



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

fisica I

introduzione al corso

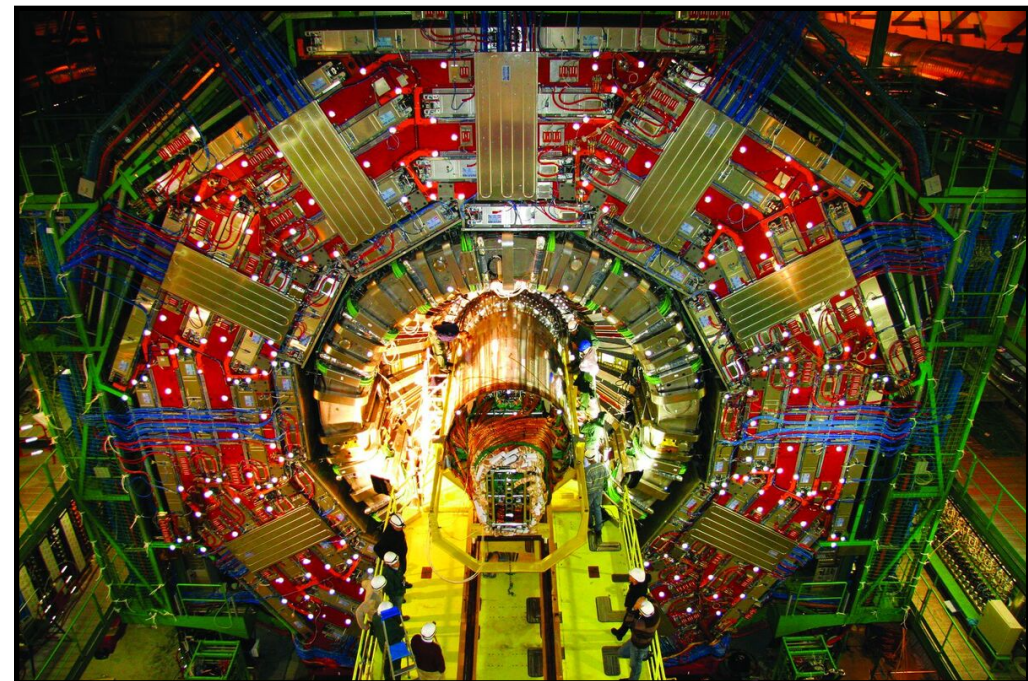


prof. Vieri Candelise

24/02/2026

Chi sono?

- Prof. Vieri Candelise vieri.candelise@units.it
- mi occupo di fisica sperimentale delle particelle e lavoro nell'esperimento CMS al CERN
- dove trovarmi: Edificio F (Dip. Fisica) stanza 230, 4° piano
- ricevimento ~ 24/7 se mi scrivete prima una mail



Struttura del corso

lezioni frontali di teoria

- martedì 11-13 (aula E1 ed. C)
- mercoledì 8.30-10 (aula 1A ed. H3)
- giovedì 11-13 (aula 1B ed. H3)
- venerdì (aula 0A ed. D)

esercitazioni

- venerdì 14-16 (aula E1 ed. C)

Dott.ssa Paola Perion

moodle del corso

<https://moodle2.units.it/course/view.php?id=16433>

- conterrà gli argomenti delle lezioni e le esercitazioni, approfondimenti, avvisi, testi e soluzioni degli esami, aggiornato settimanalmente
- iscrivetevi!



Modalità d'esame

l'esame consiste in uno scritto:

- 2 domande di teoria + 3 esercizi su tutto il programma in 3 ore

chi prende ≥ 18 può verbalizzare il voto

- si può scegliere di fare l'orale per provare ad aumentare il voto
- l'orale si tiene il giorno dopo lo scritto e riguarda tutto il programma

sessioni d'esame 2026

- **3 giugno**
- 1° luglio
- 1° settembre
- 15 settembre
- novembre, TBC

Regole d'esame

lo scritto è considerato superato ↔

- si risponde correttamente ad **entrambe** le domande teoriche
- si raggiunge un punteggio minimi su **ognuno** degli esercizi

il voto dello scritto se superato vale solo nella sessione in corso

- si verbalizza il voto **solo con presa visione del compito in presenza il giorno dopo lo scritto**, nello stesso giorno si può visionare il compito e fare l'orale

testo e soluzione dello scritto vengono pubblicati su moodle in 24h

- qualunque tentativo di copiare da esseri umani o artificiali **causerà l'espulsione immediata dalla prova**

Il corso

parte 1: meccanica del punto e dei sistemi

- 70 ore, prof. Candelise + dr.ssa Perion
- fine entro ~ 28/4



parte 2: termodinamica

- 20 ore, prof. Nicolini + dr.ssa Perion
- fine entro ~ 29/5



Il libro di testo

corso largamente basato su Gettys, Fisica 1 Meccanica e Termodinamica



- qualunque testo universitario e/o eserciziario di Fisica 1 può aiutare a completare la preparazione

sopravvivere al corso di Fisica 1

- 1) essere sempre a lezione: è facilissimo perdersi saltando una lezione, avendo 8 ore a settimana
- 2) usare almeno un paio di pomeriggi alla settimana per rivedere le lezioni in aula → vitale
- 3) venire alle esercitazioni il venerdì → vitale: veramente necessario per stare dietro al corso e arrivare allo scritto preparati

venire agli scritti tanto per provare: pessima idea

let's start

cos'è la Fisica

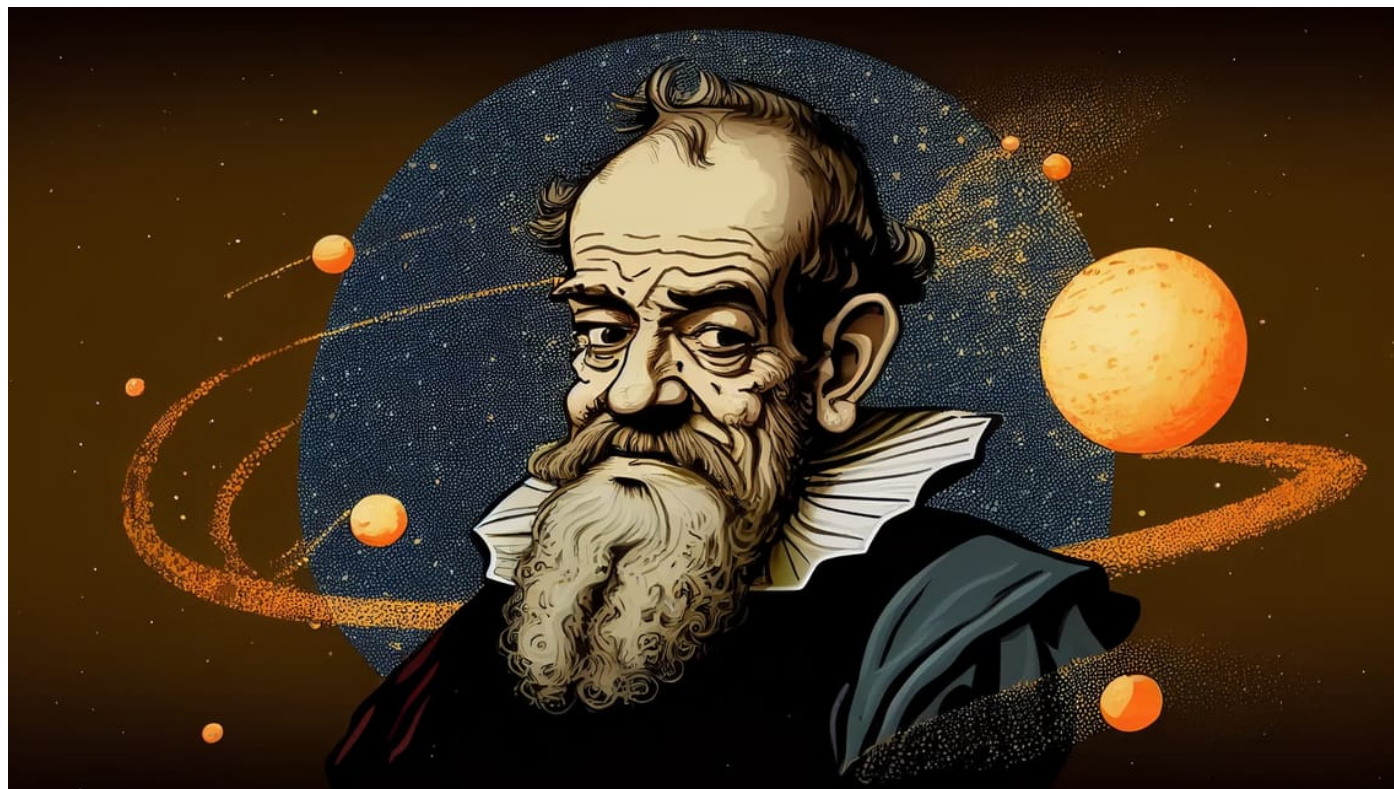
il metodo scientifico

osservare, misurare, errori

cifre significative

unità di misura

ordini di grandezza



let's start

è lo studio della Natura attraverso l'osservazione

osservare → misurare → definire leggi matematiche che codificano le
osservazioni → usarle per capire come funzionano le cose



la Fisica traduce il funzionamento della
realtà e dell'Universo per il nostro cervello
attraverso il linguaggio della Matematica

Il Metodo Scientifico

un fenomeno fisico per essere studiato deve essere fondato su un modello matematico e sottoposto ad un esperimento **riproducibile**.

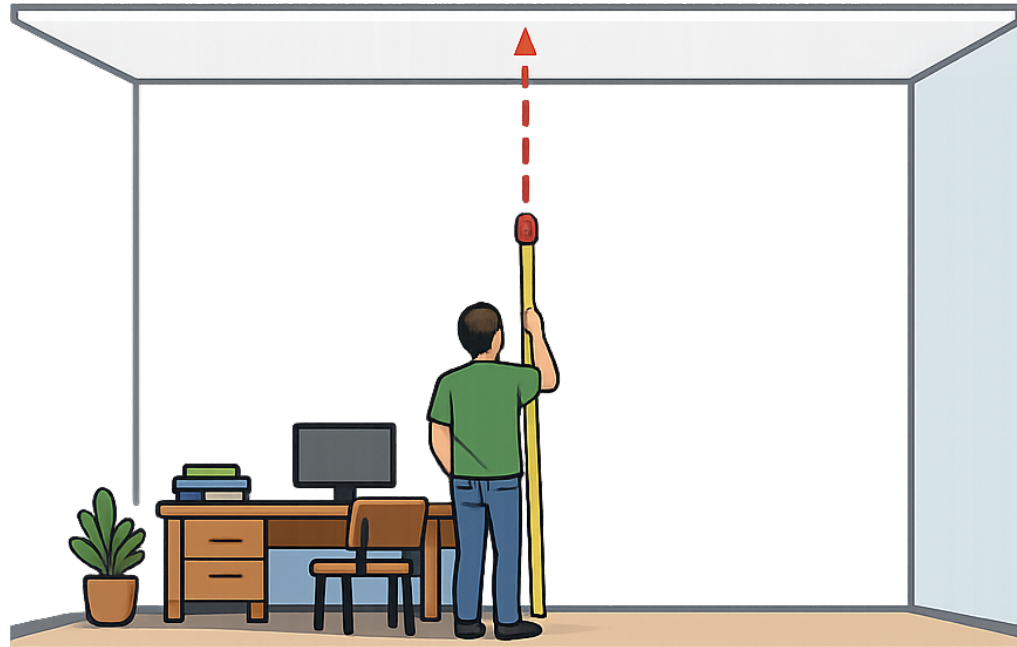
- un esperimento deve essere **riproducibile** per descrivere la realtà
- un modello matematico è una teoria che predice il risultato di una misura
- la statistica è alla base della misura e dell'osservazione: nella scienza una cosa *vera* è una cosa *statisticamente vera*

non posso accettare un risultato di una misura se non posso riprodurlo!

Il metodo scientifico è la modalità con cui la scienza procede per raggiungere una conoscenza della realtà affidabile e verificabile (**falsificabile**)

il risultato di una misura è un numero accompagnato da un errore ed una unità di misura

Il Metodo Scientifico

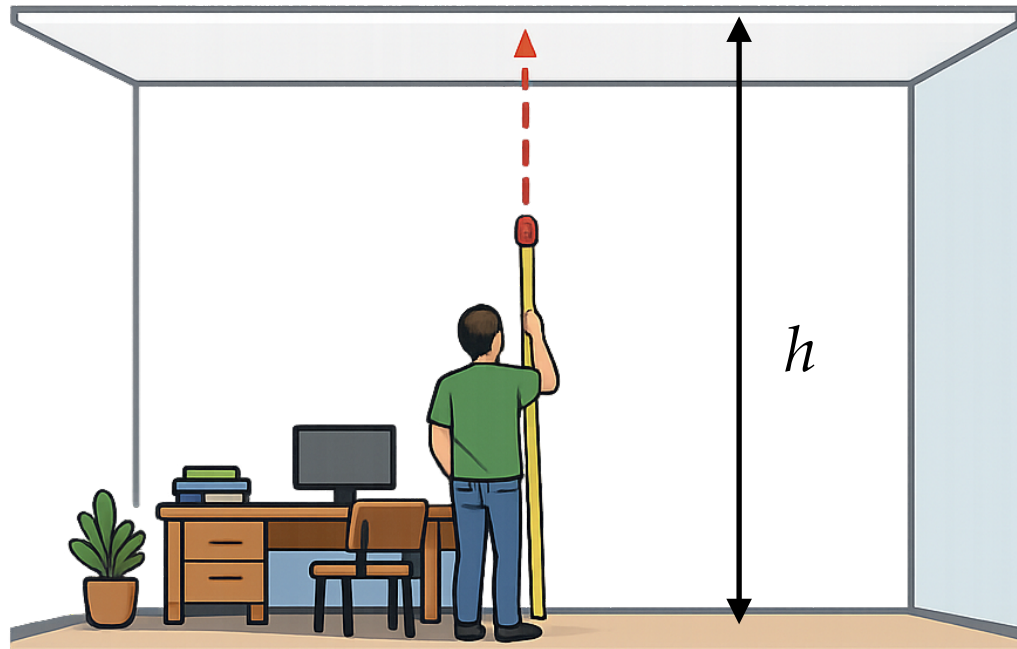


domanda: quanto è alto il soffitto della mia camera?

come si presenta il risultato?

con che precisione posso dare il risultato?

Il Metodo Scientifico

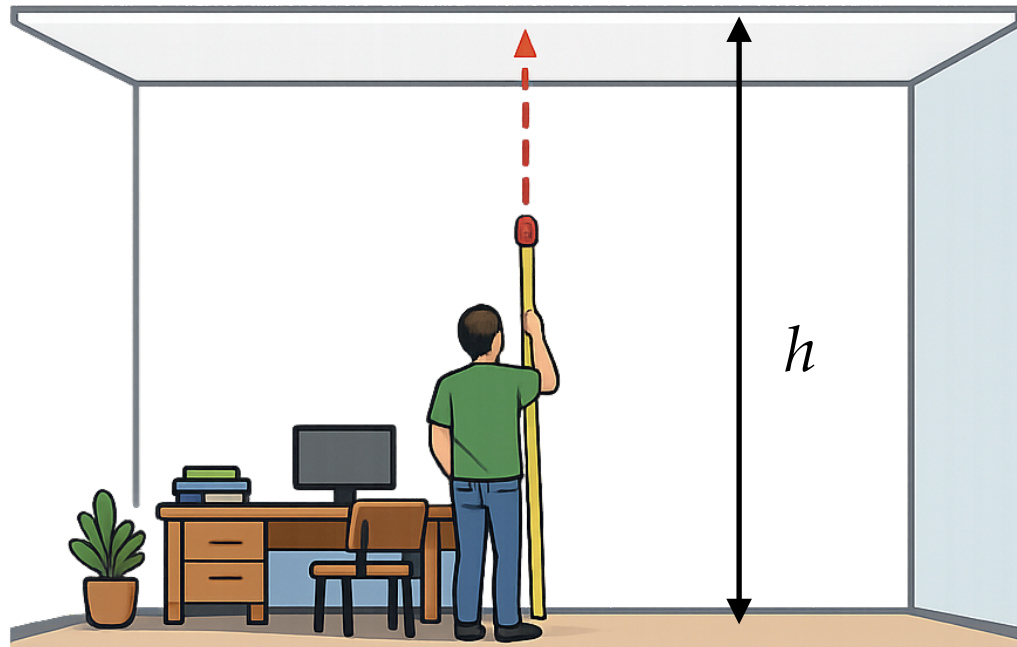


$$h = (3.52 \pm 0.03)\text{m}$$

gli errori sono intrinseci nell'atto della misura

- non misurerò mai due volte la stessa identica cosa!
- ripetere N volte le misure induce un **errore statistico** pari a $\sqrt{N}$
- in generale la risoluzione dello strumento, le condizioni ambientali, l'umano, inducono anche un **errore sistematico**

Il Metodo Scientifico



variabile h

$$h = (3.52 \pm 0.03)\text{m}$$

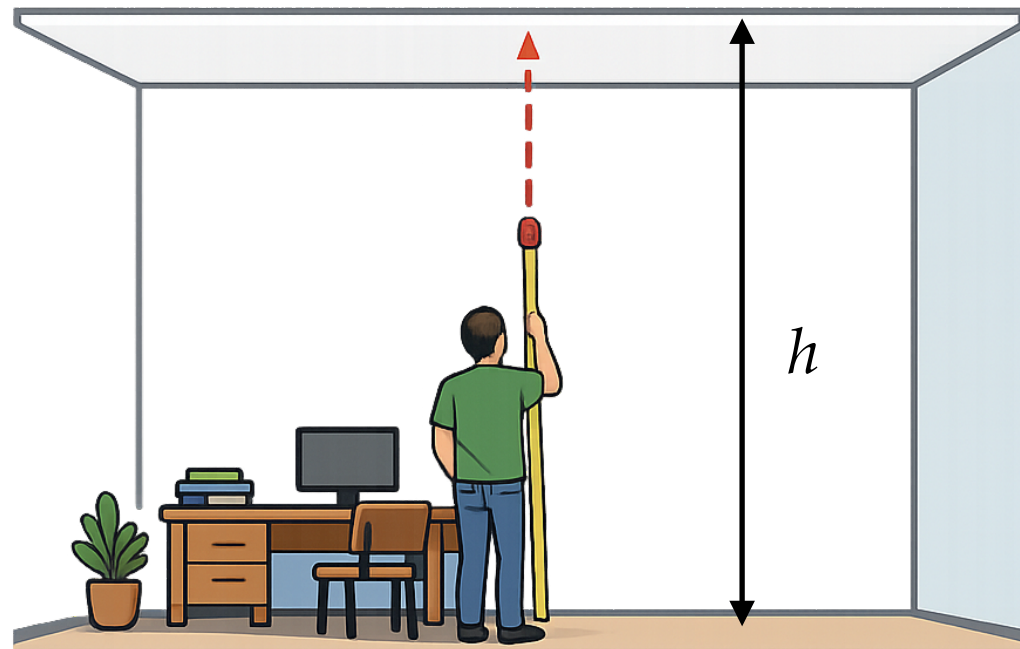
valore centrale della
misura

σ_h = errore
sperimentale
unità di misura
(metri)

gli errori sono intrinseci nell'atto della misura

- non misurerò mai due volte la stessa identica cosa!
- ripetere N volte le misure induce un **errore statistico** pari a $\sqrt{N}$
- in generale la risoluzione dello strumento, le condizioni ambientali, l'umano, inducono anche un **errore sistematico**

Il Metodo Scientifico



variabile h

$$h = (3.52 \pm 0.03)\text{m}$$

valore centrale della
misura

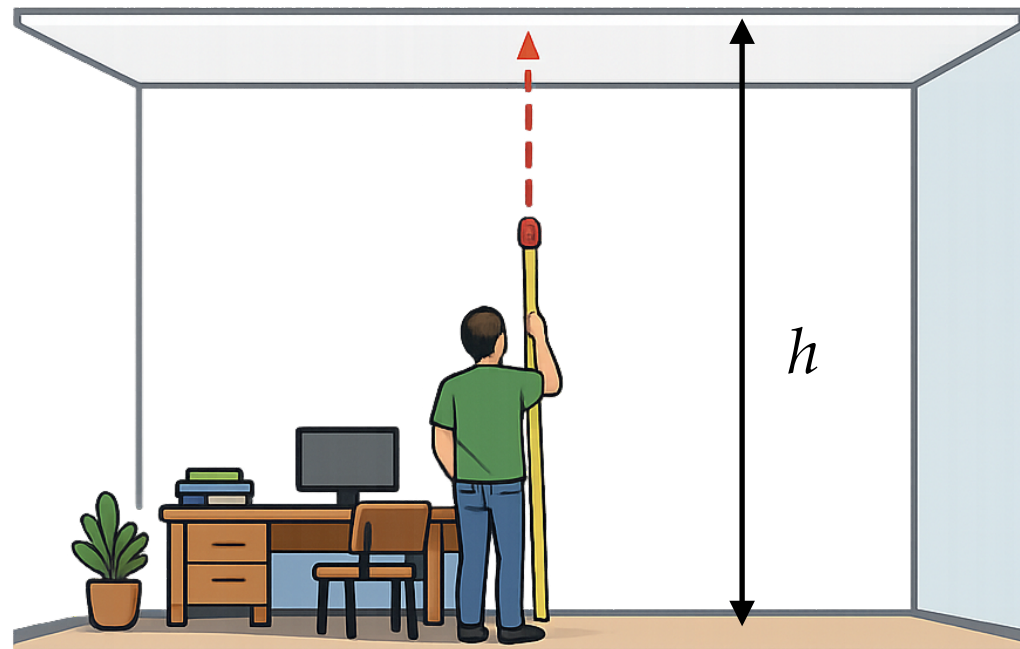
σ_h = errore
sperimentale
unità di misura
(metri)

$$\text{precisione } \% = \frac{\sigma_h}{h} \cdot 100 = \frac{0.03}{3.52} 100 = 0.85 \% \sim 1 \%$$

gli errori sono intrinseci nell'atto della misura

- non misurerò mai due volte la stessa identica cosa!
- ripetere N volte le misure induce un **errore statistico** pari a $\sqrt{N}$
- in generale la risoluzione dello strumento, le condizioni ambientali, l'umano, inducono anche un **errore sistematico**

Il Metodo Scientifico



variabile h

$$h = (3.52 \pm 0.03)\text{m}$$

valore centrale della
misura

σ_h = errore
sperimentale
unità di misura
(metri)

$$\text{precisione } \% = \frac{\sigma_h}{h} \cdot 100 = \frac{0.03}{3.52} 100 = 0.85 \% \sim 1 \%$$

gli errori sono intrinseci nell'atto della misura

?

- non misurerò mai due volte la stessa identica cosa!
- ripetere N volte le misure induce un **errore statistico** pari a $\sqrt{N}$
- in generale la risoluzione dello strumento, le condizioni ambientali, l'umano, inducono anche un **errore sistematico**

Osservare la realtà con gli occhi della Fisica



Osservare la realtà con gli occhi della Fisica



osservo il fenomeno: **tiro da tre**

scelgo l'oggetto da studiare: **la palla**

osservo il fenomeno: cosa *cambia* in funzione di cosa? che succede?

osservo, calcolo e misuro:

faccio una predizione

segnerò oppure no?

dare una risposta quantitativa basata sulla teoria e poi misurare, e ripetere

Osservare la realtà con gli occhi della Fisica



Fisso un riferimento

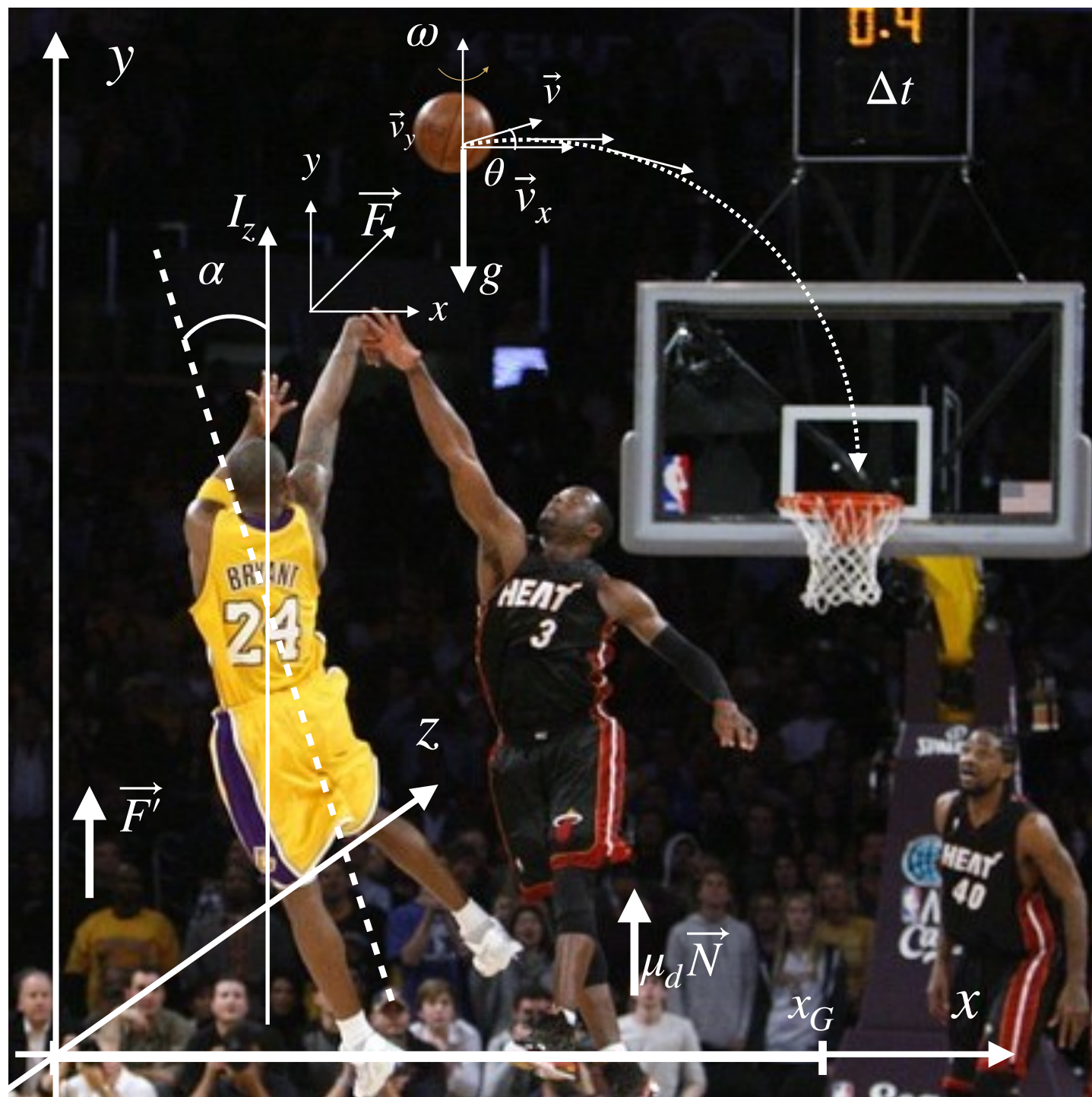
posizione della palla nel tempo

posizione x della palla
cambia nel tempo t
ovvero $x(t)$

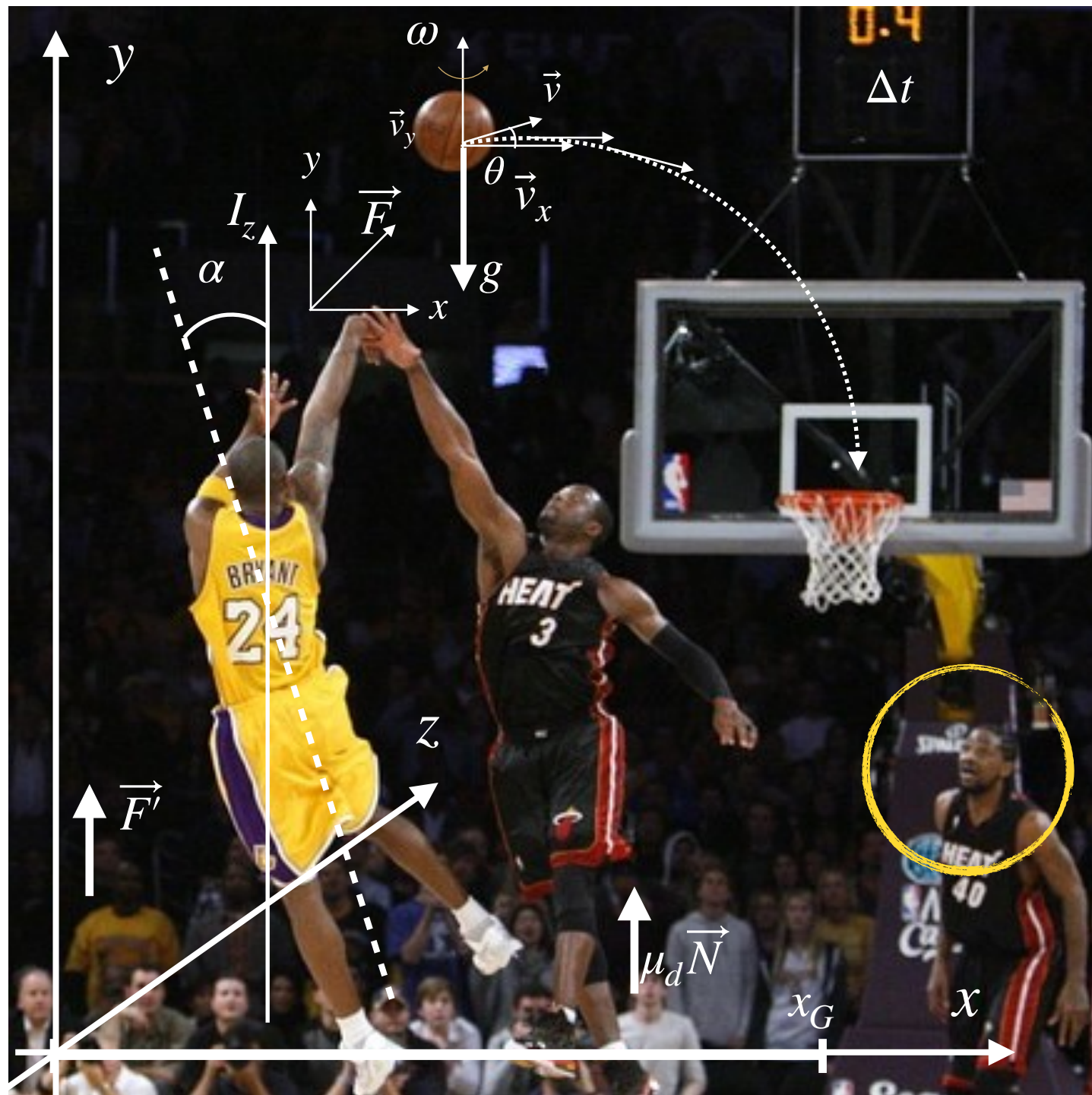
cerco una legge per $x(t)$ valida
ripeto e vedo se $x(t)$ vale ancora

cosa influenza questa misura?
ci sono altre dipendenze rilevanti?

Osservare la realtà con gli occhi della Fisica



Osservare la realtà con gli occhi della Fisica



voi alla fine del corso
(se non passate lo scritto):

Osservare la realtà con gli occhi della Fisica



Unità di Misura

i numeri senza unità di misura **non hanno senso**

in matematica posso dire: $6 = 6$

ma nella realtà non posso dire $6 \text{ m} = 6 \text{ km} !!$

con le unità di misura attribuisco ai numeri un significato

- il sistema universalmente usato per identificare le unità di misura è il **Sistema Internazionale (SI)** istituito nel 1960

tutte le unità di misura derivano dalle 7 fondamentali:

tempo (secondi, s) spazio (metri, m) massa (chilogrammi, Kg)

+ temperatura, corrente, intensità luminosa, quantità di sostanza

Unità di Misura

Il SI definisce le sette
dimensioni fisiche fondamentali:

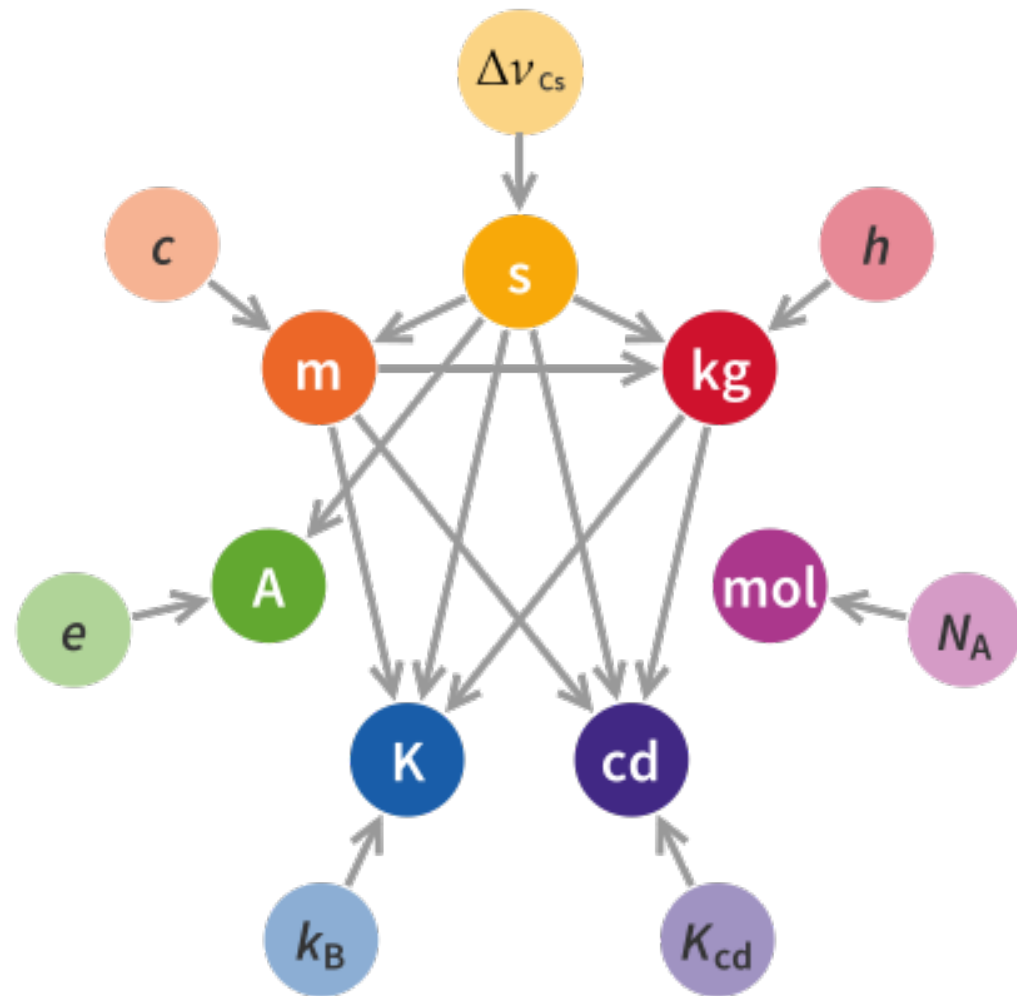
Grandezza base ♦	Simbolo dimensionale ♦
Intervallo di tempo	[T]
Lunghezza	[L]
Massa	[M]
Intensità di corrente	[I]
Temperatura	[Θ]
Intensità luminosa	[J]
Quantità di sostanza	[N]

definite a partire da sette costanti:

Costante fondamentale ♦	Simbolo ♦
Frequenza di transizione iperfina del Cesium 133	$\Delta\nu_{Cs}$
Velocità della luce nel vuoto	c
Costante di Planck	h
Carica elementare	e
Costante di Boltzmann	k_B
Efficienza luminosa standard ^[14]	K_{cd}
Numero di Avogadro	N_a

Unità di Misura

assegnamo il nome e il simbolo alle unità fondamentali



Grandezza base ♦	Nome dell'unità di misura ♦	Simbolo ♦
Intervallo di tempo	secondo	<i>s</i>
Lunghezza	metro	<i>m</i>
Massa	chilogrammo	<i>kg</i>
Intensità di corrente	ampere	<i>A</i>
Temperatura assoluta	kelvin	<i>K</i>
Intensità luminosa	candela	<i>cd</i>
Quantità di sostanza	mole	<i>mol</i>

da cui ricaviamo le unità delle grandezze di base

Definizione	Simbolo	Valore	Unità base SI
Frequenza di transizione iperfina del Cesio 133	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770	s^{-1}
Velocità della luce nel vuoto	<i>c</i>	299 792 458	$m \cdot s^{-1}$
Costante di Planck	<i>h</i>	$6,62607015 \times 10^{-34}$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$
Carica elementare	<i>e</i>	$1,602176634 \times 10^{-19}$	$A \cdot s$
Costante di Boltzmann	k_B	$1,380649 \times 10^{-23}$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Efficienza luminosa standard ^[14]	K_{cd}	683	$lm \cdot s^3 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2}$
Costante di Avogadro	N_A	$6,02214076 \times 10^{23}$	mol^{-1}

Unità di Misura

- dalla misura delle costanti alla definizione di dimensione:

tempo: $1\text{s} = 9192631770$ oscillazioni del Cesio 133. Precisione 10^{-13} ,
ovvero sbaglio di 1 secondo ogni 10^6 anni

spazio: $1\text{m} =$ distanza percorsa dalla luce in $1 / 299792458$ secondi

massa: $1\text{kg} =$ ex- 1 cilindro di platino iridio conservato al Louvre del 1889, oggi si basa sul valore esatto della costante di Planck h

- tutte le altre si compongono:
- velocità = variazione dello spazio nel tempo = dx / dt
- accelerazione = variazione di velocità = dv / dt
- $[a] = [v][t]^{-1} = [x][t]^{-1}[t]^{-1} = [x][t]^{-2} = \mathbf{m/s^2}$

posso sommare *solo* numeri con la stessa unità di misura!

Unità di Misura

esempio

$$1 \text{ m} + 1 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} + 1 \text{ km} = \text{NO!!} \rightarrow (1+1000) \text{ m} = 1001 \text{ m oppure } 0.001 \text{ km} + 1 \text{ km}$$

$$1 \text{ kg} + 7 \text{ kg} = 8 \text{ kg}$$

$$7 \text{ kg} + 1 \text{ g} \text{ NO!!} \rightarrow (7000 + 1) \text{ g} \sim 7000 \text{ g}$$

$$1 \text{ ns} + 1 \text{ s} = ?$$

scomodo usare tanti zeri, introduciamo gli **ordini di grandezza**

- un ordine di grandezza indica la scala approssimativa di una quantità, espressa come **potenza di dieci**
- l'ordine di grandezza di un numero è la potenza di 10 più vicina al suo valore. Serve a descrivere “quanto è grande” una grandezza senza preoccuparsi dei dettagli numerici.

Notazione Scientifica & Ordini di Grandezza



gli ordini di grandezza
forniscono uno strumento
quantitativo rapido per capire
di cosa stiamo parlando

$$10^n = 100000...n - \text{zeri}$$

...e se stiamo
commettendo errori
macroscopici!!

$$10^{15} \text{ (peta)}... 10^{18} \text{ (exa)}...$$

$$10^{12} = 1000000000000000(\textit{tera})$$

$$10^9 = 1000000000(\textit{giga})$$

$$10^6 = 1000000(\textit{mega})$$

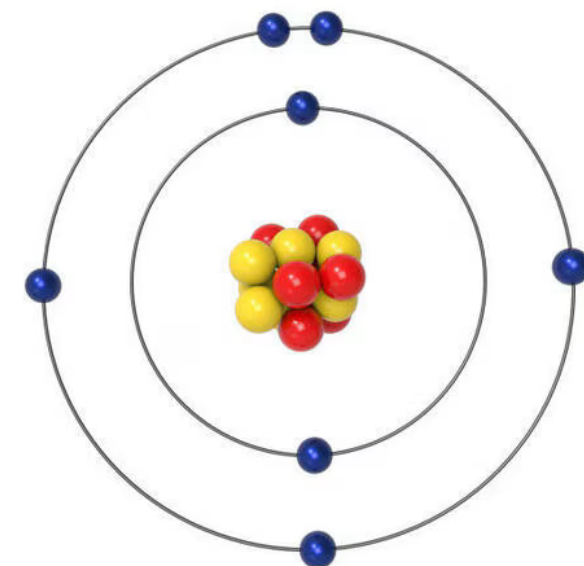
$$10^3 = 1000(\textit{kilo})$$

$$10^{-3} = 0.001(\textit{milli})$$

$$10^{-6} = 0.000001(\textit{micro})$$

$$10^{-9} = 0.000000001(\textit{nano})$$

$$10^{-12} = 0.000000000001(\textit{femto})$$



digressione: fisica I e l'AI

ChatGPT 5.2 ▾

↑ Condividi ...

tra micro e nano quanti ordini di grandezza ci sono

Tra **micro** e **nano** c'è esattamente **un ordine di grandezza**.

Nel SI:

micro (μ) = 10^{-6}

nano (n) = 10^{-9}

NO

un video dal CERN



Notazione Scientifica & Ordini di Grandezza

	Lunghezza (m)
Distanza dalla Terra alla più lontana quasar nota	1.4×10^{26}
Distanza dalla Terra alla più lontana galassia normale nota	9×10^{25}
Distanza dalla Terra alla più vicina grande galassia (M 31, Andromeda)	2×10^{22}
Distanza dal Sole alla stella più vicina (Proxima Centauri)	4×10^{16}
Un anno-luce	9.46×10^{15}
Raggio orbitale medio della Terra	1.50×10^{11}
Distanza media Terra-Luna	3.84×10^8
Distanza dall'equatore al polo nord	1.00×10^7
Raggio medio della Terra	6.37×10^6
Tipica altezza di un satellite terrestre orbitante	2×10^5
Lunghezza di un campo di calcio	9.1×10^1
Lunghezza di questo manuale	2.8×10^{-1}
Lunghezza di una mosca domestica	$\sim 10^{-3}$
Dimensione della più piccola particella di polvere	$\sim 10^{-4}$
Dimensione delle cellule della maggior parte degli organismi viventi	$\sim 10^{-5}$
Diametro di un atomo di idrogeno	$\sim 10^{-10}$
Diametro di un nucleo di uranio	$\sim 10^{-14}$
Diametro di un protone	$\sim 10^{-15}$

Notazione Scientifica & Ordini di Grandezza

	Intervallo di tempo (s)
Età dell'Universo	4×10^{17}
Età della Terra	1.3×10^{17}
Tempo dalla caduta dell'Impero Romano	5×10^{12}
Età media di uno studente universitario	6.3×10^8
Un anno	3.2×10^7
Un giorno (tempo per una rivoluzione della Terra attorno al suo asse)	8.6×10^4
Tempo di una lezione in classe	3.0×10^3
Tempo fra normali battiti cardiaci consecutivi	8×10^{-1}
Periodo di un'onda sonora nell'udibile	$\sim 10^{-3}$
Periodo di una tipica onda radio	$\sim 10^{-6}$
Periodo di vibrazione di un atomo in un solido	$\sim 10^{-13}$
Periodo di un'onda luminosa nel visibile	$\sim 10^{-15}$
Durata di una collisione nucleare	$\sim 10^{-22}$
Tempo richiesto dalla luce per attraversare un protone	$\sim 10^{-24}$

Notazione Scientifica & Ordini di Grandezza

	Massa (kg)
Universo visibile	$\sim 10^{52}$
Via Lattea (galassia)	$\sim 10^{42}$
Sole	1.99×10^{30}
Terra	5.98×10^{24}
Luna	7.36×10^{22}
Squalo	$\sim 10^3$
Uomo	$\sim 10^2$
Rana	$\sim 10^{-1}$
Zanzara	$\sim 10^{-5}$
Batterio	$\sim 10^{-15}$
Atomo di idrogeno	1.67×10^{-27}
Elettrone	9.11×10^{-31}

Analisi Dimensionale

l'analisi dimensionale consiste nel ricavare l'unità di misura di un risultato attraverso la sua espressione matematica

decidiamo se questa formula è corretta sotto il profilo dimensionale

$$v_1^2 = 2a(x - x_0) + v_1^2$$

sapendo che v = velocità = spazio / tempo, a = accelerazione = v / tempo

l'analisi dimensionale è un *trucco* per capire se siamo nella direzione giusta!

2 è adimensionale, $(x - x_0)$ ha dimensioni di lunghezza (x)

$$2a(x - x_0) + v_1^2$$

$$[2][a] \cdot [x] + [v]^2 =$$

$$= [x/t^2] \cdot [x] + [x/t]^2 = [x/t]^2 + [x/t]^2 = [x/t]^2$$

v_1^2 ha le dimensioni
corrette di
(lunghezza su
tempo) al quadrato

Analisi Dimensionale

$$X = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

posso dire chi è X solo usando l'analisi dimensionale?

Analisi Dimensionale

$$X = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

posso dire chi è X solo usando l'analisi dimensionale?

$$\begin{aligned}[X] &= [2][\pi]\left[\sqrt{\frac{l}{g}}\right] = \sqrt{\frac{[l]}{[g]}} = \frac{[l]^{1/2}}{[g]^{1/2}} = [l]^{1/2}[g]^{-1/2} = m^{1/2}(ms^{-2})^{-1/2} = \\ &= m^{1/2-1/2}s^{-2\cdot(-1/2)} = m^0s^{+1} = s \quad \text{periodo del pendolo = secondi}\end{aligned}$$

Cifre Significative

- Il risultato corretto di una operazione matematica, in fisica, va scritto con il corretto numero di **cifre significative**
- **cifre significative** = sono le cifre che esprimono informazioni significative in un numero e che influenzano la precisione di una misura o di un calcolo. Sono fondamentali in fisica e ingegneria per garantire che i risultati dei calcoli riflettano la precisione delle misurazioni iniziali.

misura	<u>C.S.</u>	misura	<u>C.S.</u>
1.22 kg	3	0.02 m	1
27100 cm^{-2}	3 o 5?	0.047 s	2
19.02 g	4		3

tutte le cifre sono
significative
tranne gli zeri
precedenti al
numero.

$$27100 \text{ cm}^{-2} = 2.71 \cdot 10^4 \quad 3$$

$$\pi = ? \quad e = ?$$

Cifre Significative

operazioni tra numeri

- somme: per non indurre precisione aggiuntiva maggiore di quella misurata, il risultato deve avere i decimali della misura **con meno decimali** tra quelle coinvolte nelle operazioni
- prodotti: il risultato deve avere lo **stesso numero** di cifre significative della misura con meno cifre significative.
- potenze: quando si eleva un numero a una potenza, il numero di cifre significative **si mantiene**.

Cifre Significative

esempi

C.S.

+	$6,87 \text{ kg} + 0,218 \text{ kg} + 3,54 \text{ kg} = 10,628 \text{ kg} = 10,63 \text{ kg}$ $1,027 \text{ m} + 0,55 \text{ m} = 1,577 \text{ m} = 1,58 \text{ m}$
-	$3,02 \text{ m} - 1,13 \text{ m} = 1,89 \text{ m}$ $207,2 \text{ cm}^3 - 3,16 \text{ cm}^3 = 204,04 \text{ cm}^3 = 204,0 \text{ cm}^3$
×	$75,2 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 737,712 \text{ N} = 738 \text{ N}$ $6,41 \text{ m} \times 4,531 \text{ m} = 29,04371 \text{ m}^2 = 29,0 \text{ m}^2$
:	$\frac{7,5 \text{ m}}{0,31 \text{ s}} = 24,1935 \dots \text{ m/s} = 24 \text{ m/s}$ $\frac{7520 \text{ g}}{20,5 \text{ cm}^3} = 366,8292 \dots \text{ g/cm}^3 = 367 \text{ g/cm}^3$

Cifre Significative

esempi

C.S.

+	$6,87 \text{ kg} + 0,218 \text{ kg} + 3,54 \text{ kg} = 10,628 \text{ kg} = 10,63 \text{ kg}$	4
	$1,027 \text{ m} + 0,55 \text{ m} = 1,577 \text{ m} = 1,58 \text{ m}$	3
-	$3,02 \text{ m} - 1,13 \text{ m} = 1,89 \text{ m}$	3
	$207,2 \text{ cm}^3 - 3,16 \text{ cm}^3 = 204,04 \text{ cm}^3 = 204,0 \text{ cm}^3$	4
×	$75,2 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 737,712 \text{ N} = 738 \text{ N}$	3
	$6,41 \text{ m} \times 4,531 \text{ m} = 29,04371 \text{ m}^2 = 29,0 \text{ m}^2$	3
:	$\frac{7,5 \text{ m}}{0,31 \text{ s}} = 24,1935 \dots \text{ m/s} = 24 \text{ m/s}$	2
	$\frac{7520 \text{ g}}{20,5 \text{ cm}^3} = 366,8292 \dots \text{ g/cm}^3 = 367 \text{ g/cm}^3$	3

Recap: come si presenta un risultato

quando fai un esercizio, queste sono le regole da seguire:

- 1) opera solo su grandezze omogenee (stessa unità di misura)
- 2) utilizza la notazione scientifica per gli zeri
- 3) svolgi i calcoli tenendo sempre 2 cifre significative in più

il risultato finale **deve** esser presentato con

- unità di misura corretta
- notazione scientifica
- corrette cifre significative

sbagliare una singola di queste tre cose è considerato errore!

Tutti i modi di sbagliare un risultato

calcolare l'energia potenziale $E = mgh$ di un micro sensore di massa $m=0.1$ kg posto nella parte superiore della stratosfera ad altezza $h=49123$ metri ($g=9.81\text{m/s}^2$).

quale risultato è quello corretto?

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123) = 4.8189663 \times 10^4 J$$

$$E = mgh = (0.1\text{kg} \cdot 9.81 \cdot 49123\text{m}) = 4.8189663 \times 10^4 J$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123) = 4.8189663 \times 10^4$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123)\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 4.8189663 \times 10^4 J$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123)\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 5 \times 10^4 J$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123)\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 50000 J$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123)\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 50\text{kJ}$$

Tutti i modi di sbagliare un risultato

calcolare l'energia potenziale $E = mgh$ di un micro sensore di massa $m=0.1$ kg posto nella parte superiore della stratosfera ad altezza $h=49123$ metri ($g=9.81\text{m/s}^2$).

quale risultato è quello corretto?

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123) = 4.8189663 \times 10^4 J$$

$$E = mgh = (0.1\text{kg} \cdot 9.81 \cdot 49123\text{m}) = 4.8189663 \times 10^4 J$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123) = 4.8189663 \times 10^4$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123)\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 4.8189663 \times 10^4 J$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123)\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 5 \times 10^4 J$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123)\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 50000 J$$

$$E = mgh = (0.1 \cdot 9.81 \cdot 49123)\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = 50\text{kJ}$$