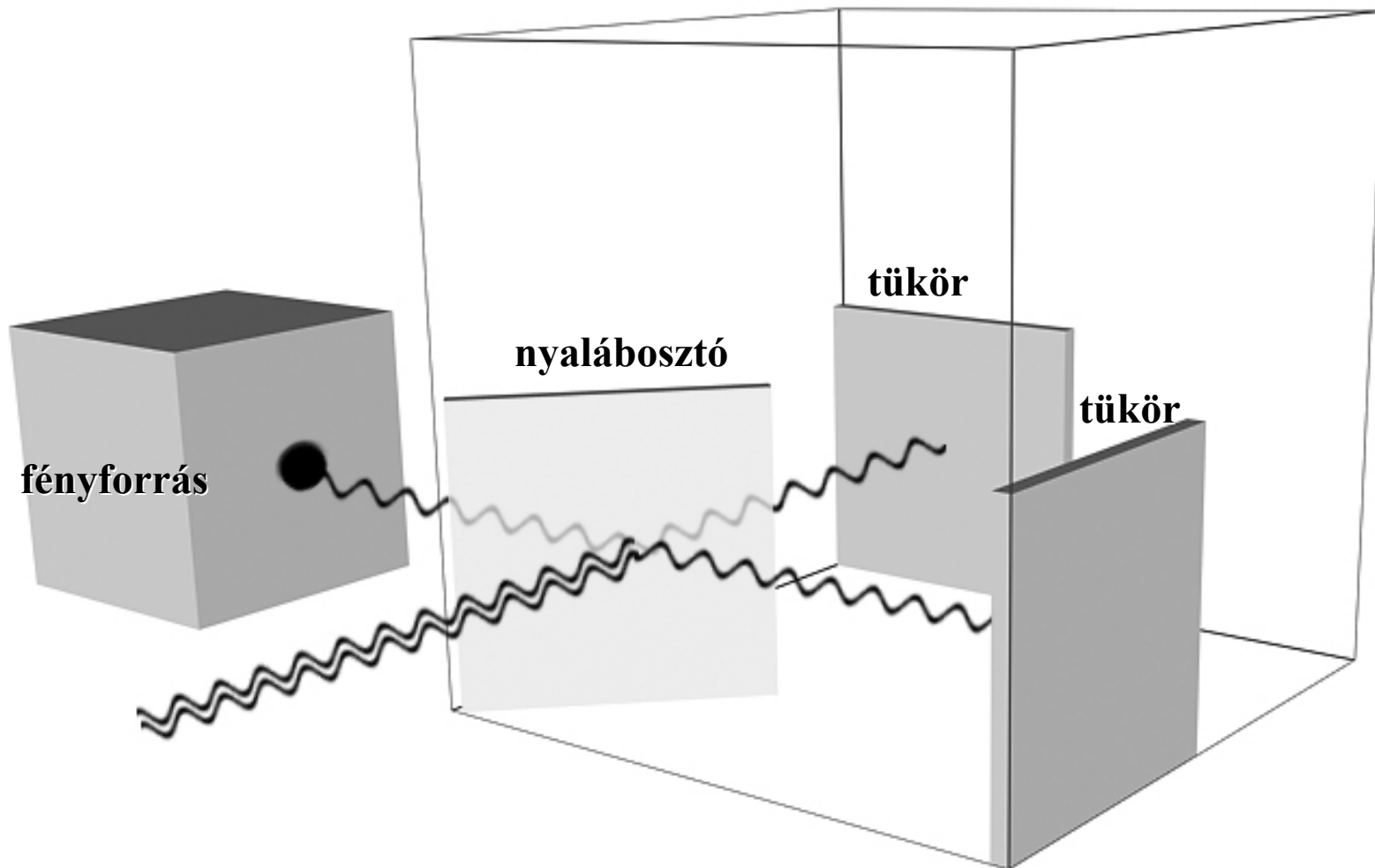
**Csavarmikrométer**

**Lézeres távolságmérés**

# Lézeres távolságmérés

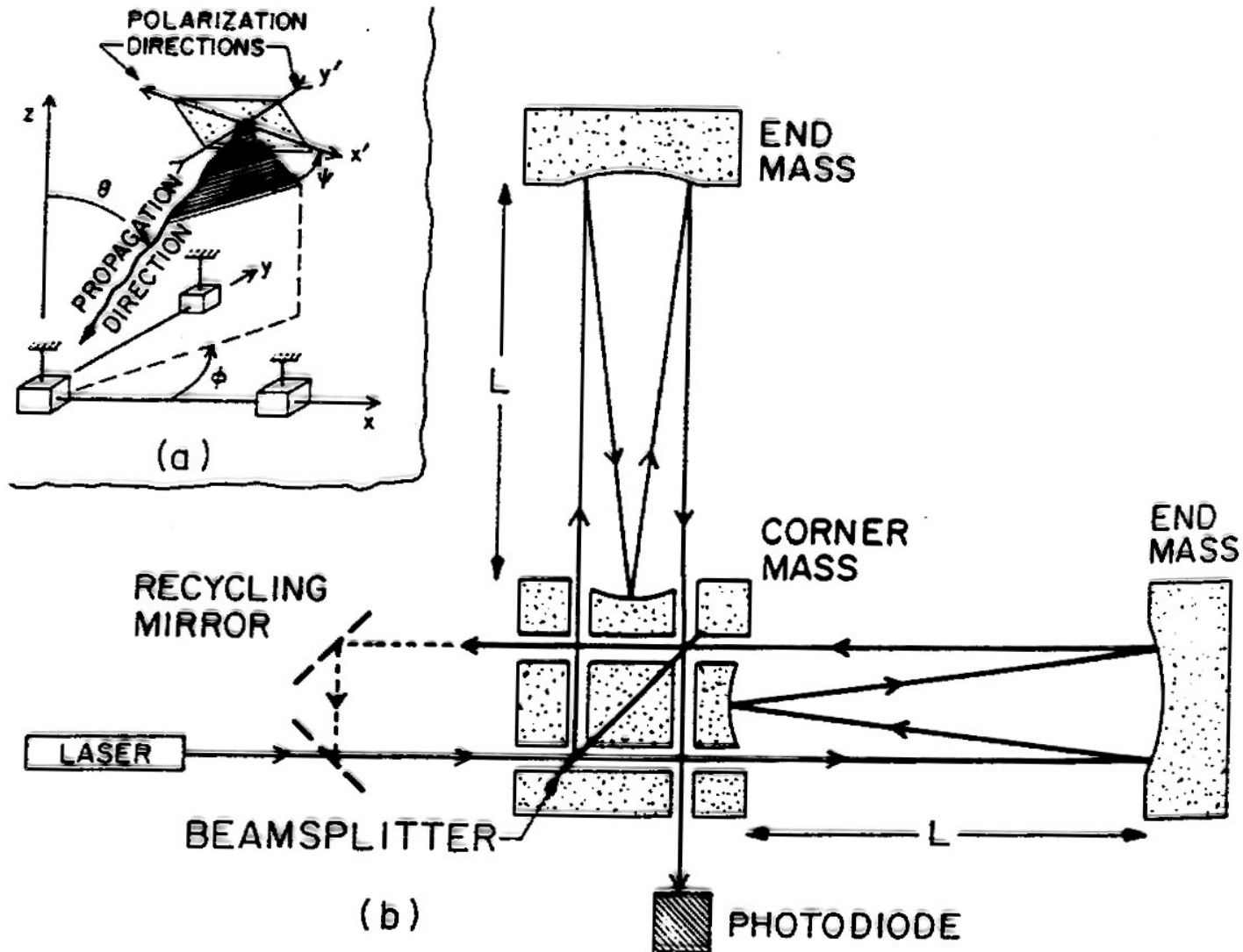


# MICHELSON INTERFEROMÉTER



# **Egy mai világcsúcs: gravitációs hullám detektálás**

Fig. 9.9. Schematic diagram of a *Michelson-type beam receiver* for gravitational waves (part (b)), and of the waves' propagation and polarization angles ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\psi$ ) relative to the receiver (part (a); cf. Fig. 9.2).





# GEO600



Der Gravitationswellendetektor GEO600 im Leinetal lüdlich von Hannover (Bild: Deutsche Luftbild W.Seelmann & Co. GmbH, Hamburg/GEO600/Uni Hannover)



# GEO600



Einer der beiden Meßarme des Gravitationswellendetektors GEO600 bei Hannover  
(Bild: GEO600/Uni Hannover).



# H1 Noise Sources: 24 Nov 2003

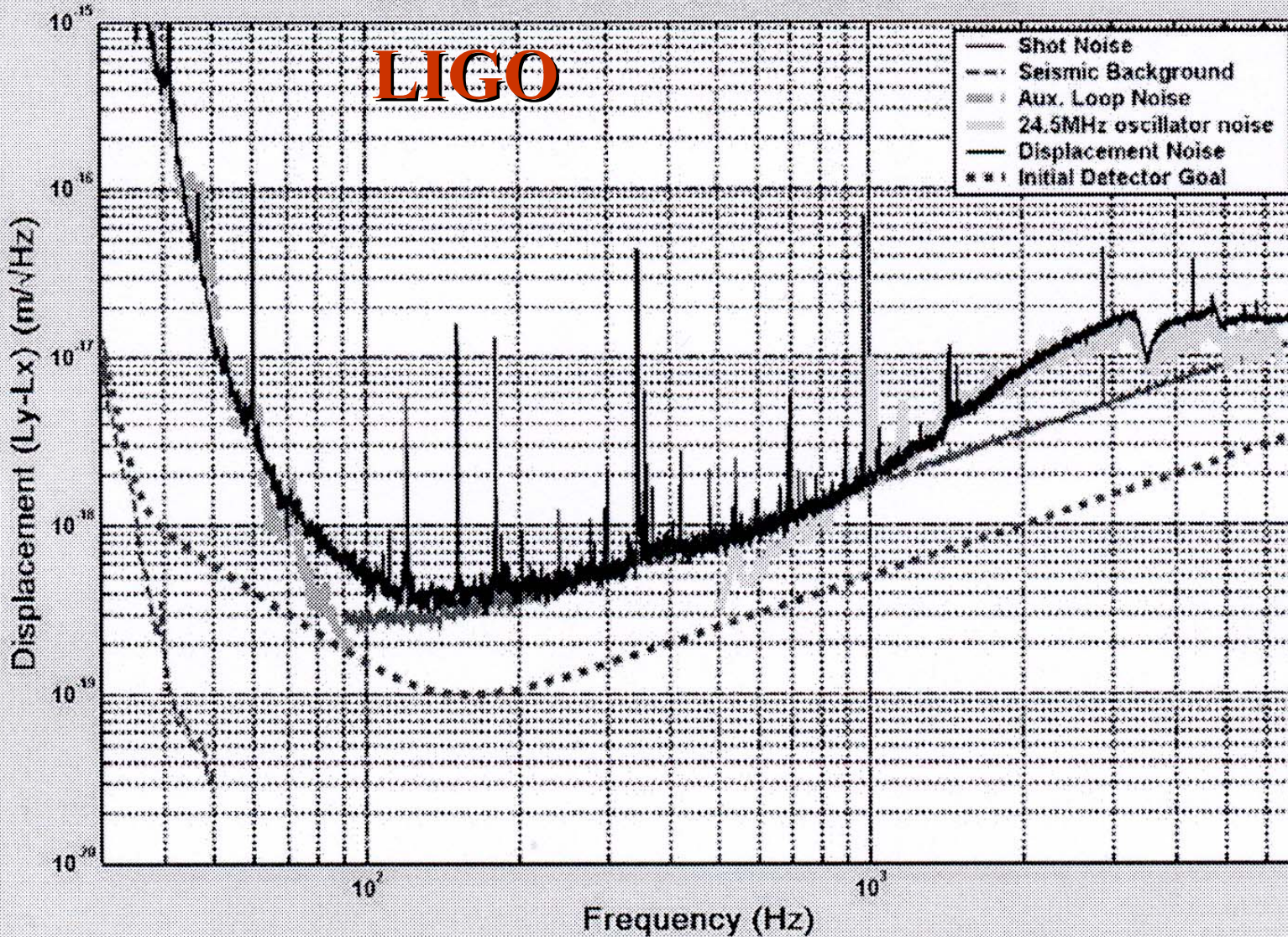


Figure 10: Limitations to H1 noise during S3 run.

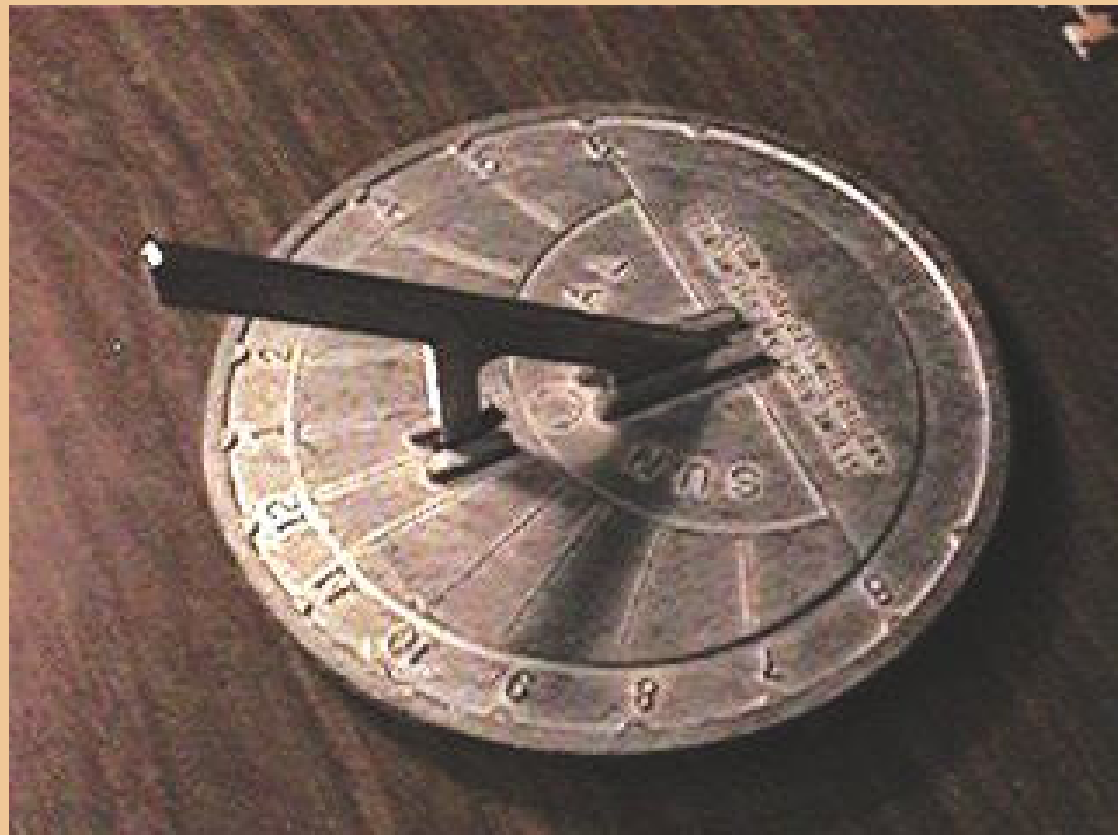


# Időmérés



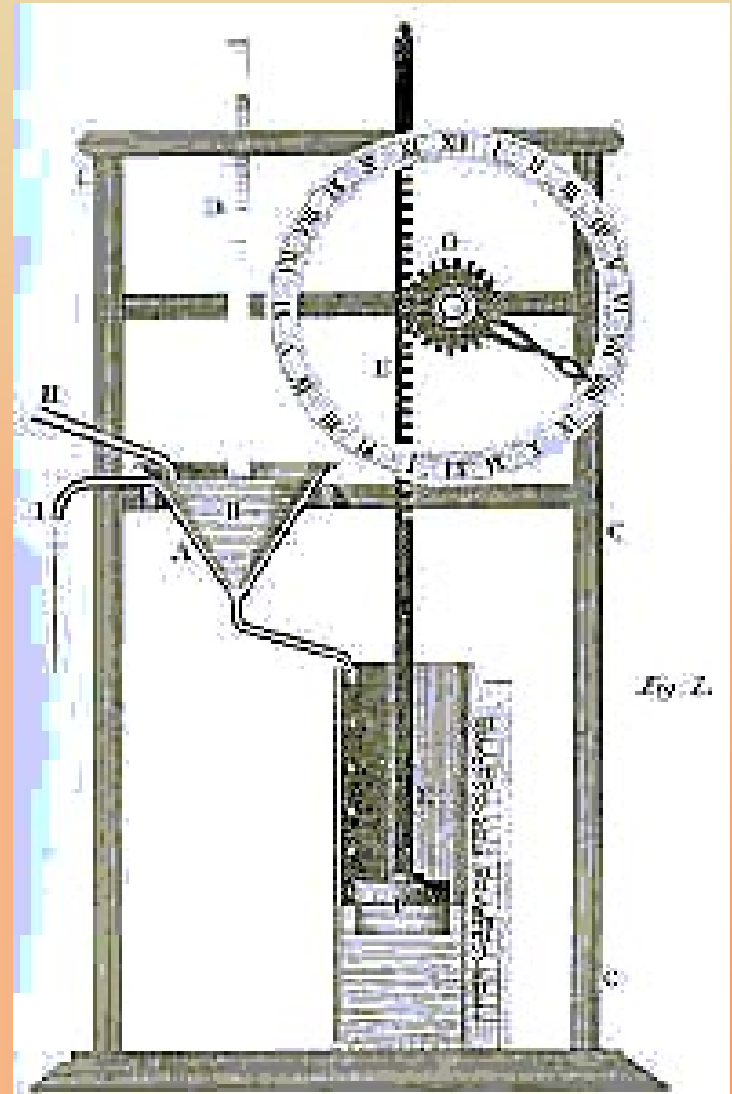
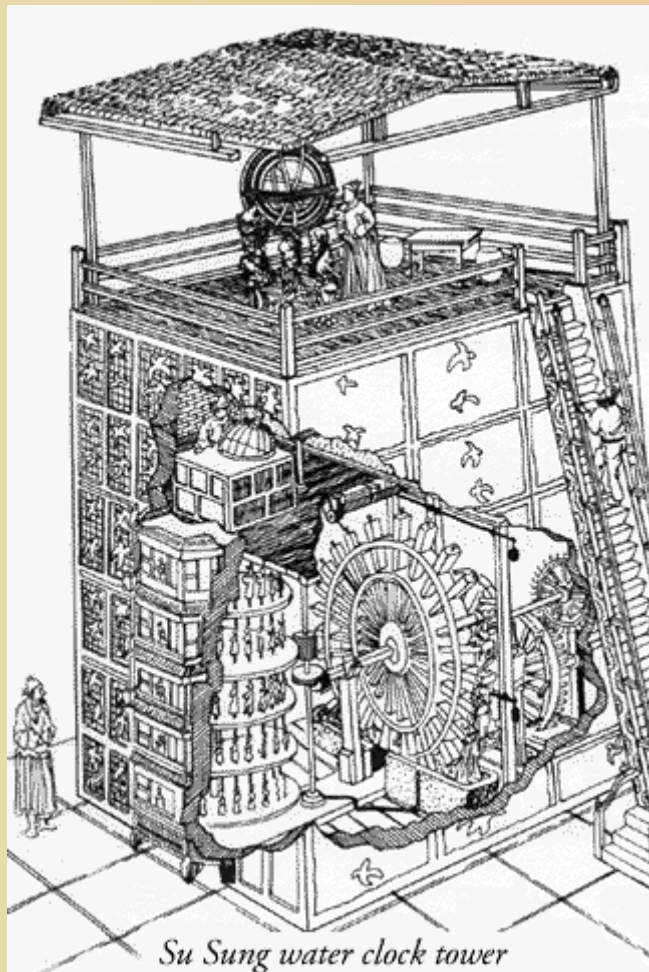
# Időmérés

## Napórák (Kr.e. 3500)



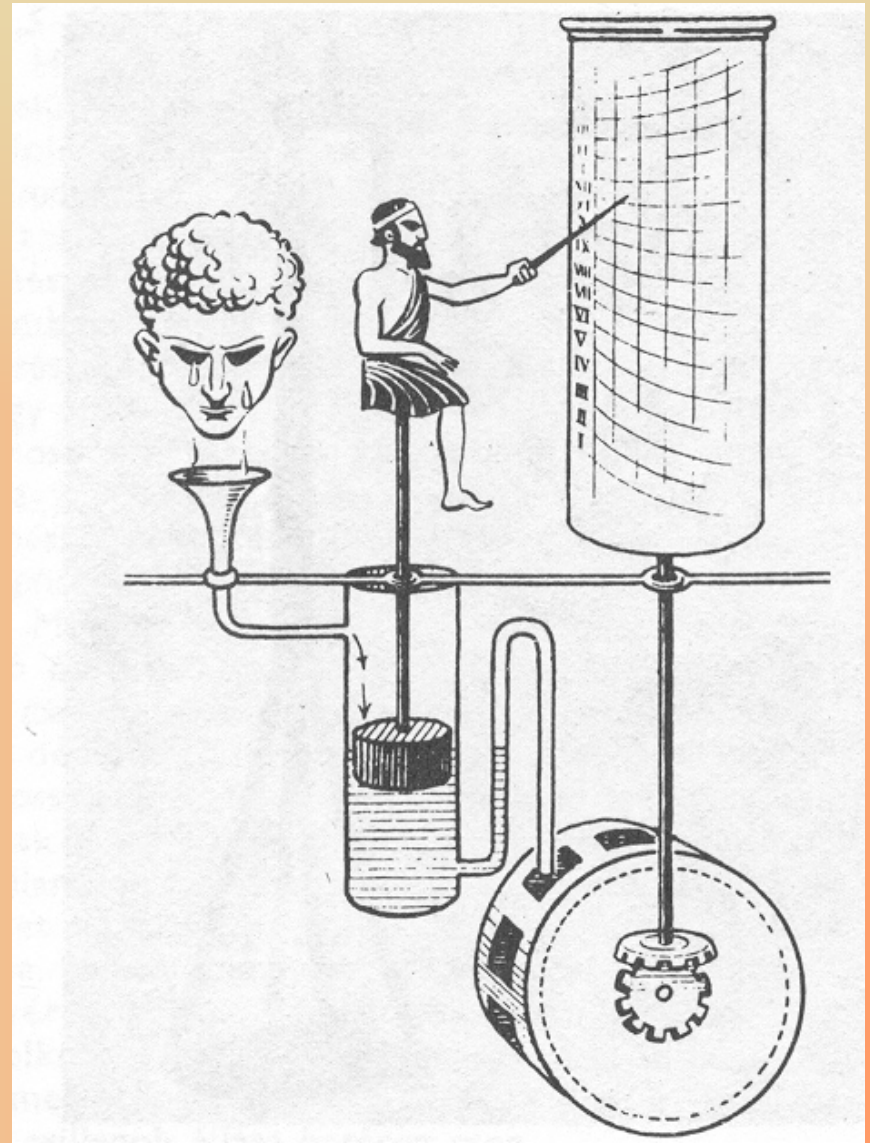
# Időmérés

## Vízórák (Kr.e. 1400)



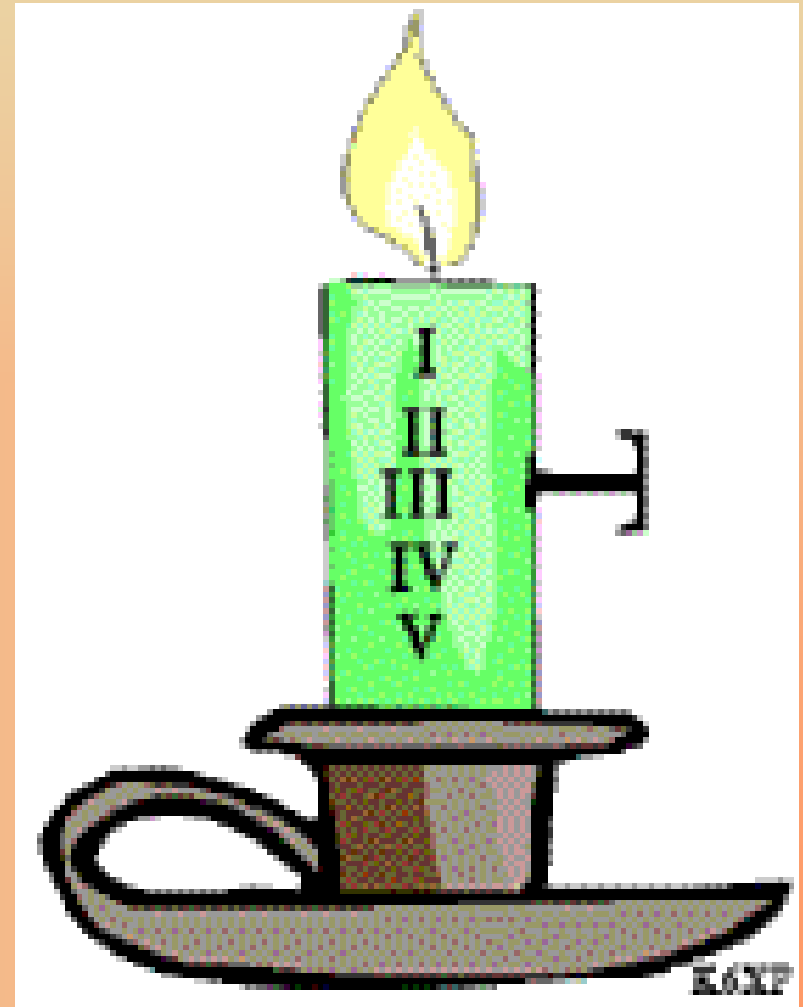
# Időmérés

## Vízórák



# Időmérés

Gyertya

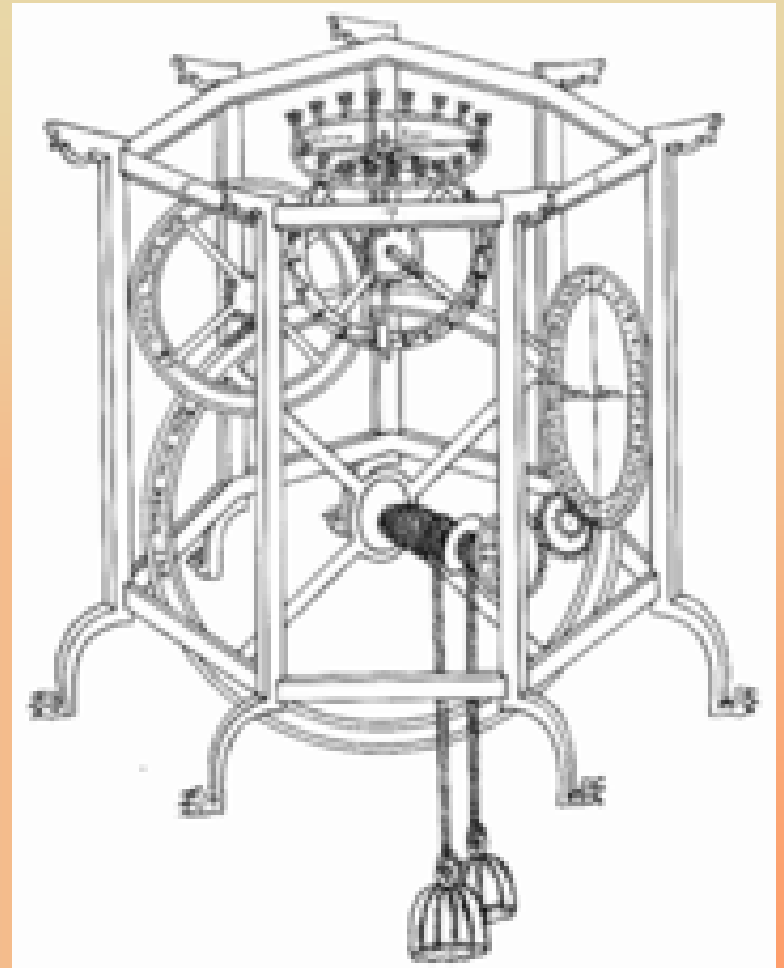
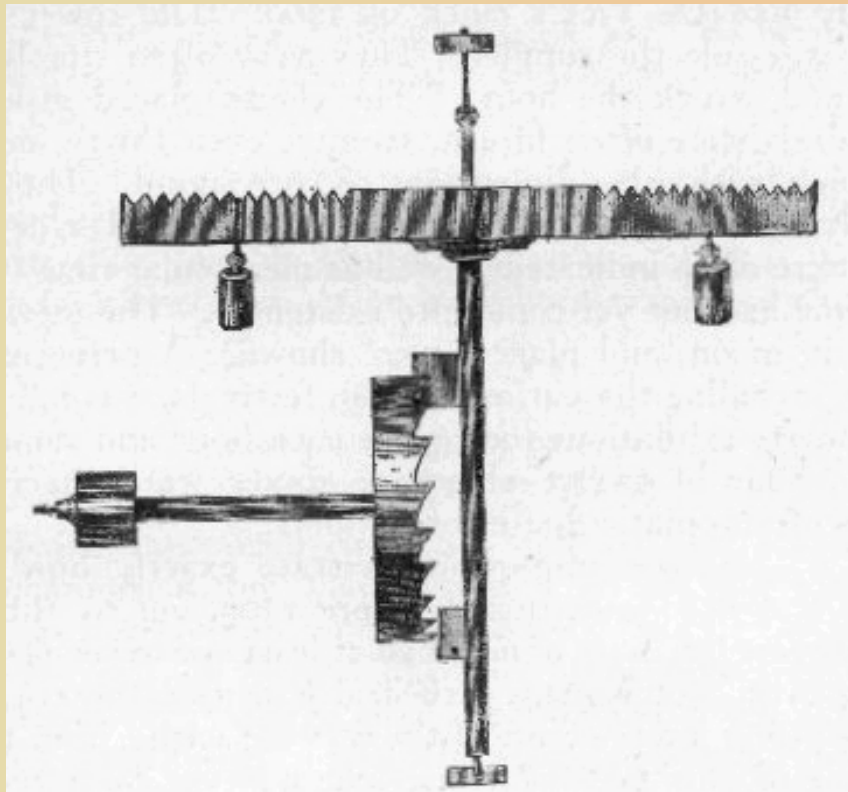


# **Időmérés**

**Kilincskeresék (1350 körül)**

# Időmérés

## Kilincskerék





# Időmérés

**Kilincskerék (1350 körül)**

**Inga (Huygens, 1656) 10 s/nap !**

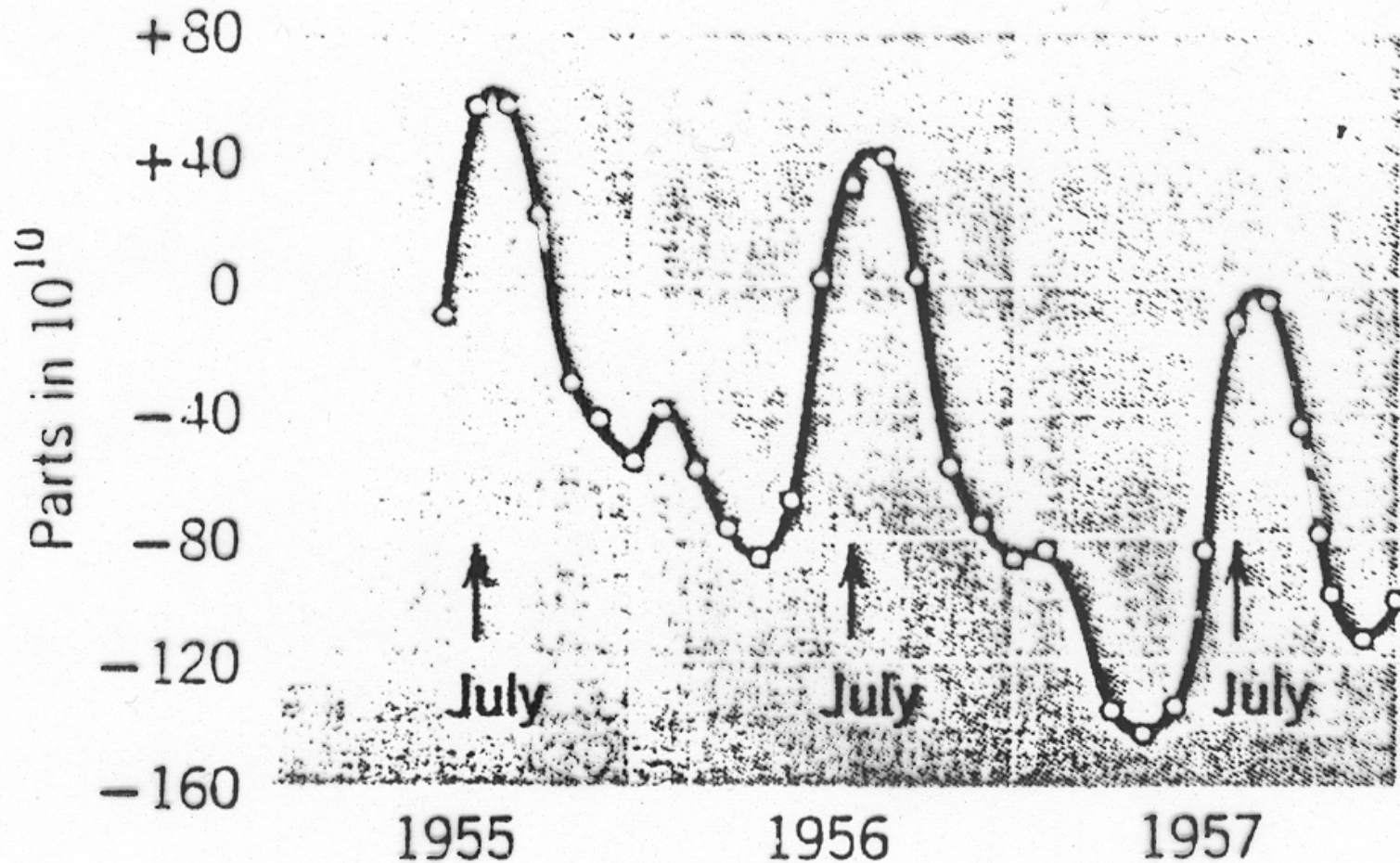
**Shortt 1921, master/slave 0,01 s/nap**

**Kvarcórák  $10^{-4}$  s/nap**

# **A másodperc definíciója**

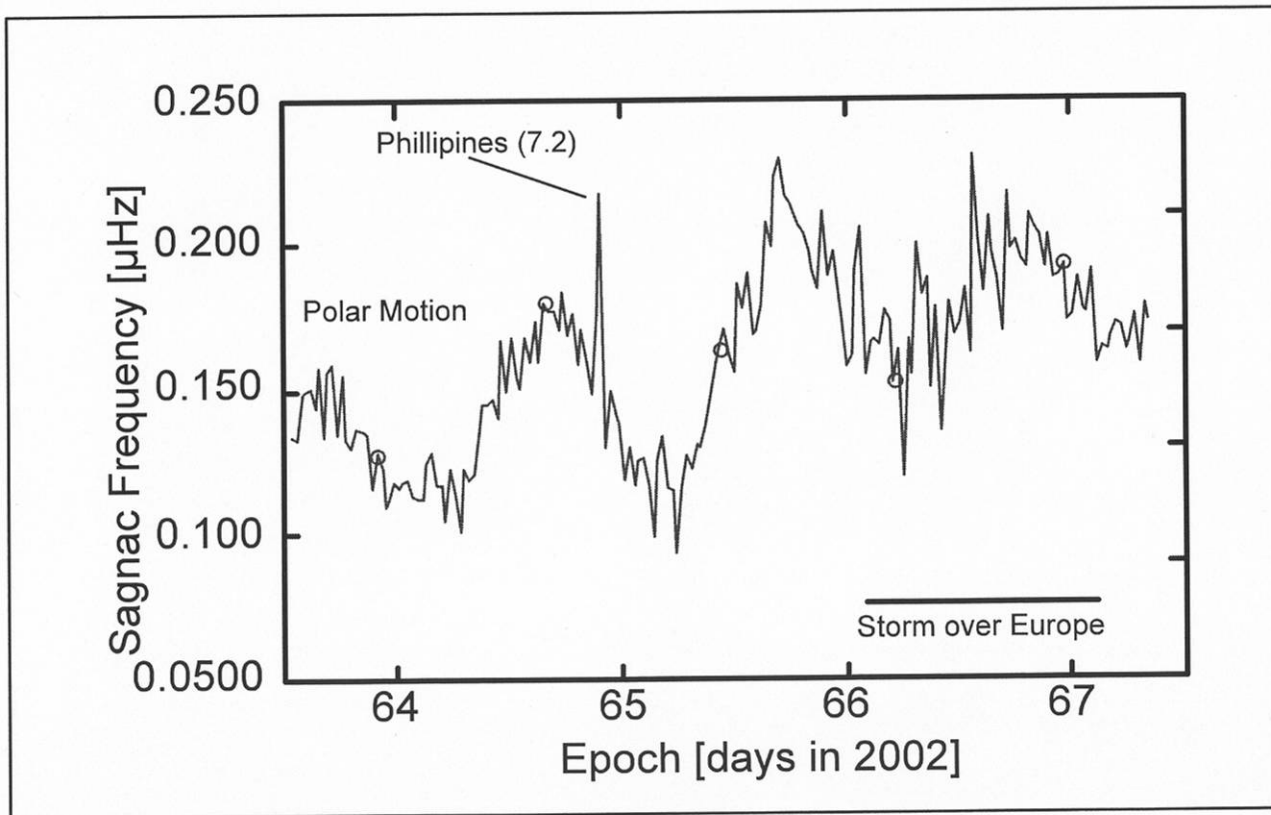
**A Föld tengely körüli forgása alapján**

# Nap hosszának változása



# Nap hosszának változása

## Ring Laser Operation (1)



U. Schreiber et. al.

# **A másodperc definíciója**

**A Föld tengely körüli forgása alapján**

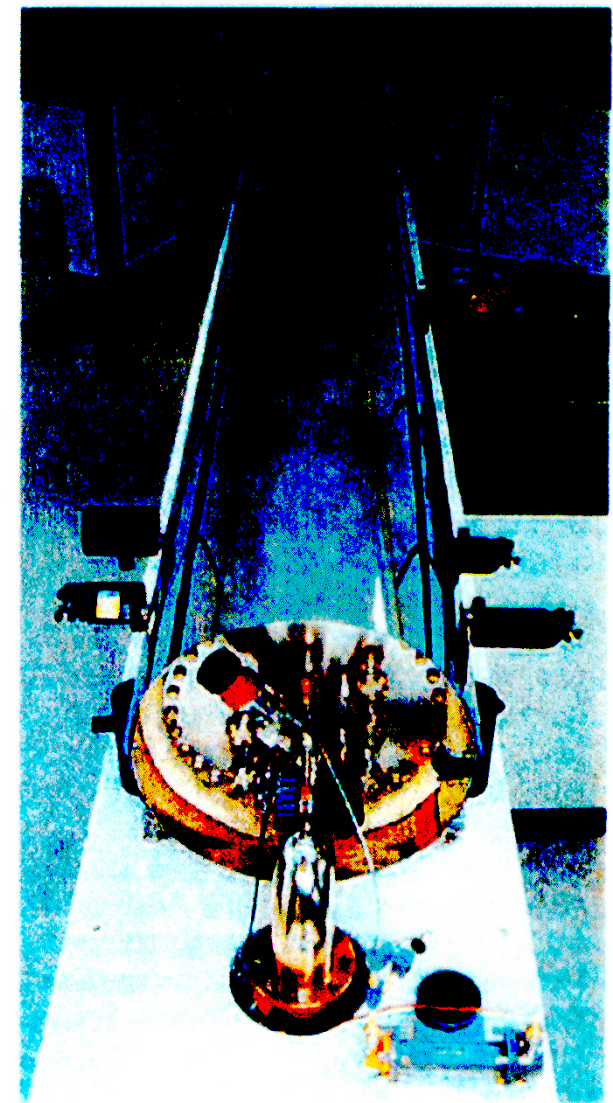
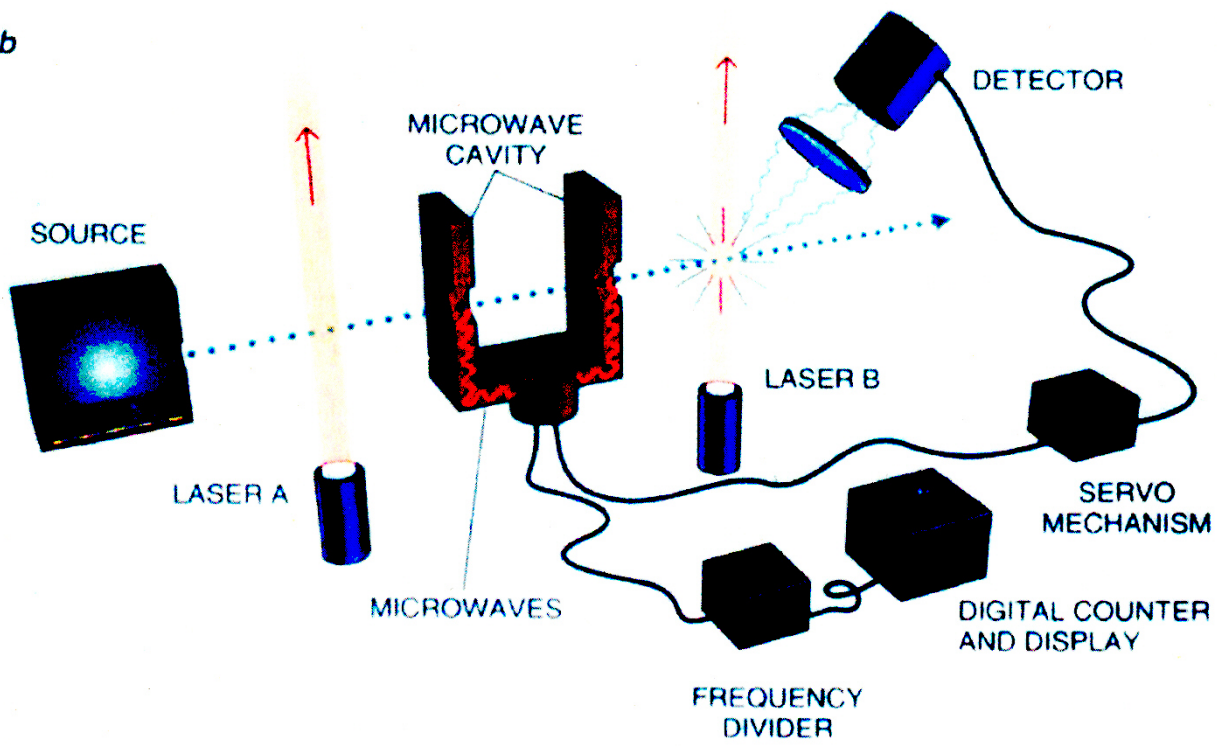
**Az év alapján**

**Atomóra: a Cs 133-as izotópja átmeneti  
periódusidejének 9,162,631,770-szerese.**



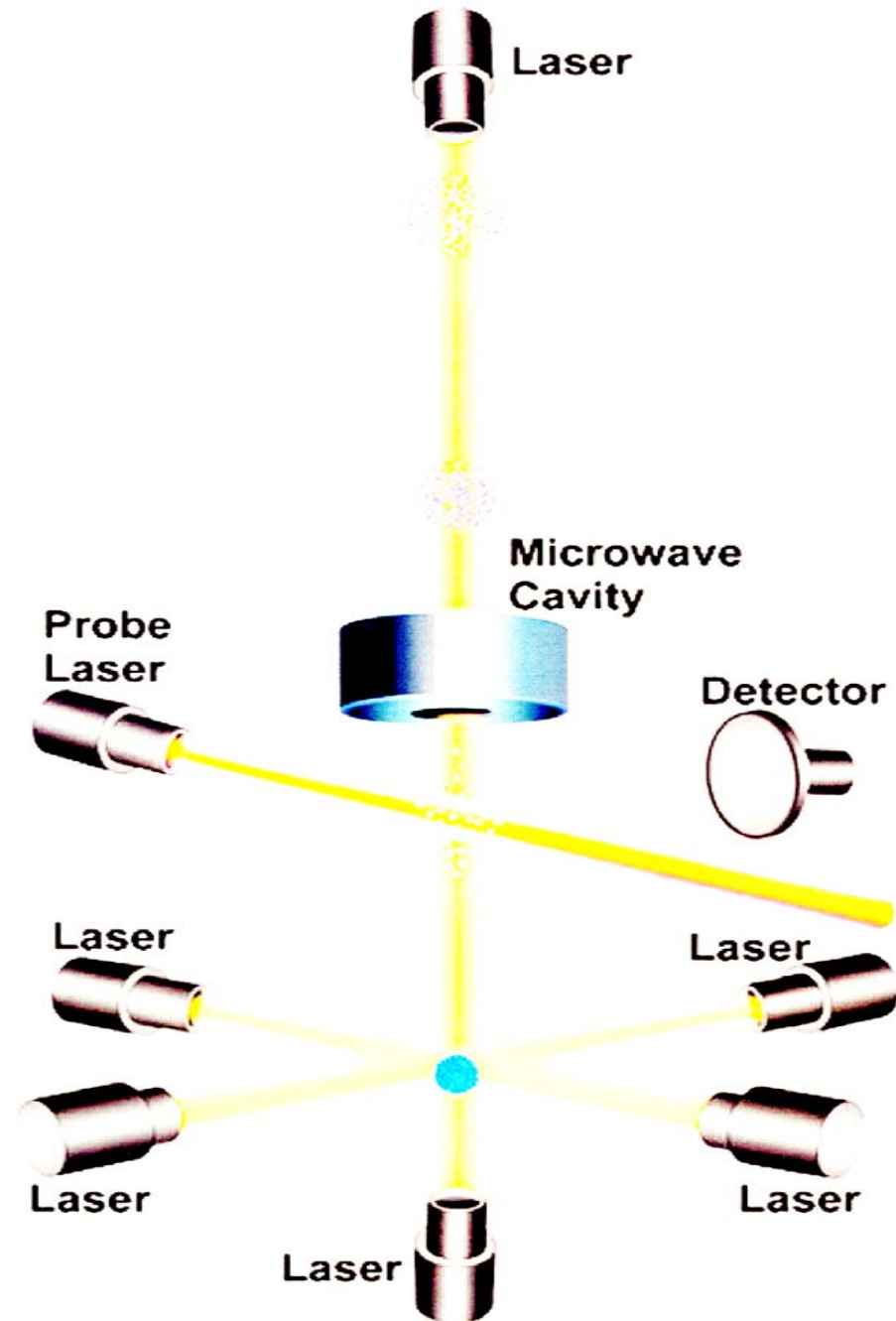
# Atomórák

b

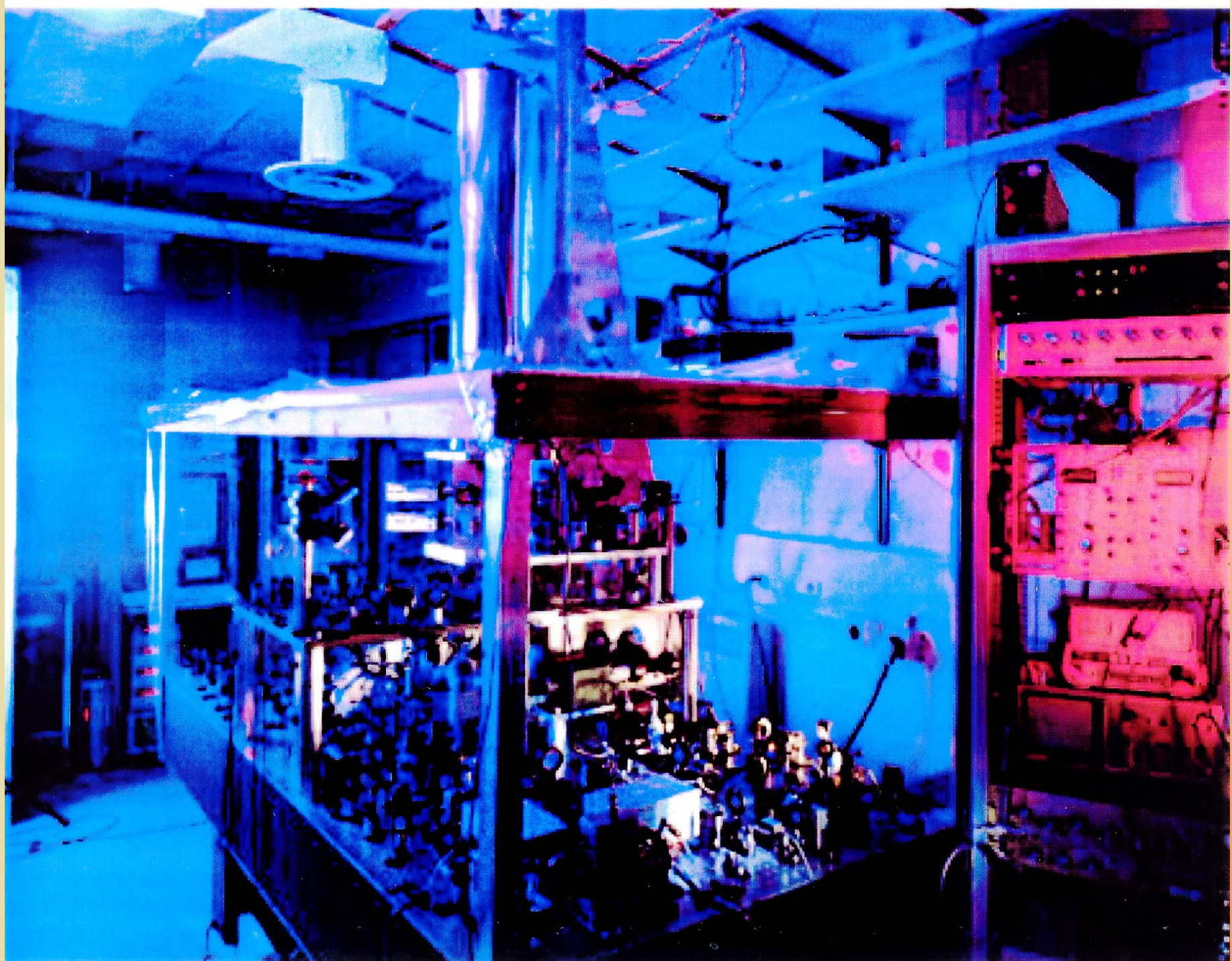


directed to a device that divides the frequency into usable timing pulses. Optically pumped standards (b) use light rather than magnets to select atoms. Laser A pumps the atoms into the right energy level, preparing them to be excited by the microwaves. Only atoms placed in the correct energy level by the microwaves absorb light from laser B. They quickly reemit that energy, which is sensed by a photodetector. An optically pumped clock using cesium atoms at the National Institute of Standards and Technology, called NIST-7, now keeps time for the U.S. (photograph).

# Atomi szökőkút

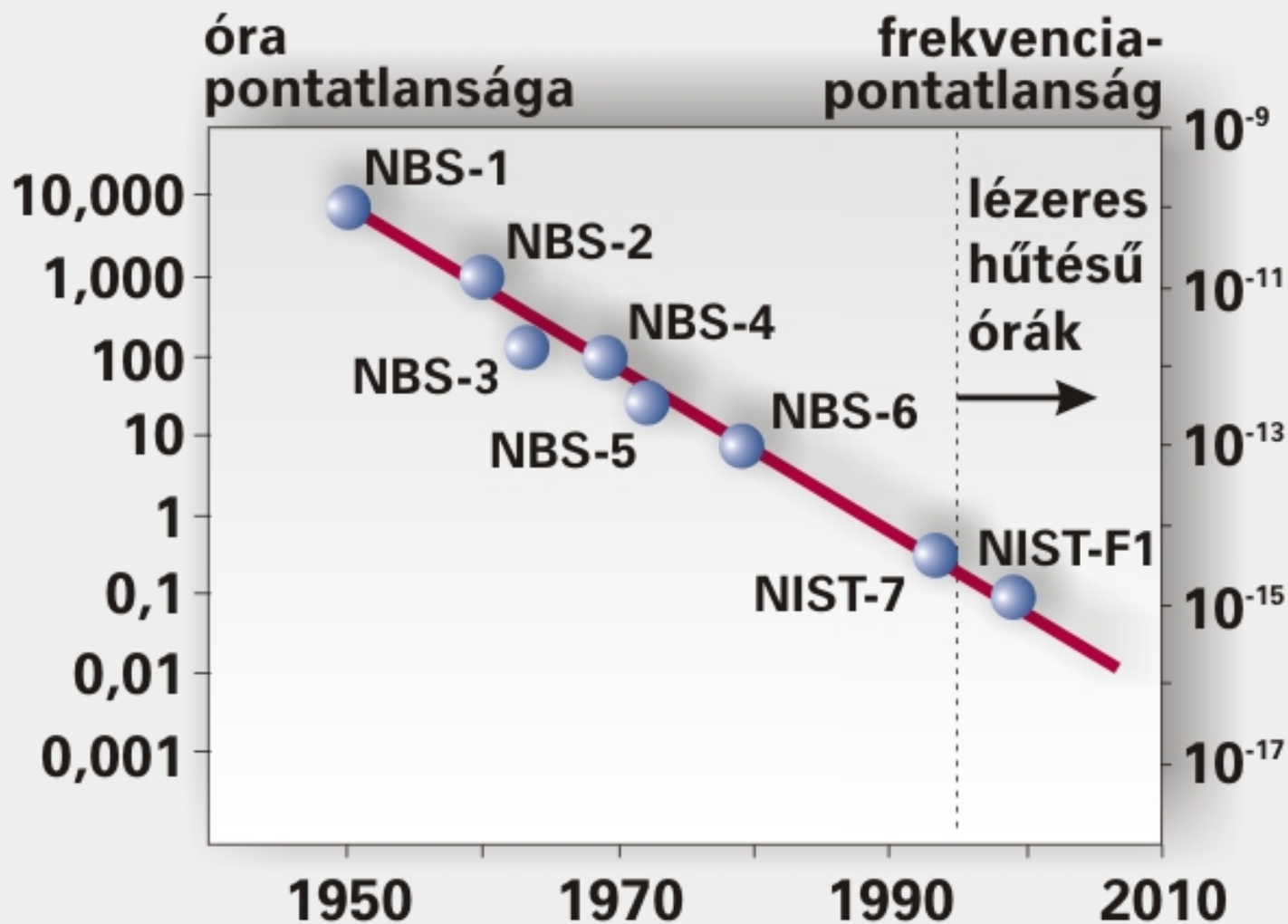




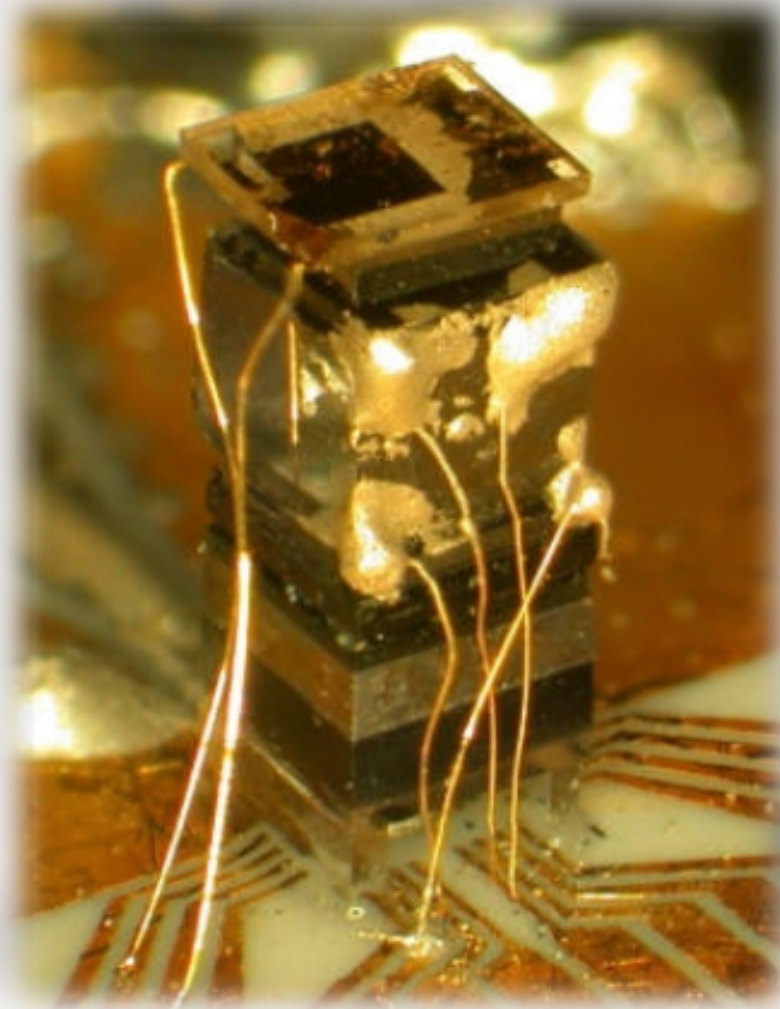




# Az atomórák mérési pontosságának fejlődése



# Chip méretű atomóra



Forrás: NIST

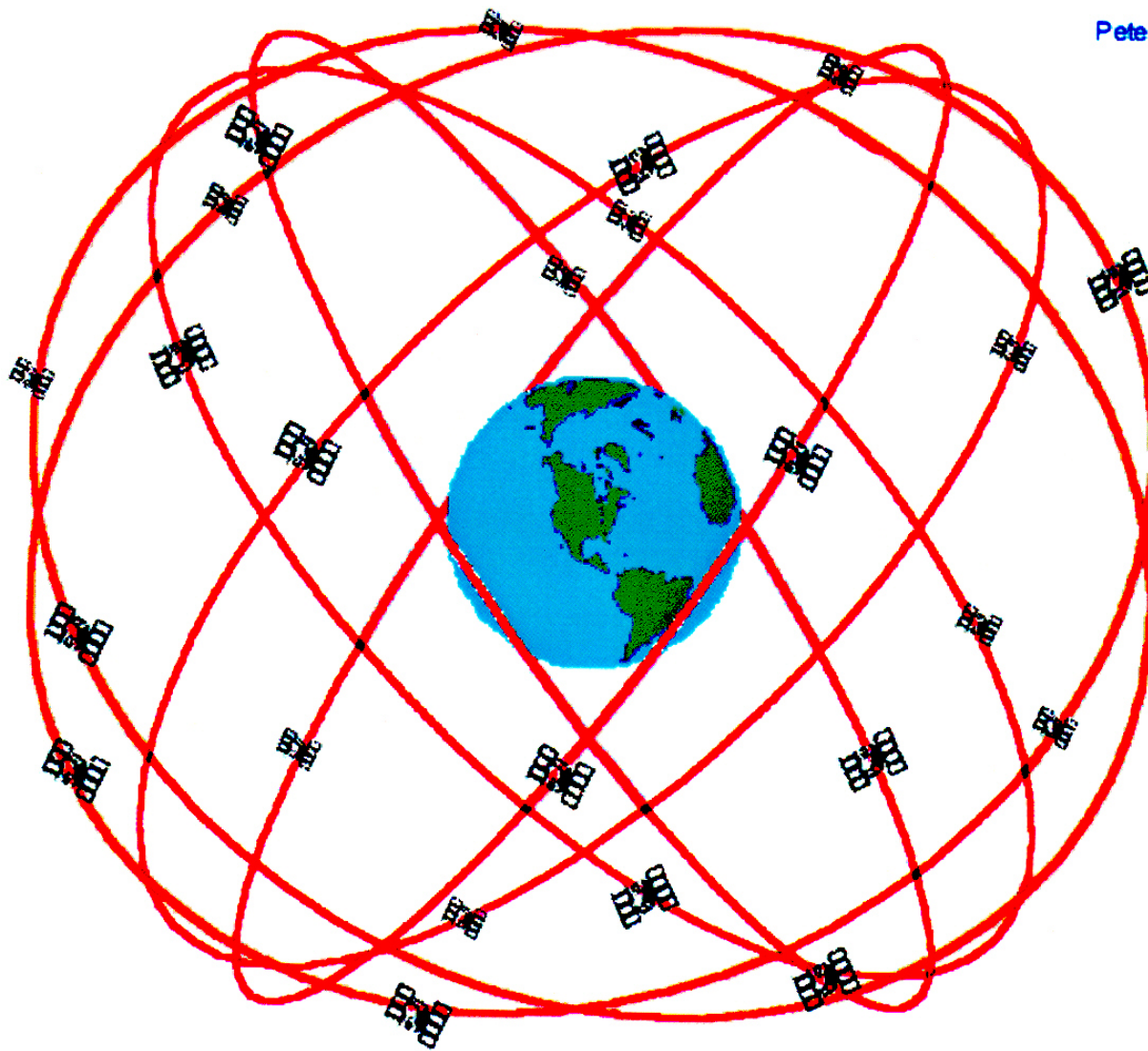


# **Universal Coordinated Time (UTC)**

**„Szökő” másodpercek (22 alkalom 1972 és  
1999 között)**

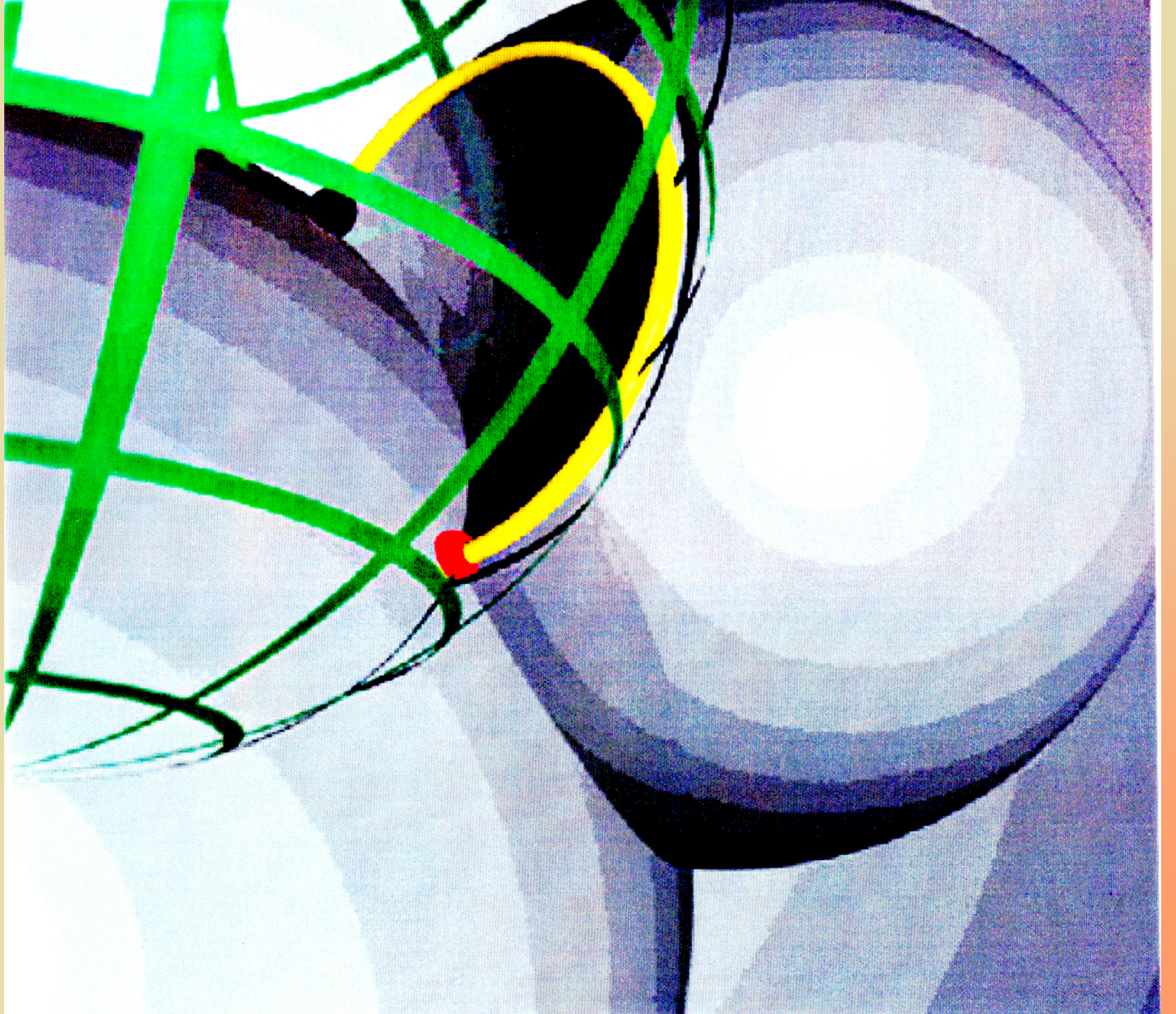
**A következő 2005-ben !**

# **A global positioning system (GPS) működése**

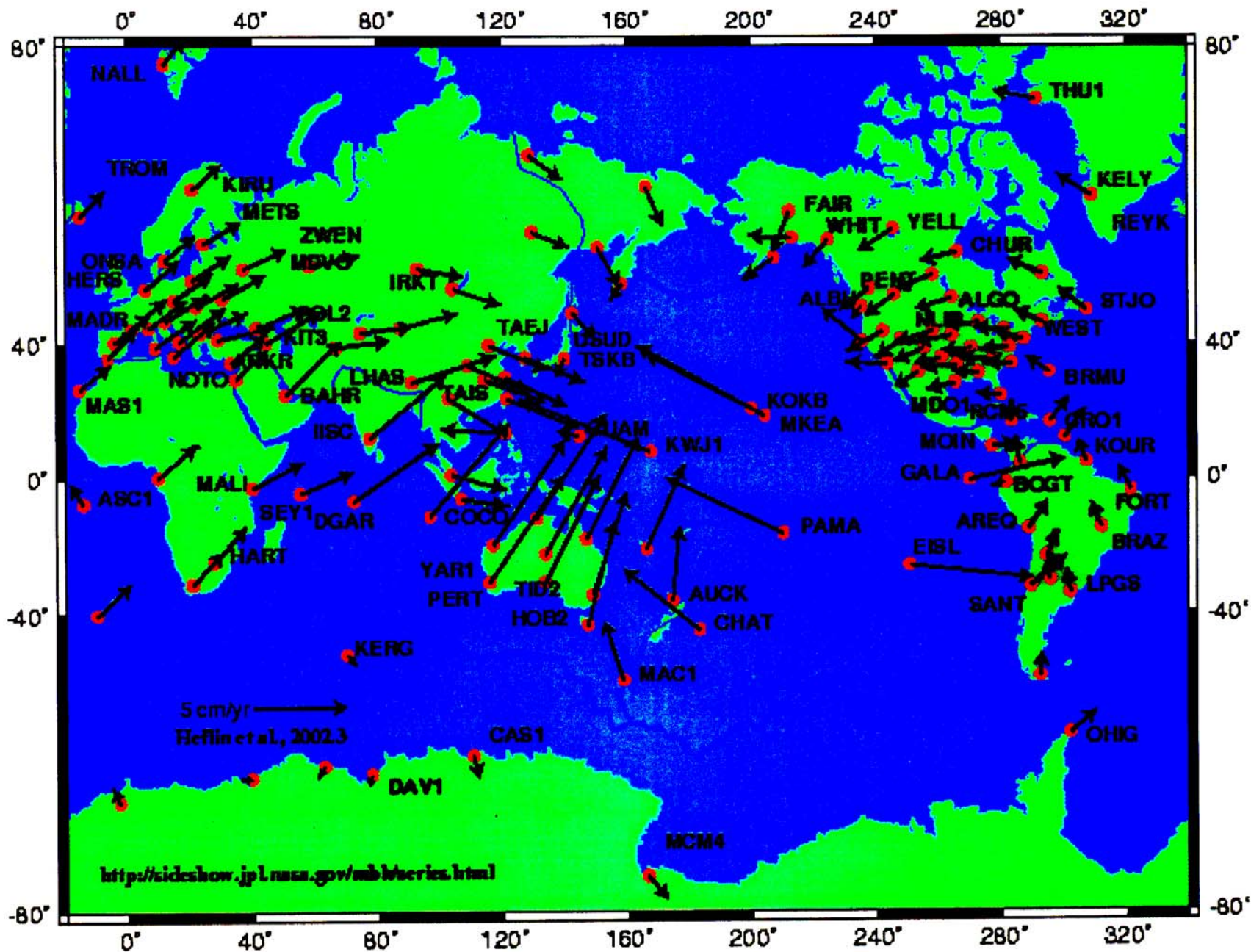


**GPS Nominal Constellation**  
**24 Satellites in 6 Orbital Planes**  
**4 Satellites in each Plane**  
**20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination**











# GPS

**Relativisztikus korrekciók**

**Pontosság növelés**