

*Introduzione: misurazione, sistema delle unità di misura*

# FISICA

Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

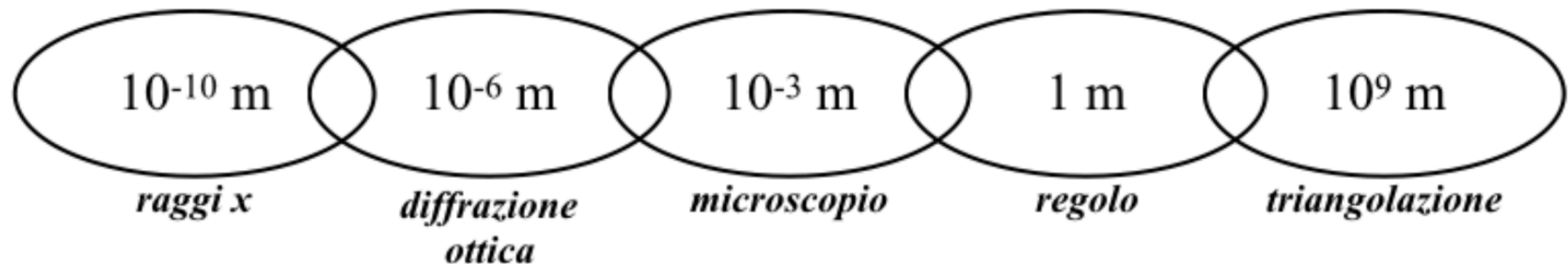
---

Luigi Guiducci

Anno Accademico 2023/24

# Misurazione

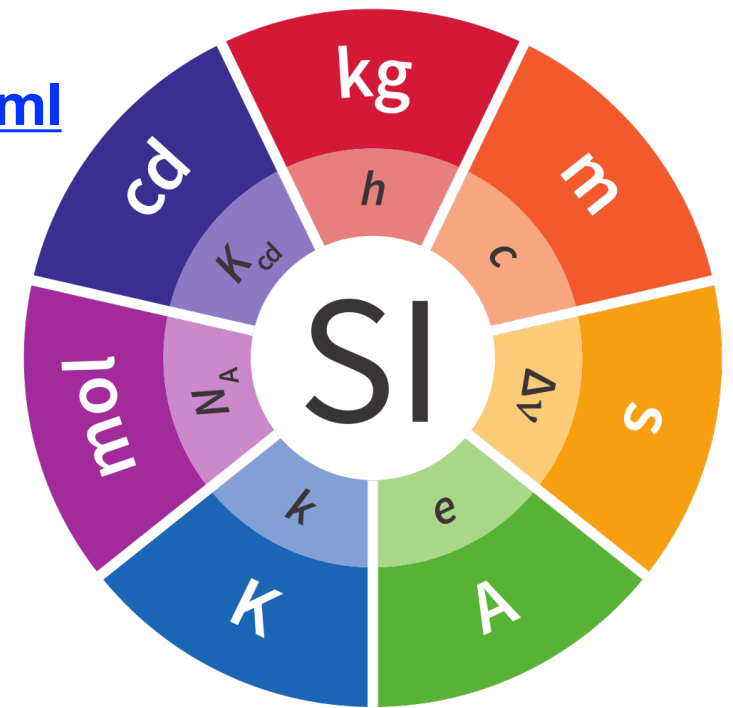
- La **misurazione** è l'operazione necessaria per **associare ad ogni grandezza fisica un numero**.
  - Si tratta di un insieme di **procedimenti** tali che la misura della grandezza sia ottenuta in modo **non ambiguo** e **riproducibile**. In pratica ottengo il rapporto della grandezza da misurare e un'altra, omogenea ad essa, detta unità di misura.
    - Misura diretta; m. strumentale; m. indiretta
  - Il modo di misurare una grandezza fisica ne fissa la definizione**. Ogni grandezza fisica è definita dall'insieme di tutte le possibili operazioni di misura che la riguardano. Operazioni diverse possono essere necessarie per ottenere misure su scale diverse.



- Le grandezze fisiche hanno una **dimensione fisica**. Una certa area non può essere definita “più grande” di una certa lunghezza o più piccolo di un certo volume.
  - Grandezze fondamentali e derivate; **analisi dimensionale (discussione alla lavagna)**.

# Sistema internazionale

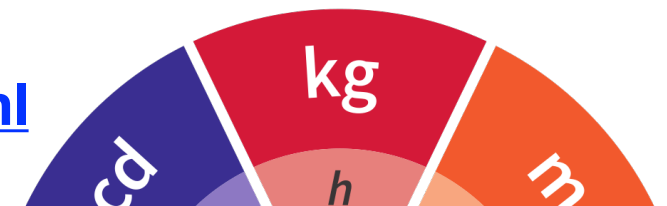
- **Sette unità di base: kg, m, s, cd, mol, K, A**  
<https://www.bipm.org/en/measurement-units/base-units.html>
- A partire dal 2019, tutte le unità di base sono definite fissando a valori esatti 7 costanti fondamentali
- Per la meccanica ci occorrono 3 unità fondamentali: lunghezze (metro, m), tempo (secondo, s) e massa (chilogrammo, kg)
  - 1 secondo corrisponde a 9192631770 oscillazioni della radiazione emessa dalle transizioni iperfini del Cesio-133
  - 1 metro corrisponde alla distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un tempo pari a  $1/c$ , con  $c=299792458$  m/s
  - 1 kg è definito fissando la costante di Planck  $h=6.62607015 \times 10^{-34}$  J·s ( $J=\text{kgm}^2\text{s}^{-2}$ ) e utilizzando tecniche di misura del peso (e dell'accelerazione di gravità) come la bilancia di Kibble



# Sistema internazionale

- Sette unità di base: kg, m, s, cd, mol, K, A

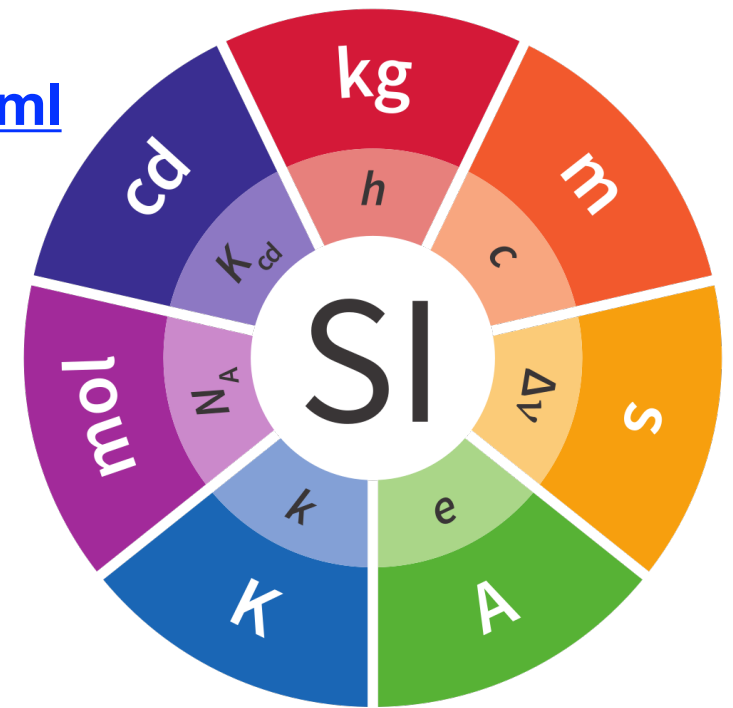
<https://www.bipm.org/en/measurement-units/base-units.html>



Base quantity		Base unit	
Name	Typical symbol	Name	Symbol
time	$t$	second	s
length	$l, x, r, \text{etc.}$	metre	m
mass	$m$	kilogram	kg
electric current	$I, i$	ampere	A
thermodynamic temperature	$T$	kelvin	K
amount of substance	$n$	mole	mol
luminous intensity	$I_v$	candela	cd

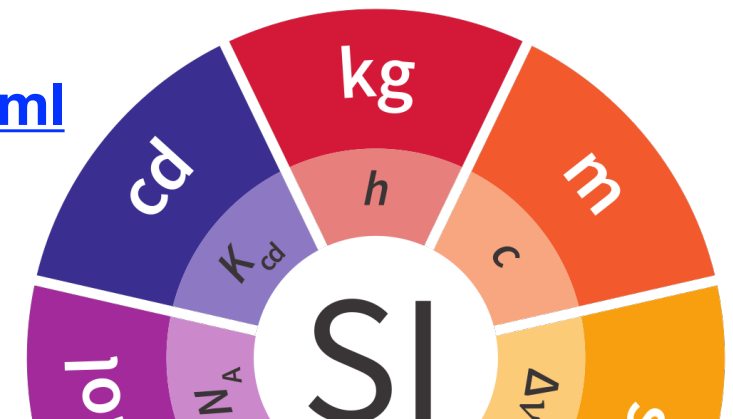
# Sistema internazionale

- **Sette unità di base: kg, m, s, cd, mol, K, A**  
<https://www.bipm.org/en/measurement-units/base-units.html>
- A partire dal 2019, tutte le unità di base sono definite fissando a valori esatti 7 costanti fondamentali
- Per la meccanica ci occorrono 3 unità fondamentali: lunghezze (metro, m), tempo (secondo, s) e massa (chilogrammo, kg)
  - 1 secondo corrisponde a 9192631770 oscillazioni della radiazione emessa dalle transizioni iperfini del Cesio-133
  - 1 metro corrisponde alla distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un tempo pari a  $1/c$ , con  $c=299792458$  m/s
  - 1 kg è definito fissando la costante di Planck  $h=6.62607015 \times 10^{-34}$  J·s ( $J=\text{kgm}^2\text{s}^{-2}$ ) e utilizzando tecniche di misura del peso (e dell'accelerazione di gravità) come la bilancia di Kibble

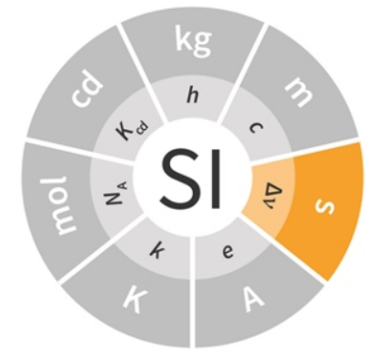


# Sistema internazionale

- **Sette unità di base: kg, m, s, cd, mol, K, A**  
<https://www.bipm.org/en/measurement-units/base-units.html>
- A partire dal 2019, tutte le unità di base sono definite fissando a valori esatti 7 costanti fondamentali



Defining constant	Symbol	Numerical value	Unit
hyperfine transition frequency of Cs	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz
speed of light in vacuum	$c$	299 792 458	$m\ s^{-1}$
Planck constant	$h$	$6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$	J s
elementary charge	$e$	$1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$	C
Boltzmann constant	$k$	$1.380\ 649 \times 10^{-23}$	$J\ K^{-1}$
Avogadro constant	$N_A$	$6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$	$mol^{-1}$
luminous efficacy	$K_{cd}$	683	$lm\ W^{-1}$



# Tempo - il secondo

- Il **secondo**, simbolo s, nel Sistema Internazionale è definito come:
  - la durata di 9,192,631,770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione fra due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di Cesio (isotopo  $^{133}\text{Cs}$ ).
  - In altre parole il secondo è definito fissando il valore numerico della frequenza di tale radiazione  $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9192631770 \text{ Hz}$
  - Ove l'Hertz (simbolo Hz), unità di misura della frequenza, corrisponde a  $\text{s}^{-1}$

# Tempo - UTC

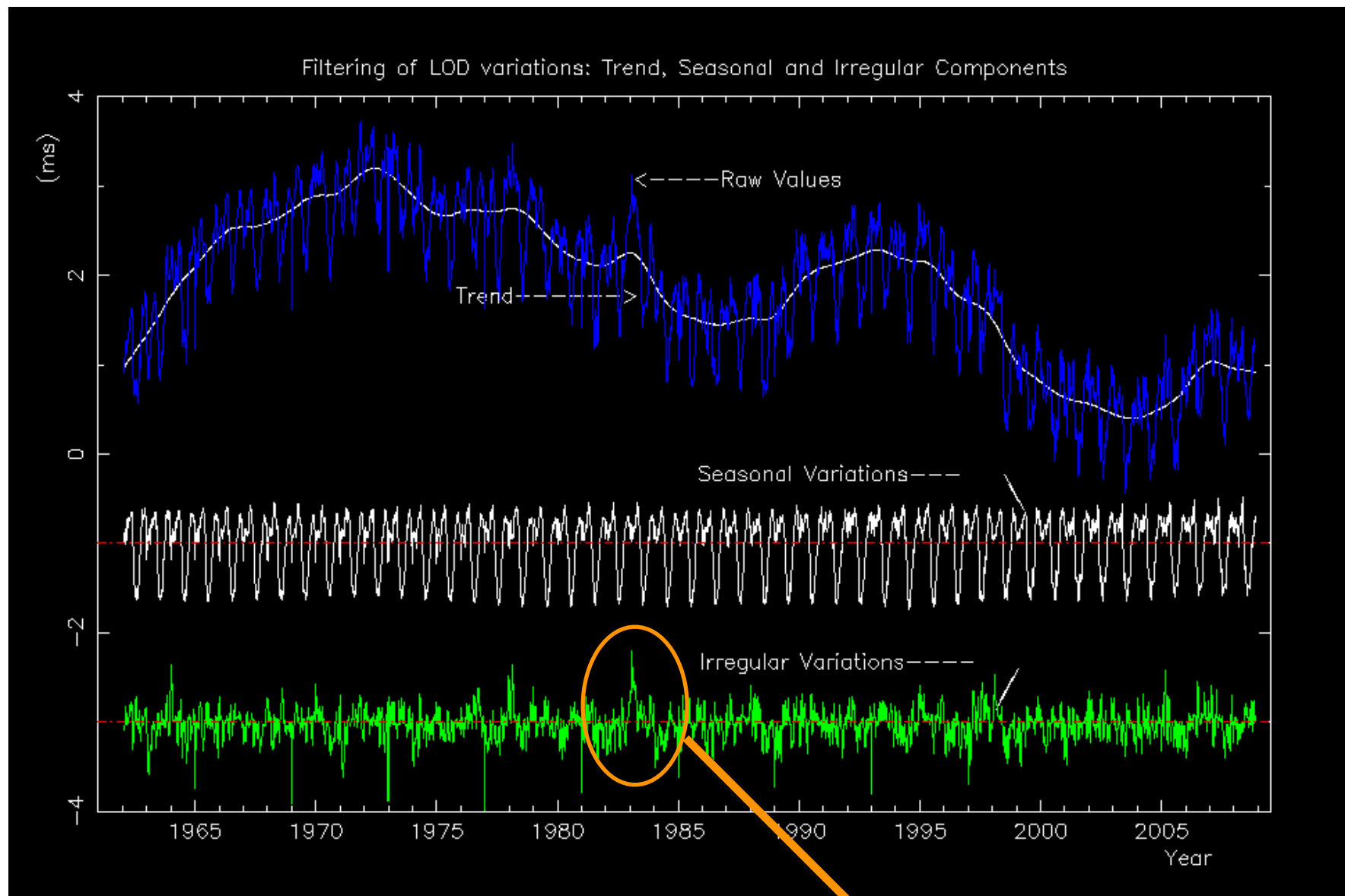
---

- Il tempo universale coordinato (**Universal Coordinated Time, UTC**) si basa sull'**International Atomic Time** (TAI) misurato da orologi atomici
- Viene «aggiustato» di tanto in tanto per adattarsi al tempo «terrestre» (prossima slide)
- La differenza fra i due viene mantenuta entro 0.9 secondi inserendo un minuto di 61 s o 59 s, se necessario, il 30/06 o 31/12. Se ciò avviene, si dice che è stato introdotto un “leap second”.
- Qui trovate diversi tempi standard e numerosi link interessanti:  
<http://www.leapsecond.com/java/gpsclock.htm>



# Durata del giorno terrestre

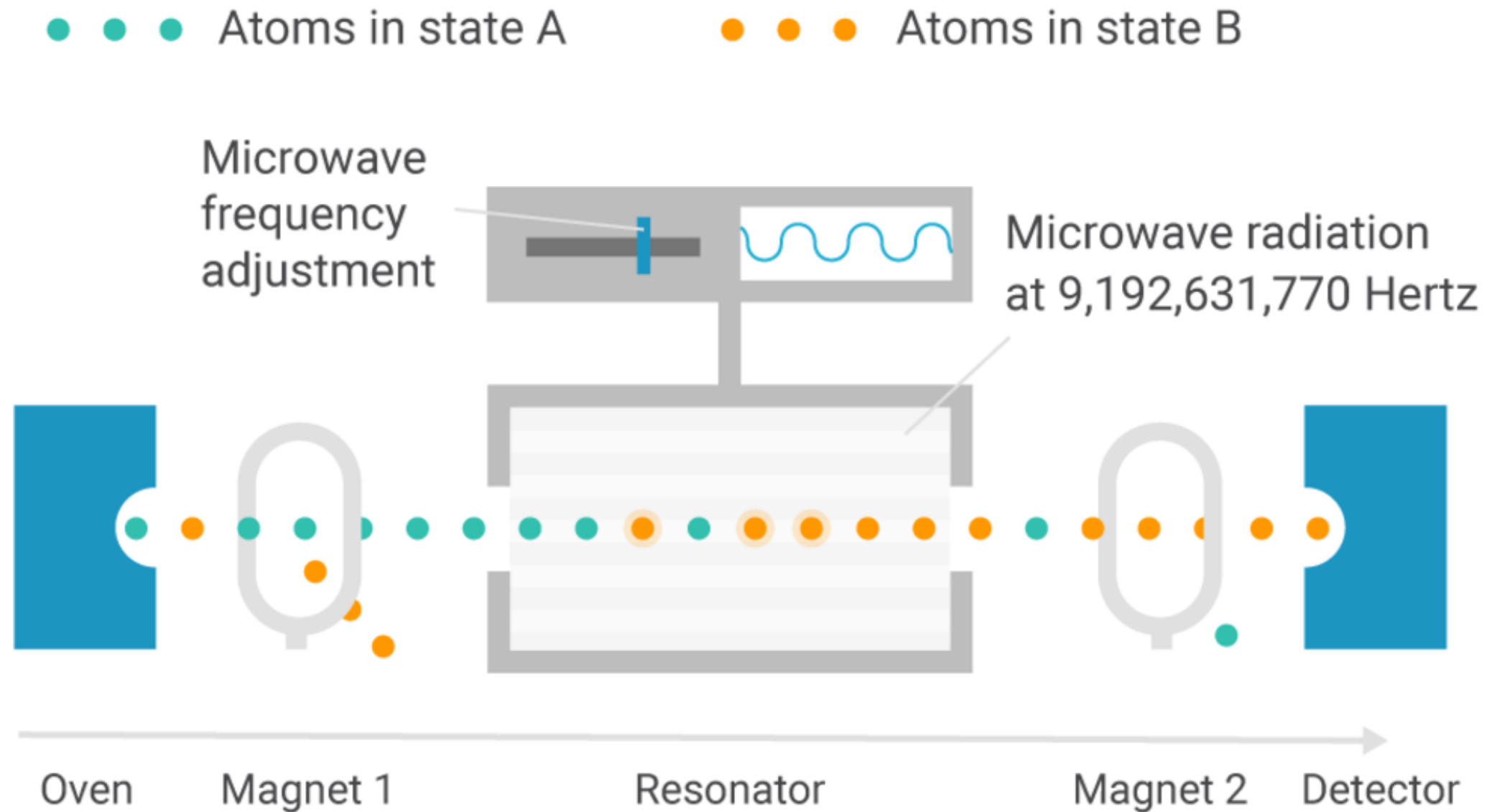
- La velocità di rotazione terrestre è influenzata da diversi fattori: maree, movimento del nucleo fluido della terra, eventi meteorologici, perdita di momento angolare verso la luna...



- [https://en.wikipedia.org/wiki/El\\_Niño](https://en.wikipedia.org/wiki/El_Niño)

Eccezionale El Nino, 1983

# Come funziona un orologio atomico?



© timeanddate.com

<https://www.timeanddate.com/time/how-do-atomic-clocks-work.html>

# Alcuni intervalli di tempo

---

Intervallo di tempo	secondi	
Vita di un protone	$3 \cdot 10^{40}$	$\sim 10^{33}$ anni
Età dell'universo	$4 \cdot 10^{17}$	$\sim 14$ miliardi di anni
Età della piramide di Cheope	$1 \cdot 10^{11}$	$\sim 4600$ anni
Durata media della vita umana	$2 \cdot 10^9$	79 anni
Un anno	$3 \cdot 10^7$	
Un giorno	$9 \cdot 10^4$	
Un battito cardiaco	$8 \cdot 10^{-1}$	
Periodo del LA centrale	$2 \cdot 10^{-3}$	440 Hz
Transizioni tra livelli atomici	$1 \cdot 10^{-8}$	10 ns
Commutazione di un transistor	$1 \cdot 10^{-9}$	1 ns = 1 GHz
Vita media del bosone di Higgs	$2 \cdot 10^{-22}$	
Tempo di Planck	$1 \cdot 10^{-43}$	



# Lunghezza - il metro

- L'unità di misura della lunghezza nel SI è il **metro** (simbolo **m**), definito fissando il valore numerico della velocità della luce nel vuoto al valore di:

$$c = 299792458 \text{ ms}^{-1}$$

- In altre parole il metro è la lunghezza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a  $1/299792458$  s. Ricordiamo che il tempo è definito mediante  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

# Alcune misure di lunghezza

Lunghezza	metri	
Raggio dell'universo	$10^{26}$	
Raggio della galassia	$10^{21}$	
Un anno-luce	$9 \cdot 10^{15}$	
Raggio del sole	$7 \cdot 10^8$	700'000 km
Raggio della terra	$6.4 \cdot 10^6$	6400 km
Il prof. di fisica	$2 \cdot 10^0$	190 cm
Spessore di un foglio	$10^{-4}$	0.1 mm
Lunghezza d'onda luce verde	$5.5 \cdot 10^{-7}$	550 nm
Dimensioni di un virus	$1-10 \cdot 10^{-8}$	10-100 nm
Raggio di un atomo	$10^{-10}$	1 Å
Raggio di un nucleo atomico	$10^{-15}$	1 fm
Raggio di un elettrone	$<10^{-16}$	puntiforme?



# Massa - il chilogrammo

- L'unità di misura della massa nel SI è il chilogrammo (simbolo **kg**), definito fissando il valore numerico della costante di Planck a:

$$h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ kgm}^2\text{s}^{-1}$$

- Insieme alla definizione del secondo e del metro, questo porta alla definizione dell'unità di massa in termini della costante di Planck  $h$ .
- Fino a Maggio 2019 il campione di massa era ancora definito utilizzando il *chilogrammo campione*, un cilindro di platino-iridio conservato presso il Bureau International des Poids et Mesures a Parigi, e duplicato in varie copie sparse nel mondo (in Italia l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica di Torino)



# Approfondimenti

---

- Il chilogrammo campione al NIST negli USA  
[https://www.youtube.com/watch?v=SmSJXC6\\_qQ8](https://www.youtube.com/watch?v=SmSJXC6_qQ8)
- L'oggetto più sferico del mondo:  
<https://www.youtube.com/watch?v=ZMByl4s-D-Y>
- La bilancia di Watt:  
<https://www.youtube.com/watch?v=Oo0jm1PPRuo>

# Alcune misure di massa

Massa	kg	
Universo	$10^{53}$	
Galassia	$10^{42}$	
Sole	$2 \cdot 10^{30}$	
Terra	$6 \cdot 10^{24}$	
Un transatlantico	$10^8$	100'000 T
Il prof. di fisica	$0.9 \cdot 10^2$	90 kg
Un chicco d'uva	$3 \cdot 10^{-3}$	3 g
Un granello di polvere	$7 \cdot 10^{-10}$	100 ng
Un virus	$10^{-16}$	100 fg
Una molecola di penicillina	$5 \cdot 10^{-17}$	50 fg
Un atomo di uranio	$4 \cdot 10^{-25}$	238 u
Un protone	$2 \cdot 10^{-27}$	0.9 GeV/c <sup>2</sup>
Un elettrone	$9 \cdot 10^{-31}$	511 keV/c <sup>2</sup>



# Multipli e sottomultipli

---

Prefisso	Fattore	Simbolo
exa-	$10^{18}$	E
peta-	$10^{15}$	P
tera-	$10^{12}$	T
giga-	$10^9$	G
mega-	$10^6$	M
kilo-	$10^3$	k
etto-	$10^2$	h
deca-	$10^1$	da
deci-	$10^{-1}$	d
centi-	$10^{-2}$	c
milli-	$10^{-3}$	m
micro-	$10^{-6}$	$\mu$
nano-	$10^{-9}$	n
pico-	$10^{-12}$	p
femto-	$10^{-15}$	f
atto-	$10^{-18}$	a

# Analisi dimensionale / 1

---

- **Ha senso confrontare una lunghezza con un'area?**
- Per indicare le dimensioni di una grandezza fisica utilizziamo una notazione che permetta di indicare quali grandezze fondamentali sono coinvolte: **Lunghezza [L]**, **Tempo [T]**, **Massa [M]**. Ad esempio, detta S una superficie, V un volume, v una velocità, avremo:

$$[S] = [L^2] ; \quad [M] = [L^3] ; \quad [V] = [L^1 T^{-1}]$$

e così via.

- *Notiamo che un angolo, essendo definito come il rapporto tra la lunghezza dell'arco di circonferenza che l'angolo sottende e il raggio di tale circonferenza, è una quantità adimensionale!*

$$\alpha = \frac{s}{R} \implies [\alpha] = [L^0 M^0 T^0]$$

# Analisi dimensionale / 2

---

- In una legge fisica le dimensioni dei due termini dell'equazione devono essere le stesse. Ad esempio, ipotizziamo di avere una relazione tra distanza e accelerazione e tempo del tipo

$$x = \frac{1}{2}at$$

- Non può essere corretta! A sinistra si ha  $[L]$ , a destra si ha  $[LT^{-1}]$  (verificarlo!)
- È invece corretta dal punto di vista dimensionale la più familiare relazione valida per il moto ad accelerazione costante

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

- Altro esempio: se scrivo  $s = \sin(t)$ , dove  $s$  è una lunghezza e  $t$  un tempo, ho fatto DUE errori. Quali?

Ci fermiamo qua. Torneremo sulle altre unità del Sistema Internazionale dopo aver completato lo studio della meccanica Newtoniana. Per ora ci bastano lunghezza, tempo e massa!