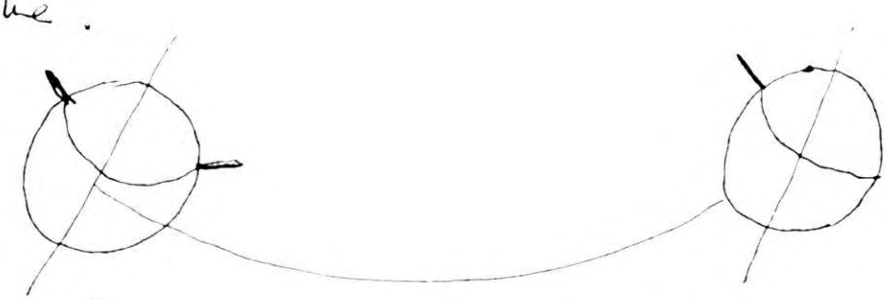
1'

* Altre invarianze non sono ovvie

* Invarianza di scala
    Ponte di Stecchini
    Ossa di Cane - Galileo
    Goccia d'acqua

Misura Spazio Isotropo e Omogeneo

Come?



Pendolo che misura $\nu_{fondo} \sim 3K$

$\nu = 160,2\ GHz \rightarrow 2,726\ K$

Traslazione nel Tempo

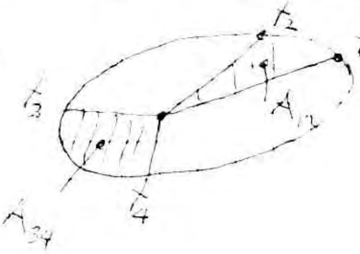
→ Viaggiare nel tempo per 30''

Keplero [1571 - 1630]

- Moto ellittico Pianeti; il problema
della precisione delle misure
Tycho Brahe [1546 - 1601] [credeva nel sistema
eliocentrico!!!]

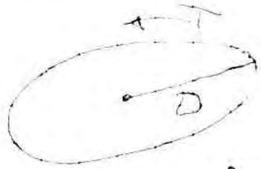
- Velocità Areolare costante

$$\frac{dA}{dt}$$



se $(t_2 - t_1) = (t_4 - t_2) \Rightarrow A_{12} = A_{34}$

- $\frac{T^2}{D^3}$ = costante



↳ ? Costante variando che cosa? Il pianeta, non il tempo.

Scoprire una legge //

$F = ma$ misuro m (per confronto con una bilancia)
misuro a (rispetto ad un rif. inerziale)
$\Rightarrow$ ho dei numeri per F

Posso provare ad inferire la forma algebrica di F; la dipendenza da altre grandezze.

All'inverso

Ipotizzo $\vec{F} \Rightarrow$ calcolo $\vec{a}$

Ex $F_G = G \frac{m_1 m}{R^2}$ $\quad F_1 = m_1 a_1 \quad \Rightarrow G \frac{m_1 m_2}{R^2} = m_1 a_1$

$\Rightarrow a_1 = \cdots$

$\boxed{\text{costante} = \text{nel tempo}}$

(se non specificato altrimenti)

* <u>Vettori</u>

Grandezze fisiche

- scalari : 1 numero
  T, #,
- vettoriali : 3 numeri
  1 numero + "direzione"

Uscita dalla Facoltà
per P. Bologna.
L'importanza non è la velocità [a piedi], ma
la direzione. Uscendo a sinistra, a destra.

* Interazioni:

			R
Forte	10^{38}	R^0	$1{,}4 \cdot 10^{-15}$ m
e.m.	10^{36}	$1/R^2$	∞
Debole	10^{25}	e^{-MR}/R	10^{-18} m
Gravità	10^{0}	$1/R^2$	∞

R aumenta $\Rightarrow$ F diminuisce

La Stella più vicina è Proxima Centauri
$\sim 40 \cdot 10^{12}$ km $\simeq 4.2$ a.l.

I principio [Cosa succede se non ho Forze = oggetto libero, non disturbato]

$F_e = 0 \Rightarrow a = 0$

- v = costante
- $v = 0$ [è solo un caso particolare] [errore di Aristotele] Galileo → Gedanken exp.

Interazione con l'esterno

esterne (molla compressa) NO

totali (Qualunque corpo ha f interne: $p \leftrightarrow e$ // e-e // int. FORTI)

* (Terra: g) Terra + B↑ = 0

v misurata rispetto a chi?

$\boxed{\text{* Riferimento inerziale *}}$ (Le Leggi della dinamica sono valide solo in R.I.)

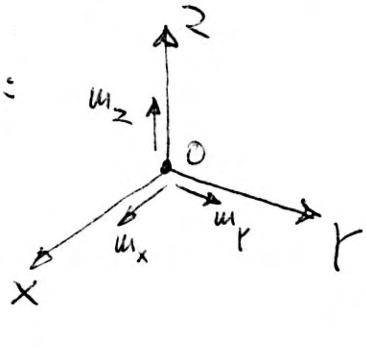
Se sto in un R.I. ⇒ vale I° ($F_e = 0 \Rightarrow a = 0$) (Circolo vizioso?)

- No se si tiene conto che le F diminuiscono con la distanza. *

Se non ho corpi intorno ⇒ non ho F_e

[Stella - Stella ~ 10^{16} m = 0.3 10^8 a.l.]

Operativamente:



m_x, m_y, m_z lanciate con $v_x, v_y, v_x \neq 0$ mantengono la loro velocità (lanciate una per volta)

- [Cambio programma] Vettore [mod; dir; verso] $\equiv \{v_x, v_y, v_z\}$

- Definizione non ovvia → 1a

Spazio Omogeneo e Isotropo

Si spazio // No cristalli

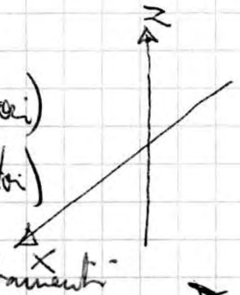
90° $\pi/2$

Operazioni $A+B = B+A$

Scalari: SI/NO Spostamenti: SI (Vettori)

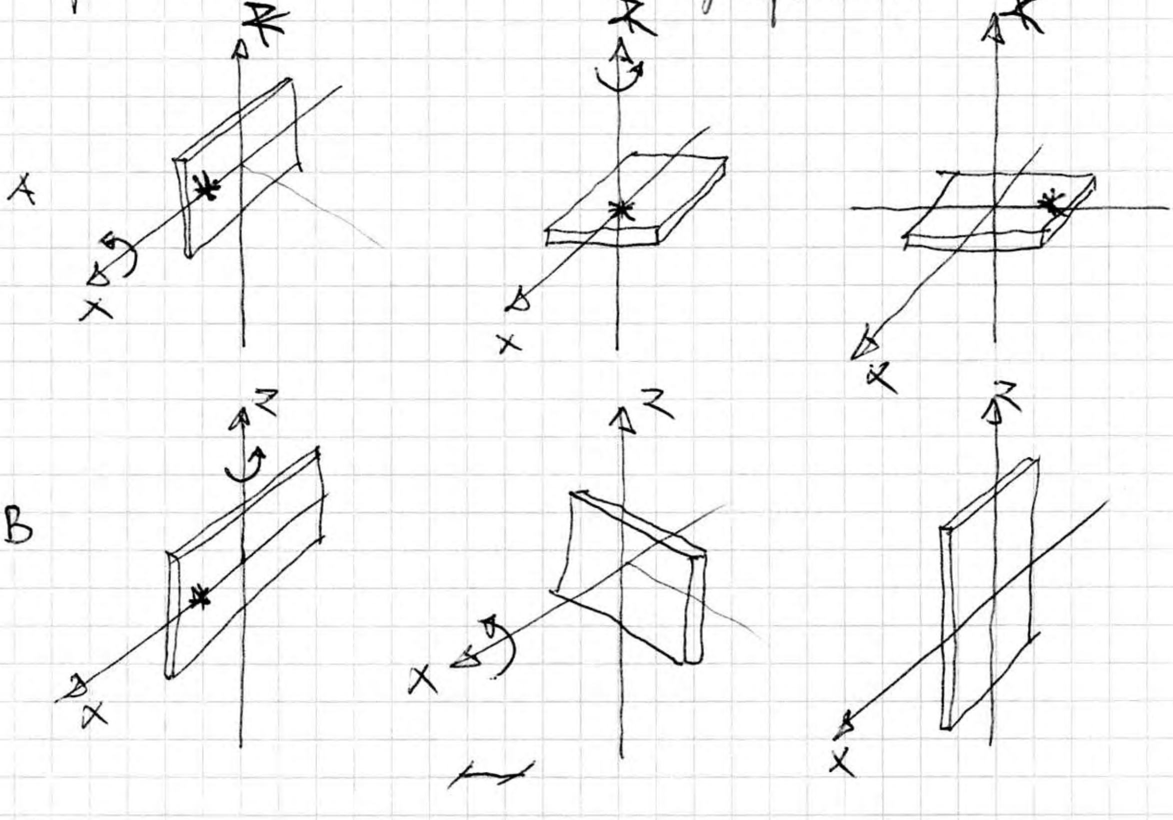
\$; M SI Rotazioni: NO (non Vettori)

Temperature NO Non sono come gli spostamenti



A) x ; z

B) z ; x



Sistema inerziale: definizione operativa (Bridgman P. W.)
Am. J. Phys. 29, 32 (1961)

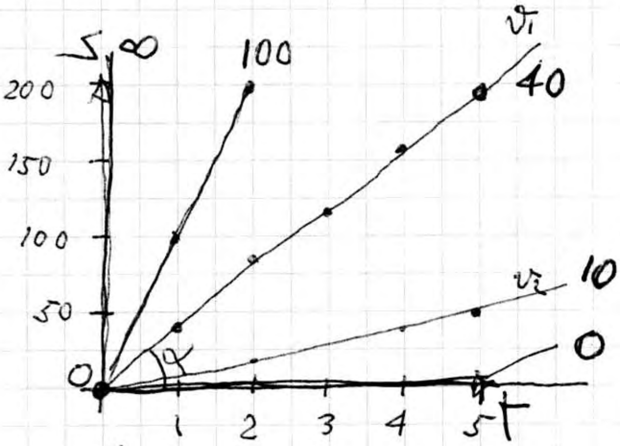
Interazioni // Fin dove? l'interazione // Raccontiamo la fine

[Ordini di Grandezza: cosa sono e a cosa servono]

Modello Standard < massa / mediatori di forza (Scambio)

→ Schema / leptoni /

Velocità



$v_1 = 40$ Km/ora

$v_2 = 10$ Km/ora

$v_3 = 0$

$v_4 = 100$ Km/ora

$v_5 = \infty$

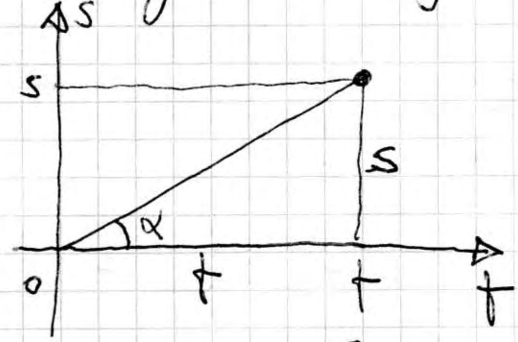
Cosa prendere come indicatore della velocità? L'angolo? α?

Come proporzionalità va bene, ma ho problemi per $\alpha = 90° \Rightarrow v = \infty$

$\Rightarrow$ prendo la $tg\,\alpha$

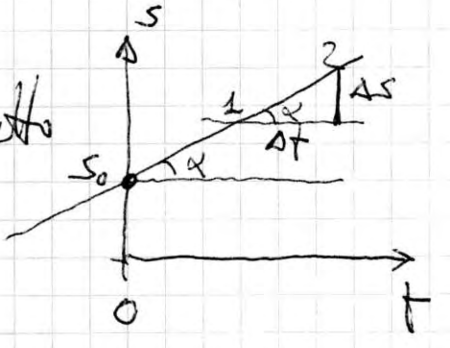
$$\left.\begin{array}{lll} v = 0 & \alpha = 0 & tg\,\alpha = 0 \\ v = \infty & \alpha = 90° & tg\,\alpha = \infty \end{array}\right\} \text{o.k.}$$

per α qualunque?



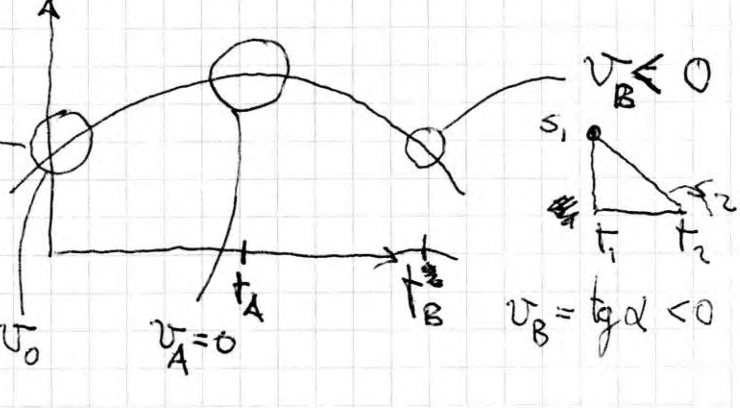
ho: $s = t \cdot tg\,\alpha$

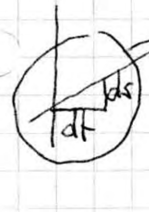
$v = tg\,\alpha = \dfrac{s}{t}$ vale ∀ pezzetto



$tg\,\alpha = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$

e se ho una curva?

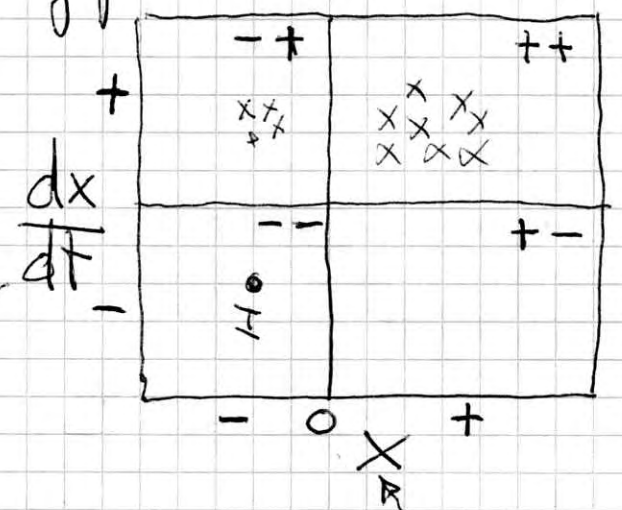




$\dfrac{ds}{dt} = \left[\dfrac{\Delta s}{\Delta t}\right]_{\Delta t \text{ piccolo} \sim 0}$

4'

Grafico Comunità Europea → in rete



Esempio:
Conto in banca

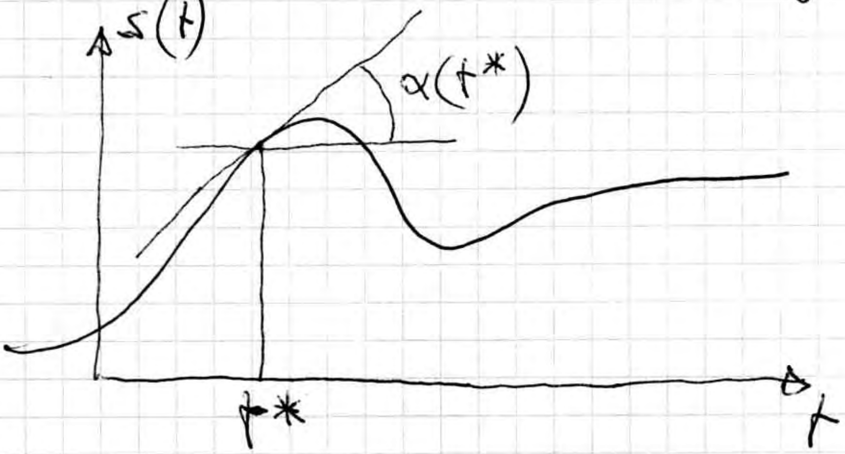
come sta cambiando

come sono messo

$\frac{ds}{dt}$ = derivata di s rispetto a t = tg α

Caso complicato

cosa succede in t^*?



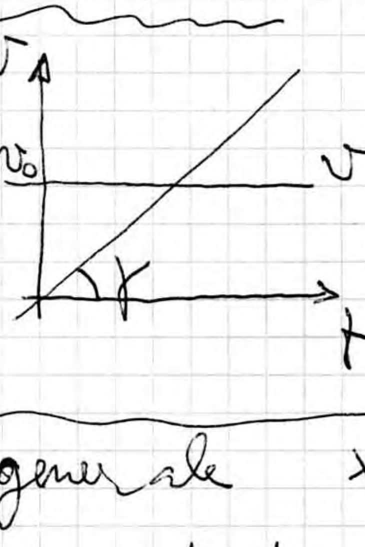
disegno la tangente "geometrica" in t^*

calcolo $\alpha(t^*)$

$$v^* = tg\,\alpha(t^*) = \left[\frac{ds}{dt}\right]_{t^*}$$

Ci dice come sta cambiando la grandezza s. È la cosa importante. Ci dice come/dove andremo a finire, [indipendentemente da dove siamo].

Accelerazione : come sopra, guardo la velocità



v = costante

$\gamma = 0$

$a = 0$

$$a = tg\,\gamma = \frac{dv}{dt}$$

si intende nel tempo

→ 5

In generale $x(t) \Rightarrow \frac{dx}{dt} = \frac{dx(t)}{dt} = \frac{d}{dt}x(t)$

x = costante $\frac{dx}{dt} = 0$

x aumenta $\frac{dx}{dt} > 0$

x diminuisce $\frac{dx}{dt} < 0$

Regole per il calcolo:

$x(t)$	dx/dt
costante	0
t^n	$n\,t^{n-1}$
$c\,z(t)$	$c\,\frac{dz}{dt}$
$z(t)\cdot r(t)$	$z\,\frac{dr}{dt} + r\,\frac{dz}{dt}$
$\operatorname{sen} x$	$\cos x$
$\cos x$	$-\operatorname{sen} x$
e^{ax}	$a\,e^{ax}$

II Principio [Cosa succede se $F_e \neq 0$]

$$F_e = ma$$ (La scriveremo meglio, così non va sempre bene)

1: Ogni corpo ha una certa massa "m"
è l'inerzia, la difficoltà a spostarlo,
non il peso (nello spazio è 0)
è la quantità di materia. m = costante

→ l'accelerazione è proporzionale alla F_e
(e viceversa)

$$\boxed{a = \frac{F_e}{m}}$$

2: La relazione è vettoriale: $\bar{F} = m\bar{a}$
direzione di F = direzione di a

$$\hat{F} = \hat{a}$$

(Non è ovvio $\bar{B}$ su $q \rightarrow \hat{a} \perp \hat{B}$)

3: v cambia se $F \neq 0$ $\quad F_e$ = costante $= F_0$

$$F_0 = ma \qquad a = \frac{F_0}{m} \qquad \frac{dv}{dt} = \frac{F_0}{m}$$

Quindi v cambia,

ma v è un vettore $\bar{v} = v\,\hat{v}$

$$\bar{v} = \underset{\text{modulo}}{v}\;\underset{\text{direzione}}{\hat{v}}$$

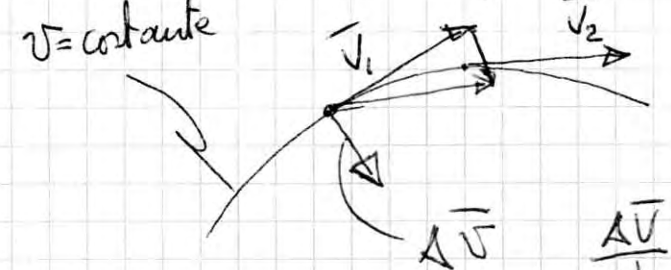
può cambiare $v \Rightarrow$ accelerazione (numero) "convenzionale"

può cambiare $\hat{v}$

ma $\hat{v} = \hat{s}$, quindi cambiare $\hat{v}$
vuol dire cambiare la direzione
(Curvare)

$\Delta \bar{V} = \bar{V}_2 - \bar{V}_1$

$\rightarrow$ è $\perp \bar{v}$



$$\frac{\Delta \bar{V}}{\Delta t} = a$$

Per far ruotare un sasso intorno a noi dobbiamo tenerlo con una corda e tirare (esercitare una forza costante)

Anche per la Luna, La Terra

<u>Invarianza Galileiana</u>

Le Leggi della fisica sono identiche in tutti (i riferimenti inerziali) i sistemi che si muovono di moto rettilineo uniforme uno rispetto all'altro ⇒ hanno la stessa <u>forma</u> (esempio $F = ma$ aereo che accelera, nell'aereo $a = 0$, ma $F \neq 0$)

Leggi di Conservazione (Principi)

Simmetria / Invarianza		Conservazione
temporale	t	Energia
spaziale c.d.m.	x, y, z	p_x, p_y, p_z Q. di moto
rotazionale	α, β, γ	Momento Angolare
Carica	Q	Q Carica
		ϕ Flusso Magnetico
		Carica di Colore
		n_B Barionico
		n_L Leptonico
		Spin

densità di $\mathcal{L}$ Dirac

// chiralità

La seconda legge scritta bene

$$F_e = ma = m\frac{dv}{dt} \underset{m=\text{costante}}{=} \frac{d}{dt}mv$$

$mv = p$ Quantità di moto

$$F_e = \frac{dp}{dt}$$

- Una forza fa variare la qdm
- Se la qdm cambia $\Rightarrow F_e \neq 0$

1. P è più significativa $= \underline{\underline{m}} \cdot \underline{\underline{v}}$
2. e se m varia? (Razzo // auto formula 1)

$$F_e = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt}(mv) = m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt}$$
$$= ma + v\frac{dm}{dt}$$

3. Vale anche per corpi di massa nulla

$$p = \frac{E}{c}\beta$$

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = M_0\gamma$$

se $m = 0$; $v = c$

$$E = M_0 c^2 \gamma = Mc^2$$

$$\beta = \frac{v}{c} = 1 \qquad p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$$

$$p = M_0 c \beta\gamma = \frac{M_0 c^2 \beta\gamma}{c} = \frac{E\beta}{c}$$

1 fotone del cellulare:

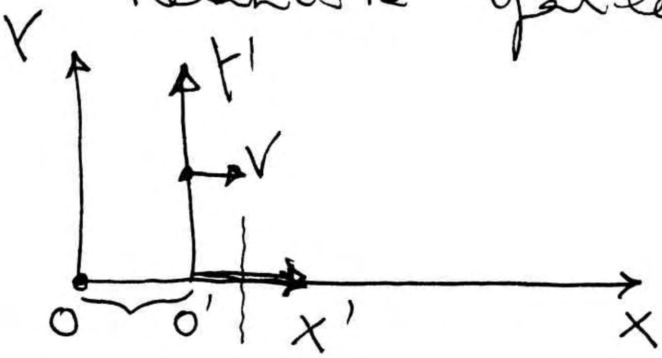
$$E = \frac{6.6 \cdot 10^{-34} \cdot 10^9 \, 2}{3 \cdot 10^8} = 4 \cdot 10^{-33} \text{ kg m/s}$$

1000 Miliardi $E_m = 4 \cdot 10^{-21}$ kg m/s

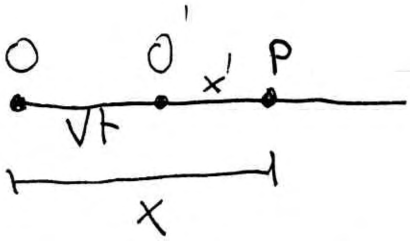
1 pallina da ping pong che cade da 1 metro

$$p = mv = m\sqrt{2gh} = 0{,}01\sqrt{2\,10\,1} \sim 0{,}045 \text{ kg m/s}$$

Relatività Galileiana



$t = t'$ $\qquad OO' = Vt$



$$x = x' + Vt$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt} + V$$

$$v = v' + V$$

Dopo i Principi della Meccanica
- Relatività Galileiana
- Invarianza Galileiana (→ 7)

Le leggi (della fisica) (delle natura) sono identiche in tutti i (hanno la stessa forma) sistemi di riferimento che si muovono di moto rettilineo uniforme uno rispetto all'altro [inerziali]

- Per "forma" si intende forma algebrica

Ex $\overline{F}_I = m\overline{a}_I$ [grandezze misurate rispetto ad un certo SdRif]

Forze "Reali"

- Se sto fermo ($\overline{a}=0$) ⇒ $\overline{F}=0$ (Sulla Terra)
e la proporzionalità è sempre $m = \frac{F}{a}$

- Se di un treno che accelera io sto fermo, ma "sento" (posso misurare) una forza che mi spinge indietro.
- Anche un pendolo lungo la verticale. → forza fittizia

$F_I = m(a_I + a_0)$ $\overline{F}_I + \overline{F}_f = m\overline{a}_I$

Utilizzo leggi // Principi di fisica // Dati
Inferire leggi fenomenologiche - Verificare Ipotesi (Falsificare)

(Legge di Gravitazione Universale)

Moto Corpi (Celesti) ⟷ Keplero
⟷ $F = ?$ $\quad F_{12} = G\frac{m_1 m_2}{R^2}$

- La Legge Fenomenologica è particolare
- Dare la Forza è generale; permette previsioni

Conoscendo a posso calcolare x

Diretto: misuro $(x, t)_m$

calcolo $v = \frac{dx}{dt} \rightsquigarrow (v, t)_m$

calcolo $a = \frac{dv}{dt} \rightsquigarrow (a, t)_m \to$ inferisco calcolo F

Inverso: ~~[misuro]~~ prevedo $(a, t)_c$

calcolo $v = I(a, t) \rightsquigarrow (v, t)_c$

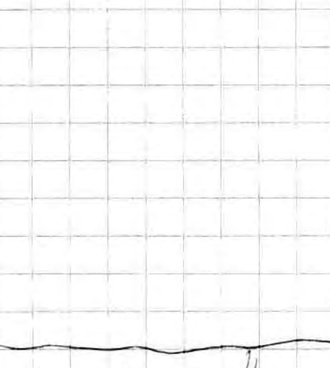
calcolo $x = I(v, t) \rightsquigarrow (x, t)_c$

vedo se $(x, t)_m$ misurati $= (x, t)_c$

Newton // $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$

1) La Luna perché non cade?

(Nota sull'accelerazione centripeta)



$a_c = \frac{v^2}{R}$ $\quad v = \omega R = \frac{2\pi R}{T}$

Per "tenere" m in orbita intorno a O devo esercitare una Forza

$F = m a_c$

La Luna CADE!

messaggi (caratteri) equiprobabili ; $p = \frac{1}{n}$

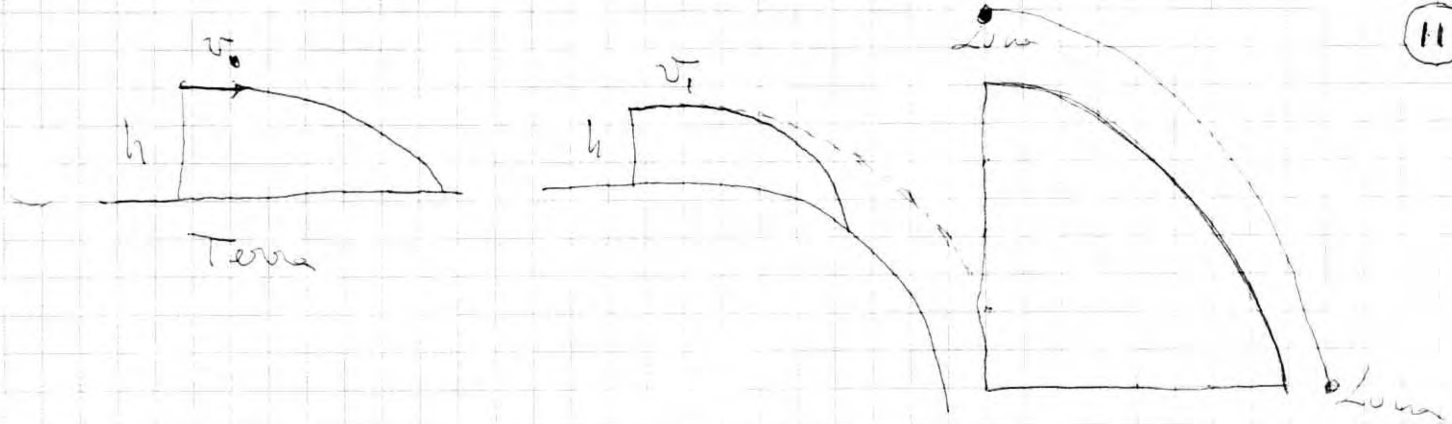
$$\Rightarrow \quad I = -\lg p$$

La Trasmissione e decodifica implica del rumore ineliminabile.

Se si ha una velocità minore si può trasmettere praticamente con certezza.

Linguaggio naturale ~~ridondante~~ Ridondante

(Statistica della Lingua, lo straniero ha poca statistica ... molti errori)



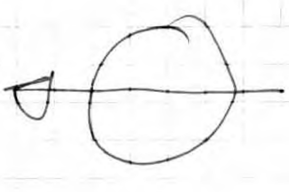
Newton:

Se $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$ $\Rightarrow$ $\frac{G m_1 m_2}{R^2} = m_1 a$

$\Rightarrow a = \frac{G m_2}{R^2}$

Utilizzo legge

Urano Non torna → 1821



1843/46 → Pianeta?

23.9.46

dopo mezz'ora di osservazione Nettuno

Mercurio idem: NON TORNA

Cambia la Geometria

Ma c'è de

⇒ Non c'è qualcosa (Il Sole)

Principio di Equivalenza

$$\bar{F} = \frac{d\bar{p}}{dt} \qquad \bar{p} = m\bar{v} \qquad m = \text{costante}$$

$$\Rightarrow \quad \bar{F} = m\frac{d\bar{v}}{dt} = m\bar{a}$$

$$\bar{F} = m_I \, \bar{a} \qquad \text{massa inerziale}$$

$$F_G = G\,\frac{m_G m_2}{R^2} \qquad \text{masse gravitazionali}$$

$$m_I = m_G$$

misura

$$m_I = \frac{\bar{F}}{\bar{a}} \qquad\qquad m_G = \frac{F_G R^2}{G\, m_T} \qquad m_{Terra}$$

(Molla) (Caduta grave, Pendolo)

Sperimentale: [Galileo], Newton, Eotvos 1890

Eotvos : $1/10^8$

Dicke : $1/10^{10}$

Fotoni? $p = \frac{E\beta}{c} = \frac{E}{c}$ $\qquad m = \frac{p}{v} = \frac{p}{c} = \frac{E}{c^2}$

$m_I = \frac{h\nu}{c^2}$ $\quad m_G$? Sì! torna $\quad E(h)$, $E(0)$, mgh

Nota:
Accelerazione = Gravità

<u>Grandezze fondamentali</u>

x Posizione
m Massa
t Tempo

<u>G. derivate</u>

$v = \frac{dx}{dt}$ $a = \frac{dv}{dt}$

$p = mv$

def: $\mathcal{L}_M \stackrel{d}{=} F \cdot s$ *

Energia: (1810) capacità di compiere <u>lavoro</u> (<u>mecc.</u>)
di un sistema (Macchina Termica)
↳ Locomotiva + o - efficiente

Aristotele: azione efficace
Rinascimento: forza espressiva
Keplero: energia Fisica
1842: $Q = \mathcal{L}$

: è un numero, caratteristico di un sistema.

* Meglio: è la somma di tanti numeri per un dato sistema

Si possono scrivere molti termini diversi per l'energia:

$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2} m v^2$ $\mathcal{E}_G = mgh$ $\mathcal{E}_E = \frac{1}{2} C V^2$ $\mathcal{E}_I = \frac{1}{2} L I^2$ . . . . $\mathcal{E} = mc^2$

<u>Velocità</u>   posizione in G   cariche e.   correnti

Nota: scritta così l'energia è relativa al sistema di riferimento: $v, (q, I)$
<u>Non è un invariante</u>

* La massa sì
* Il tempo sì
* Lo Spazio sì

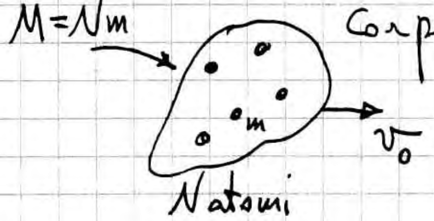
} fino ad Einstein

Temperatura:

Principio 0: $T(A)=T(B)$; $T(B)=T(C)$ $\Rightarrow T(A)=T(C)$

corpi in equilibrio termico — è la T che misura l'e.t. → è la grandezza misurata da... un termometro

Definizione in termini di Energia



Corpo solido che si muove

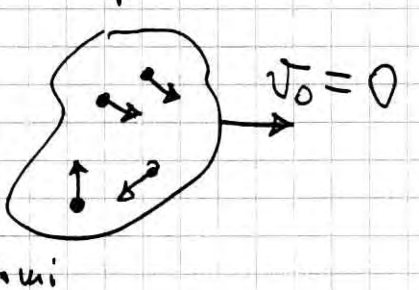
tutti gli atomi hanno velocità $v_i = v_0$

$$\langle v \rangle = \frac{\sum v_i}{N} = v_0 \frac{\sum 1}{N} = v_0$$

$$\langle E_c \rangle_1 = \frac{\sum \frac{1}{2} m v_i^2}{N} = \frac{1}{2} m v_0^2$$

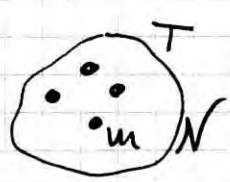
$$E_c^{TOT} = N \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} M v_0^2$$

Corpo solido che non si muove



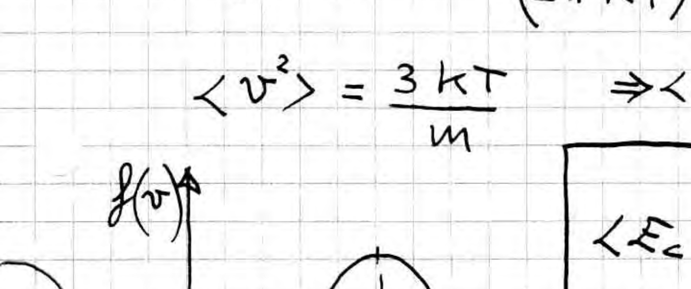
tutti gli atomi si muovono con velocità diverse (direzione e modulo)

Distribuzione velocità (Maxwell - Boltzmann)



$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \qquad [\langle v \rangle = 0]$$

$$\langle v^2 \rangle = \frac{3kT}{m} \Rightarrow \langle E_c \rangle_1 = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k_B T$$



$$\boxed{\langle E_c \rangle_N = N \frac{3}{2} kT = U \text{ (En. Interna)}}$$

(Ipotesi di processi Markoviani; assenza di memoria: sistema indipendente da come ci è arrivato)

Quindi la T è una misura dell'energia cinetica media del sistema, non legata all'energia del c.m.

TO''

Abbiamo due tipi di Energia legati al <u>moto</u> delle molecole (atomi...)

Moto ordinato $\langle v \rangle \neq 0$ E (meccanica)

Moto disordinato $\langle v \rangle \neq 0$ E (termica)

<u>Asimmetria della Natura</u> = Un corpo freddo non si raffredda "naturalmente"

E_m(meccanica) $\longrightarrow$ E_t(termica)

E(termica) $\not\longrightarrow$ E(meccanica) ma

E(termica) $\longrightarrow$ E(meccanica) + E(termica)

Implica una direzione del tempo "naturale"

$$\boxed{\begin{array}{c} T_2 > T_1 \\ T_2 \to T_1 \\ T_1 \not\to T_2 \end{array}}$$

$$E_M \to E_Q \qquad E_M = E_Q$$

$$E_{Q1} \to E_M + E_{Q2} \qquad \begin{cases} E_{Q1} = E_M + E_{Q2} \\ E_{Q2} \neq 0 \end{cases}$$

È il II principio della Termodinamica

* Probabilità

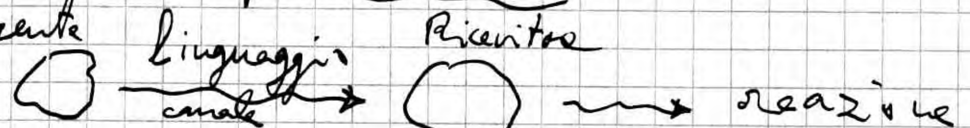
Concetto evoluto (> 7 anni?) forse no.

Vita → Reazione

Reazione ad un segnale

segnale → Informazione

Informazione



Trasmissione

io

elaborazione (decodifica)

archiviazione (ricordo) passato

$\underbrace{\hspace{6cm}}$

Scienza (Teoria) dell' Informazione

Affidabilità

Misura dell'I. : messaggi caratteri diversi
- 0,1 $n=2$
- 0,1,2 $n=3$
- 32 tasti $n=32$

"N" messaggi (caratteri) $W = n^N$ messaggi possibili

$I = \log_2 W$ $\quad n=2$, 1 messaggi $I = \log_2 2^1 = 1$ bit

$n=2$ 2 messaggi $I = \log_2 2^2 = 2$ bit

lettere: $n = 32 = 2^5$ 1 carattere $= \log_2 2^5 = 5$ bit

1 pagina 3500 caratteri = 17500 bit // 100 pagine = 1.75 M bit =

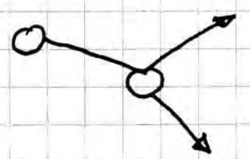
./.

T1

* Termodinamica [Trasformazioni Calore ↔ Lavoro]; entra "T"
  ↳ La fisica dell'Irreversibile
* Meccanica: la fisica del reversibile

le equazioni microscopiche sono invertibili
(se $t \to -t$ hanno la stessa forma)

Rev.



Irreversibile } presuppongono <u>una freccia del tempo</u>
(evoluzione cervello?)

↓

Molti sistemi microscopici

↓

Temperatura ⇝ fluttuazioni della Temperatura
(casuali)

⇝ "Rumore" ⇝ Evoluzione spontanea
* probabilistica (si può calcolare)

↓

TdF 259-285

Informazione $I = -\lg p$

Principi: (In ordine di "scoperta") 0 I II III

Il terzo - II Clausius/Kelvin $Q \not\to L \; // \; Q_2 \to L + Q_1$

Il secondo - I Clausius 1850 Conservazione E

Il quarto - III $T = 0$ K impossibile in un numero finito
$S = k \lg p$ 1900

Il primo - 0 Definizione di T

Campo

Lo "stato" o la "condizione" di una certa parte dello spazio che genera interazioni (forze) su un eventuale corpo posto in quel punto

$$F_{12} = K \frac{q_1 q_2}{R^2}$$

Definisco $\mathcal{E}_{q_1} = \frac{K q_1}{R^2}$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}(x, y, z)$$

Se in $P(x, y, z)$ metto q_2

$\Rightarrow$ q_2 sarà soggetta ad una forza $F = q\mathcal{E}$

$$\mathcal{E} = \frac{F}{q} \qquad \mathcal{E}_q = \frac{F_q}{m}$$