LE LEGGI DEL MOTO E LA DIFESA DELL'ELIOCENTRISMO

LE PRIME LEGGI DI NATURA

Galileo scoprì
LE LEGGI DEL MOTO DEI CORPI,
le prime leggi di natura
VERAMENTE fondamentali ...

... che, oltre alla loro importanza intrinseca, provarono che
IL SISTEMA ELIOCENTRICO POTEVA ESSERE VERO.
Infatti …

ATTENZIONE

L'eliocentrismo
NON ERA UNA NOVITÀ

Come abbiamo visto, già nel III sec. a.C.
era stato proposto da ...

ARISTARCO DI SAMO

310 - 230 a.C.

diesse Le Botteghe dell'Insegnare
diesse Didattica e Innovazione Scolastica Centro per la formazione e l'aggiornamento
www.diesse.org

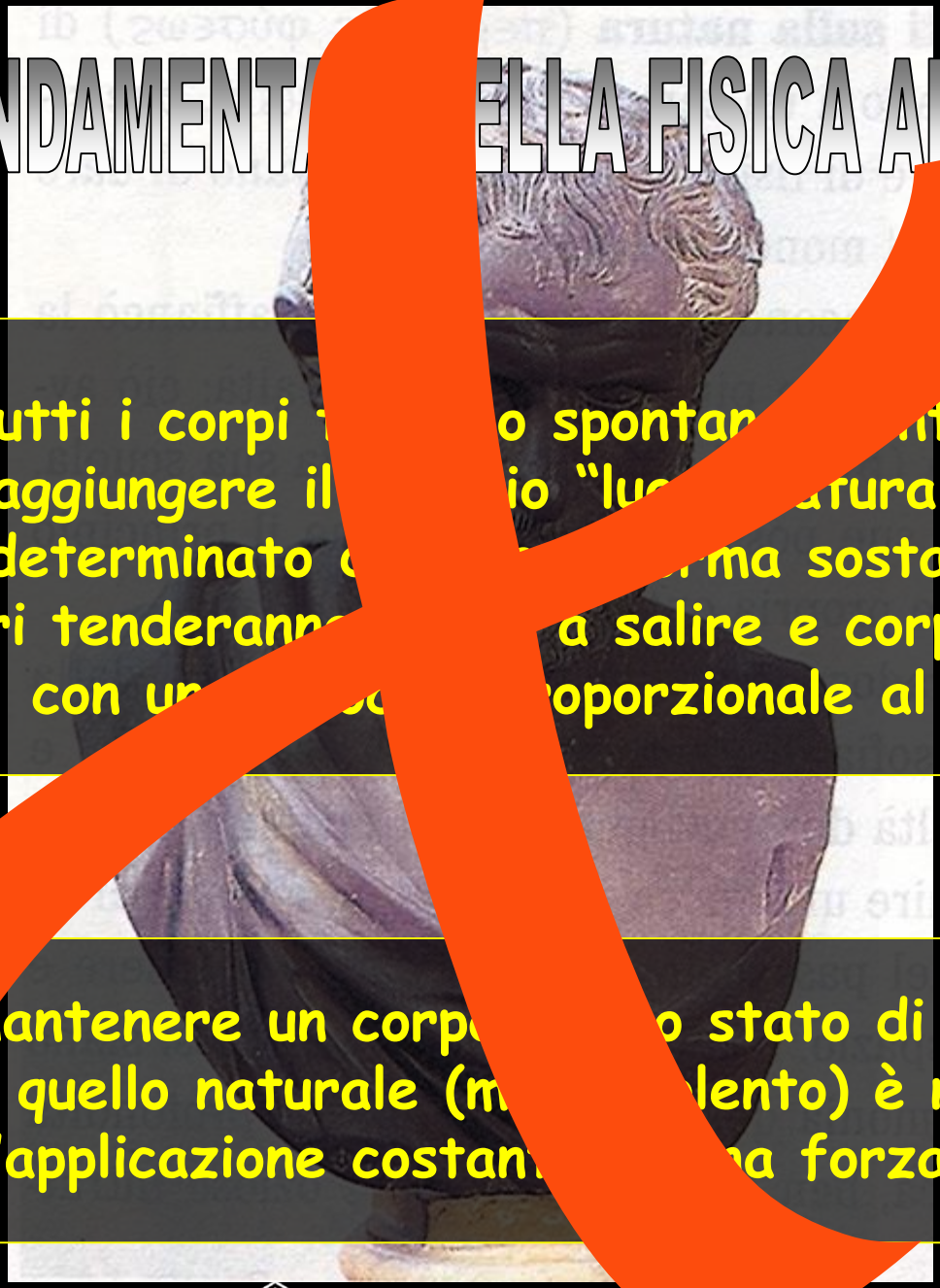
PERÒ C'ERA UN PROBLEMA

LA SFIDA AD ARISTOTELE

Senza Galileo quindi l'eliocentrismo di Copernico
avrebbe sicuramente fatto
la stessa fine di quello di Aristarco …

… sarebbe stato abbandonato e dimenticato.
Infatti per legittimarlo era necessario farla finita con i …

PRINCIPI FONDAMENTALI DELLA FISICA ARISTOTELICA



1

Tutti i corpi tendono spontaneamente
a raggiungere il proprio "luogo naturale",
che è determinato dalla forma sostanziale:
corpi leggeri tenderanno a salire e corpi pesanti a
scendere, con una velocità proporzionale al loro peso

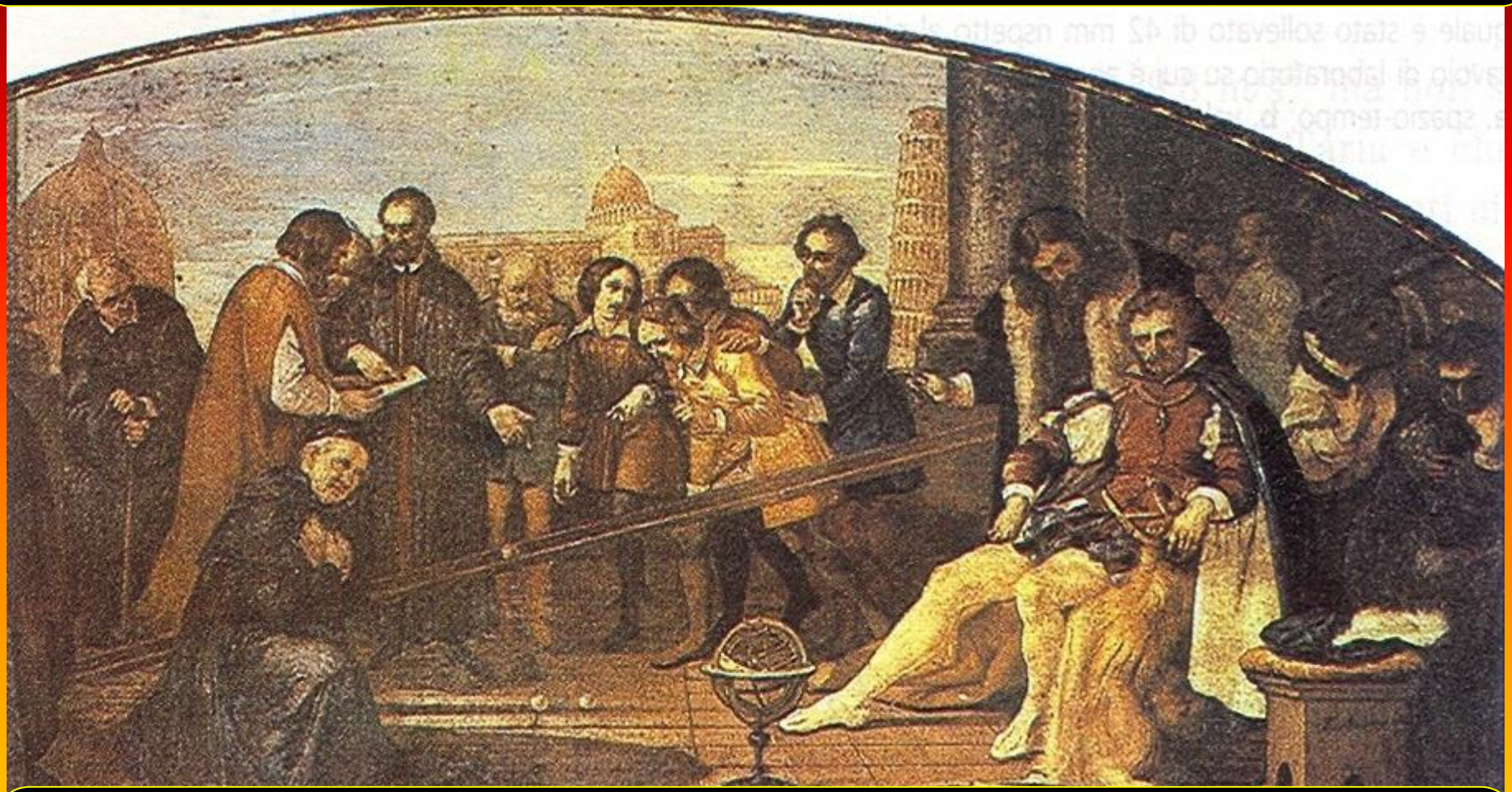
2

Per mantenere un corpo in uno stato di moto
diverso da quello naturale (moto violento) è necessaria
l'applicazione costante di una forza

TORRE O

NON TORRE ?

Secondo molti storici, Galileo non eseguì mai realmente il famoso esperimento dalla cima della Torre di Pisa



Quel che è certo è che eseguì molti esperimenti con il PIANO INCLINATO e soprattutto due straordinari ESPERIMENTI MENTALI

GALILEO 1632

- SALVIATI – Benissimo. Avete voi fatta mai l'esperienza della nave?
SIMPLICIO – Non l'ho fatta; ma ben credo che quelli autori che la producono, l'abbiano diligentemente osservata: oltre che si conosce tanto apertamente la causa della disparità, che non lascia luogo di dubitare. […]
SALVIATI – Io senza esperienza sono sicuro che l'effetto seguirà come vi dico, perché così è necessario che segua; e più v'aggiungo che voi stesso ancora sapete che non può seguire altrimenti, se ben fingete, o simulate di fingere, di non lo sapere. Ma io son tanto buon cozzon di cervelli, che ve lo farò confessare a viva forza.

(*Dialogo sopra i massimi sistemi*, in *Opere*, VII, pp. 170-171)

ATTENZIONE

Dunque, Galileo fu anche l'inventore degli
ESPERIMENTI MENTALI,
detti anche *Gedankenexperiment*, in tedesco ...

... perche i più famosi furono ideati da Einstein,
che li portò a un incredibile livello di finezza e profondità:
tuttavia, il loro primo ideatore fu Galileo

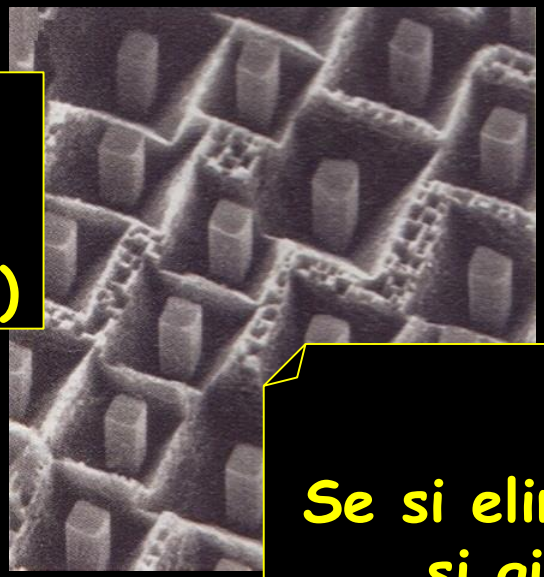
GALILEO 1632

- SALVIATI – Parmi dunque sin qui che voi mi abbiate esplicati gli accidenti d'un mobile sopra due diversi piani; e che nel piano inclinato il mobile grave spontaneamente descende e va continuamente accelerandosi, e che a ritenervelo in quiete bisogna usarvi forza; ma sul piano ascendente ci vuol forza a spingervelo ed anco a fermarvelo, e che 'l moto impressogli va continuamente scemando, sì che finalmente si annichila. […] Ora ditemi quel che accadrebbe del medesimo mobile sopra una superficie che non fusse né acclive né declive.
  […]
  SIMPLICIO – Io non ci so scorgere causa di accelerazione né di ritardamento, non essendoci né declività né acclività.
  SALVIATI – Sì. Ma se non vi fusse causa di ritardamento, molto meno vi dovrebbe esser di quiete: quanto dunque vorreste voi che il mobile durasse a muoversi?
  SIMPLICIO – Tanto quanto durasse la lunghezza di quella superficie né erta né china.
  SALVIATI – <u>Adunque se tale spazio fusse interminato, il moto in esso sarebbe parimente senza termine, cioè perpetuo?</u>
  SIMPLICIO – Parmi che sì […]

  (*Dialogo sopra i massimi sistemi*, in *Opere*, VII, pp. 172-173)

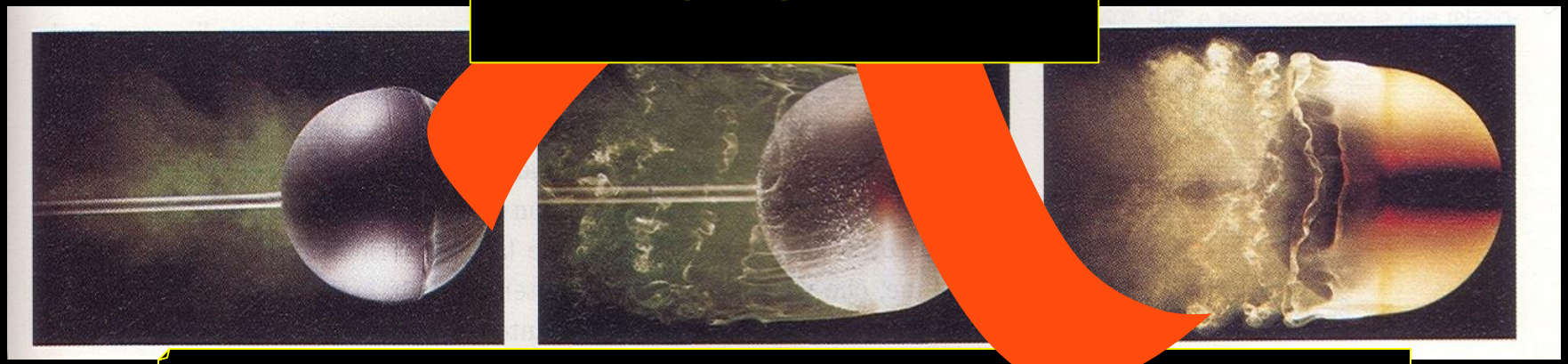
NON CE NE ACCORGIAMO A CAUSA DELL'ATTRITO

Attrito radente (asperità)



Attrito volvente (effetti di affondamento)

Se si elimina l'attrito, si giunge al …



Attrito nei fluidi (resistenza e turbolenza)

PRINCIPIO DI INERZIA

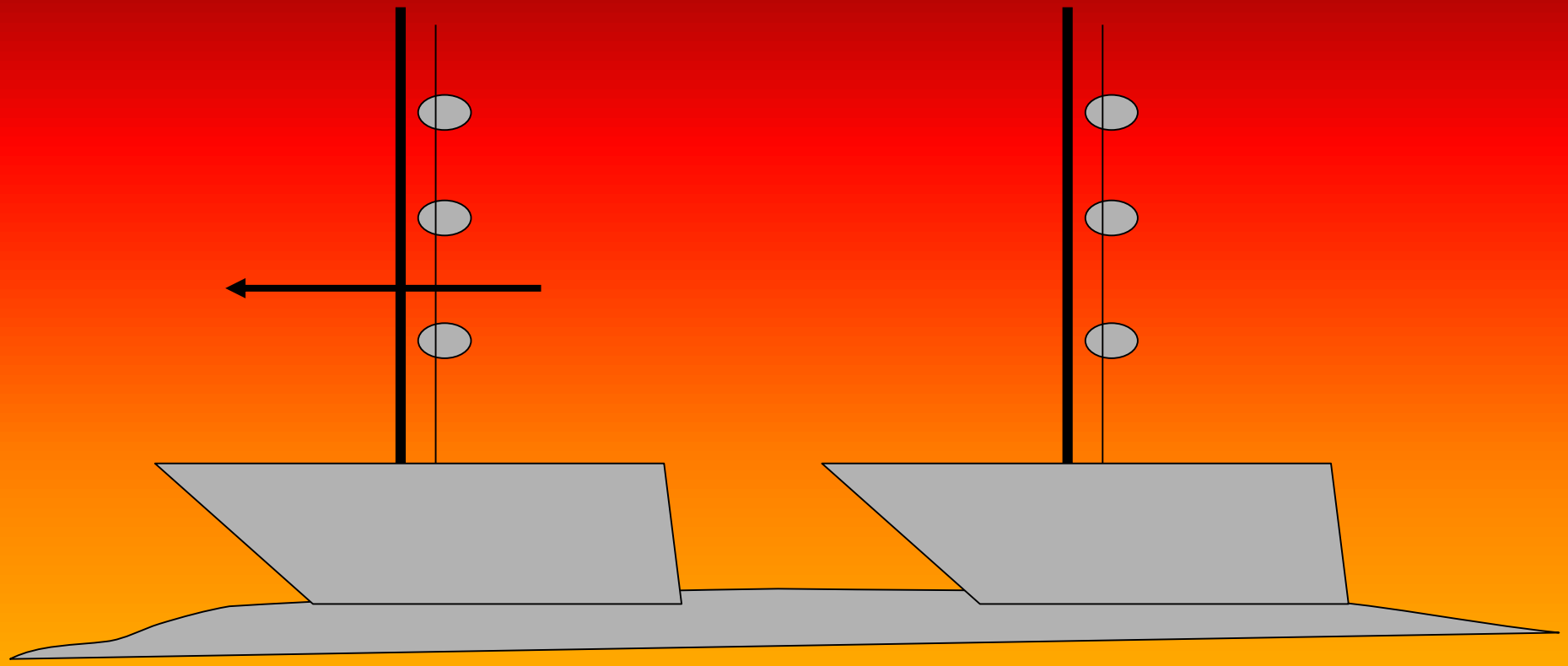
Il fatto (in sé vero) che noi dobbiamo sempre applicare una forza per mantenere un corpo in movimento non dipende da una tendenza intrinseca del corpo a fermarsi, ma dalla necessità di compensare l'attrito che ostacola il movimento.
Ma in realtà ...

LA TENDENZA SPONTANEA DI UN CORPO IN MOVIMENTO LIBERO DA FORZE CHE LO OSTACOLANO È DI CONTINUARE A MUOVERSI PER SEMPRE

LA SOLUZIONE DI GALILEO 1

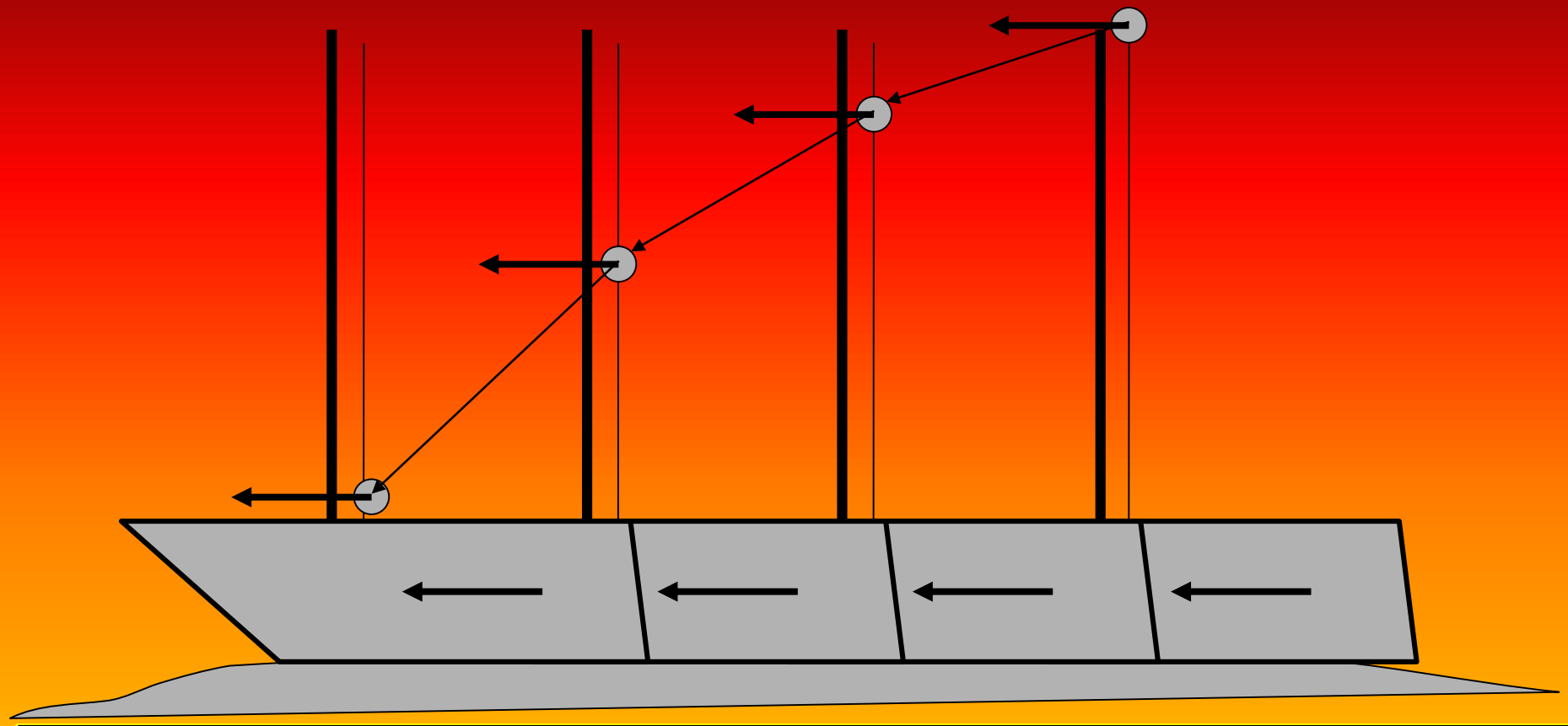
La scoperta del principio di inerzia permise finalmente di liberare l'eliocentrismo dalla contraddizione: gli oggetti cadono diritti perché conservano per inerzia la velocità di rotazione della Terra, rispetto alla quale sono dunque immobili, esattamente come accade su una nave …

LA SOLUZIONE DI GALILEO 2



... dove la pietra cade verticalmente
tanto se la nave si muove come se sta ferma ...

LA SOLUZIONE DI GALILEO 3



... perché conserva, per l'inerzia, la velocità della nave stessa, rispetto alla quale è in ogni caso immobile.

ATTENZIONE

Galileo considerava inerziale anche il moto circolare uniforme, il che è sbagliato
(e forse per questo non accettò mai le orbite ellittiche)

Tuttavia il punto decisivo era dimostrare
che il movimento NON si esaurisce spontaneamente,
e pertanto, al contrario di quel che credevano i filosofi aristotelici, non è necessaria una forza per mantenere un corpo in moto, bensì per arrestarlo; e da questo punto di vista la sua dimostrazione è assolutamente corretta.

INOLTRE …

GALILEO 1613

- Rimossi tutti gli impedimenti esterni, un grave nella superficie sferica concentrica alla Terra sarà indifferente alla quiete e ai movimenti verso qualunque parte dell'orizzonte, ed in quello stato si conserverà nel qual una volta sarà stato posto. [...] E così una nave, per essempio, avendo una sol volta ricevuto qualche impeto, per il mar tranquillo, si moverebbe continuamente intorno al nostro globo senza cessar mai, e postavi con quiete, perpetuamente quieterebbe.

(*Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari*, in *Opere*, V, p. 134)

MOTO INERZIALE E MOTO CIRCOLARE

... come vedremo più avanti,
in un certo senso il moto circolare uniforme
può essere considerato inerziale,
purché si rinunci a concepire la gravità come una forza ...

... come farà più tardi Einstein
e come era incline a fare anche Galileo

ATTENZIONE

Ciò non significa che Galileo abbia anticipato
la teoria della relatività di Einstein,
dato che egli non diede mai
alcuna spiegazione alternativa della gravità

Tuttavia considerare la sua idea semplicemente sbagliata
significa non capire la reale profondità del problema

GALILEO E EINSTEIN

In effetti è solo leggermente esagerato dire che
la determinazione dell'esatto concetto di moto inerziale
è stato il vero "motore immobile"
della fisica di questi 4 secoli, che ci ha portati
dall'ordinato cosmo a orologeria di Aristotele e Tolomeo
all'immenso e turbolento universo einsteiniano del Big Bang

Per questo non si può capire davvero Galileo
senza capire Einstein e viceversa:
e infatti se si legge bene Einstein si scopre
che la sua vera stella polare è sempre stata Galileo

GALILEO E L'INERZIA 1

Concludendo, possiamo dire che Galileo
NON COMPRESE CHIARAMENTE TUTTE LE IMPLICAZIONI
del principio che aveva dimostrato

Ma non le comprese tutte proprio perché le INTUÌ tutte,
comprese le più remote e profonde:
e questa ampiezza di sguardo inevitabilmente andò,
almeno in parte, a scapito della chiarezza,
come si vede bene da questo passo
della sua ultima e più importante opera

GALILEO 1638

- Qualunque velocità impressa ad un mobile è per sua natura invariabile, fintantoché ogni causa esterna di accelerazione o di ritardazione è assente; condizione questa che si verifica soltanto sui piani orizzontali, poiché su piani discendenti agisce una causa di accelerazione e nei piani ascendenti una causa di ritardo, donde parimenti segue che il moto sul piano orizzontale dura in eterno poiché, in quanto uniforme, non aumenta, né diminuisce e tanto meno cessa.

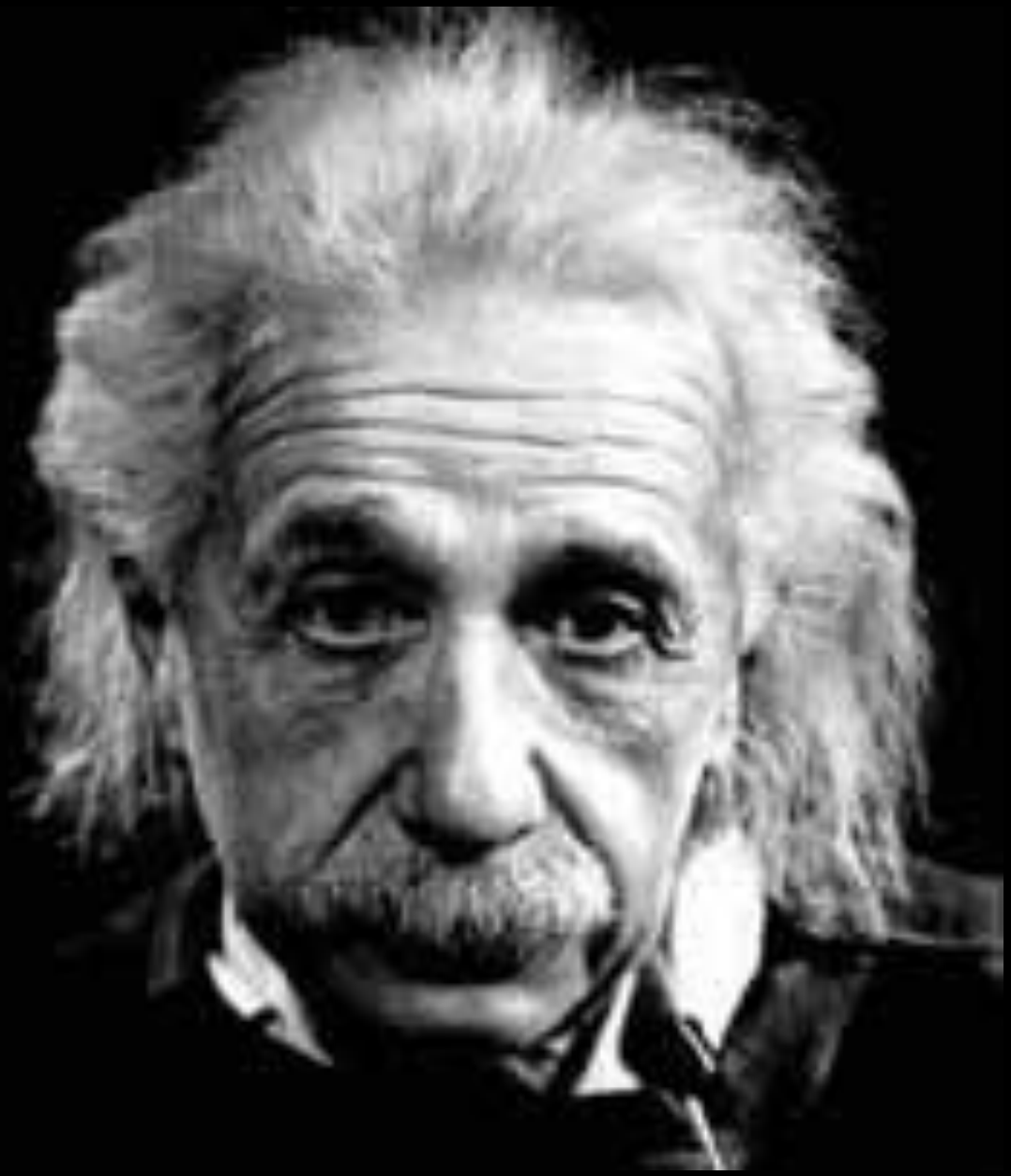
(*Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, in *Opere*, VIII, p. 243)

GALILEO E L'INERZIA 2

Tuttavia ciò non può in alcun modo cancellare il FATTO
che, indipendentemente da come ci arrivò
e da quale comprensione ne ebbe,
Galileo abbia effettivamente dimostrato il principio di inerzia

Negarlo sarebbe come negare che Pitagora
abbia mai dimostrato il suo teorema
per il solo motivo che non volle mai accettare
l'irrazionalità della diagonale del quadrato,
che di tale teorema è inevitabile conseguenza

ALBERT EINSTEIN



1879 - 1955

diesse
Le Botteghe dell'Insegnare
diesse
Didattica e Innovazione Scolastica
Centro per la formazione e l'aggiornamento
www.diesse.org

EINSTEIN 1934

- Galileo aveva già fatto
un passo importante
sulla via della scoperta
della legge del movimento.
<u>È lui che ha trovato la legge di inerzia.</u>

(*Come io vedo il mondo*, p. 85)

LA RELATIVITÀ GALILEIANA

Ma in Galileo c'è MOLTO DI PIÙ
che il solo principio di inerzia

Egli infatti scoprì anche
LA RELATIVITÀ DEL MOVIMENTO,
che non può essere definito in assoluto, ma solo
RELATIVAMENTE A UN SISTEMA DI RIFERIMENTO

GALILEO 1632

- SALVIATI – Riserratevi con qualche amico nella maggior stanza che sia sotto coperta di alcun gran naviglio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pascetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: stando ferma la nave osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi gettando all'amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che questa, quando le lontananze siano eguali; e saltando voi, come si dice, a piè congiunti, eguali spazi passerete verso tutte le parti. Osservato che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio vi sia che mentre il vascello sta fermo non debbano succeder così, fate muovere la nave con quanta si voglia velocità ché, pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e là, voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcun di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma: voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazi di prima, né, perché la nave si muova velocissimamente, farete maggior salti verso poppa che verso prua, benché, nel tempo che voi state in aria, il tavolato sottopostovi scorra verso la parte contraria al vostro salto; e gettando alcuna cosa al compagno non con più forza bisognerà tirarla, per arrivarle, se egli sarà verso la prua e voi verso poppa, che se voi fuste situati per l'opposto; le goccioline cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché mentre la gocciola è per aria, la nave scorra molti palmi; i pesci nella loro acqua non con più fatica noteranno verso la precedente che verso la susseguente parte del vaso, ma con agevolezza verranno al cibo posto su qualsivoglia luogo dell'orlo del vaso, e finalmente le farfalle e le mosche continueranno i lor voli indifferentemente verso tutte la parti, né mai accadrà che si rieduchino verso la parte che riguarda la poppa, quasi che fussero stracche in tener dietro al veloce corso della nave, dalla quale per lungo tempo, trattenendosi in aria, saranno state separate.

(*Dialogo sopra i massimi sistemi*, in *Opere*, VII, pp. 212-213)

EINSTEIN & INFELD 1938

- *Principio galileiano di relatività:*
  se le leggi meccaniche sono valevoli per un dato Sistema di Coordinate,
  esse lo sono altresì per qualsiasi altro Sistema di Coordinate, in moto uniforme relativamente al primo.

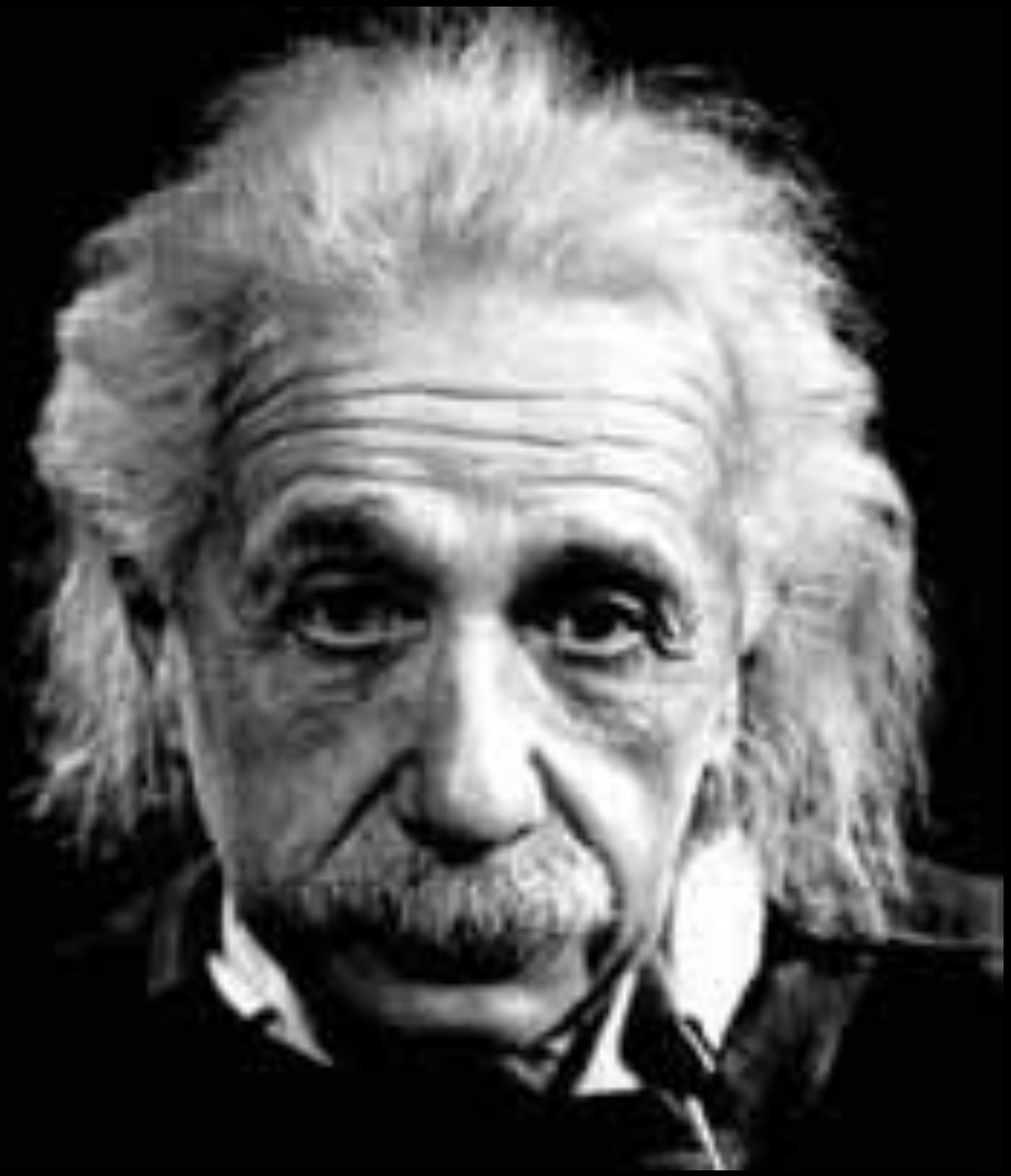
  (*L'evoluzione della fisica*, pp. 168-169)

ATTENZIONE

La relatività galileiana si riferisce solo
ai fenomeni meccanici e
ai SISTEMI INERZIALI, cioè a sistemi
che si muovono di movimento rettilineo uniforme

La relativitò di Einstein, come egli stesso ha sempre riconosciuto, non è altro che l'estensione del principio galileiano ai fenomeni elettromagnetici (che Galileo non conosceva) e ai sistemi non inerziali, cioè accelerati

ALBERT EINSTEIN



1879 - 1955

diesse
Le Botteghe dell'Insegnare
diesse
Didattica e Innovazione Scolastica
Centro per la formazione e l'aggiornamento
www.diesse.org

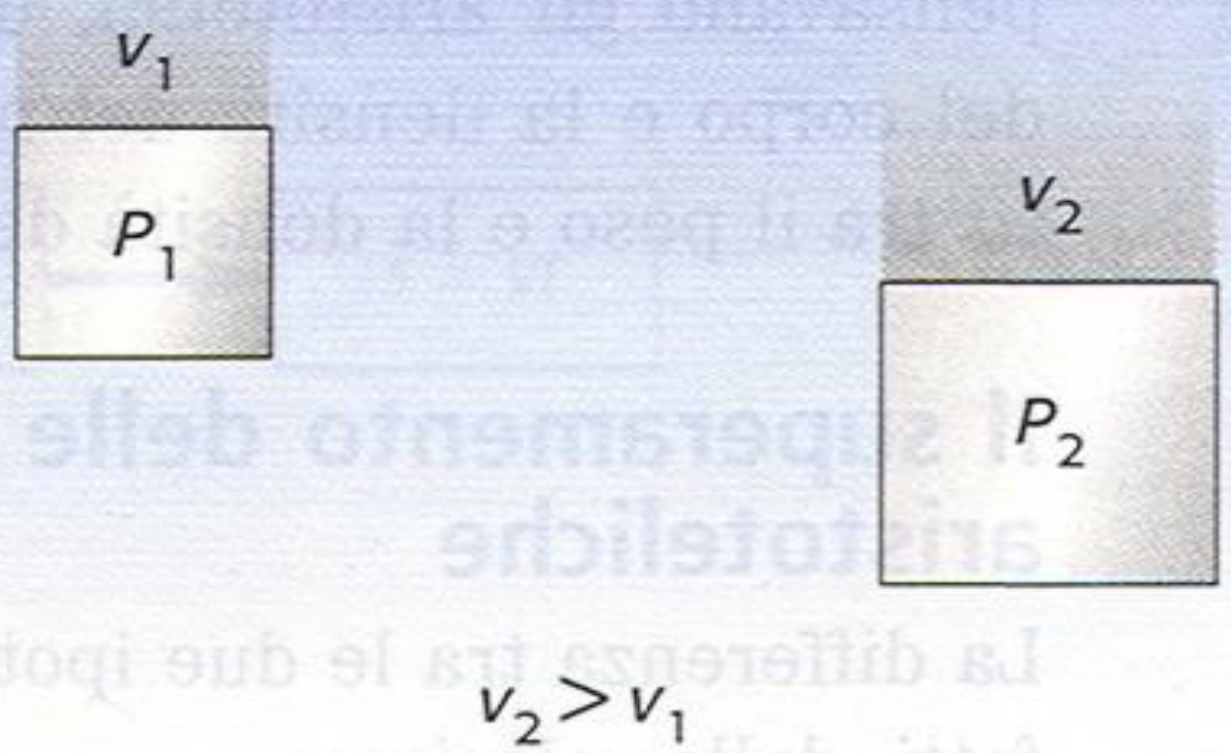
EINSTEIN 1934

- Nel considerare la natura specifica della teoria della relatività, tengo a mettere in evidenza che questa teoria non è di origine speculativa, ma che la sua scoperta è dovuta completamente e unicamente al desiderio di adattare, quanto meglio è possibile, la teoria fisica ai fatti osservati. Non si tratta di un atto rivoluzionario, ma dell'evoluzione naturale di una linea seguita da secoli. […]
  Le leggi della meccanica di Galileo e di Newton non possono essere formulate che utilizzando un sistema di coordinate.
  Ma affinché le leggi della meccanica siano valide, non si può scegliere a volontà lo stato di moto del sistema di coordinate (deve essere senza rotazione e senza accelerazione). Un sistema di coordinate ammissibile in meccanica si chiama un "sistema inerziale". […] Per "principio di relatività ristretta" s'intende l'estensione di questa proposizione a qualsiasi fenomeno naturale: ogni legge generale della natura valida per un sistema di coordinate K deve essere valida senza cambiamenti per un sistema di coordinate K_1 animato da un movimento di traslazione uniforme in rapporto a K.

(*Come io vedo il mondo*, pp. 107 e 115)

CADUTA DEI CORPI

1



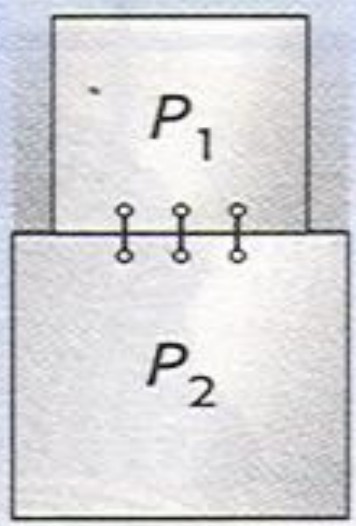
Secondo la fisica aristotelica, gli oggetti cadono con velocità proporzionali al loro peso …

CADUTA DEI CORPI

2

P_2 frenato da P_1

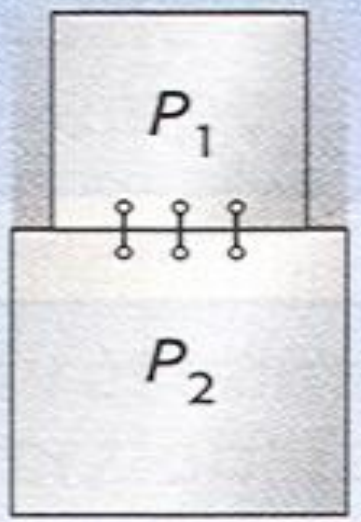
$v_1 < v_3 < v_2$



?

$P_1 + P_2 > P_2$

$v_3 > v_2$



… ma allora quando due oggetti di peso diverso vengono uniti quale sarà la velocità totale?

CADUTA DEI CORPI 3

Poiché le sue conseguenze sono CONTRADDITTORIE, segue che la teoria aristotelica è FALSA

In effetti, i corpi CADONO SEMPRE CON LA STESSA VELOCITÀ, indipendentemente dal loro peso.
Quando sembra che accada il contrario, è solo perché l'ATTRITO dell'aria FRENA i corpi più leggeri: infatti un foglio di carta appallottolato cade molto più in fretta anche se il peso è lo stesso, proprio perché l'attrito è minore

ATTENZIONE

In realtà l'argomento di Galileo non è del tutto corretto:
un aristotelico risponderebbe infatti che
il corpo più leggero frena il più pesante se i due
vengono uniti in modo ESTRINSECO (per esempio legandoli),
mentre le velocità si sommano se si ha una UNIONE
SOSTANZIALE (per esempio fondendo insieme i due corpi)

La teoria aristotelica non è quindi realmente contraddittoria,
però è certamente ASSURDA,
perché implica che per buttarci dalla finestra senza danni
basterebbe tenere in mano un oggetto molto leggero

IL MOTO ACCELERATO

1604

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

Galileo determinò anche la LEGGE MATEMATICA esatta della caduta dei corpi

diesse Le Botteghe dell'Insegnare
diesse Didattica e Innovazione Scolastica Centro per la formazione e l'aggiornamento
www.diesse.org

IL MOTO ACCELERATO

**La velocità di caduta non è proporzionale al peso,
ma al tempo (o, più esattamente, al quadrato del tempo)**

IL MOTO ACCELERATO

diesse
Le Botteghe dell'Insegnare
diesse
Didattica e Innovazione Scolastica
Centro per la Formazione e l'Aggiornamento
www.diesse.org

ATTENZIONE

Paradossalmente, l'errore di Aristotele, che appare clamoroso perché così palesemente in contrasto con l'esperienza, lo è molto meno dal punto di vista teorico

Infatti i corpi DOVREBBERO cadere con velocità proporzionale al peso, perché l'attrazione esercitata dalla gravità su un corpo è tanto maggiore quanto maggiore è la sua MASSA GRAVITAZIONALE (cioè la proprietà per cui i corpi "sentono" la gravità)

L'IDENTITA' DELLE MASSE

Se questo non succede è solo perché i corpi hanno anche
UN'ALTRA proprietà (la MASSA INERZIALE)
che si oppone al movimento e che è
ESATTAMENTE UGUALE alla massa gravitazionale

Essendo identiche, le due proprietà vengono spesso confuse
(non per nulla hanno perfino lo stesso nome),
ma NON SONO la stessa cosa:
la loro uguglianza è quindi un mistero
che verrà risolto solo 3 secoli dopo da Albert Einstein

LE LEGGI DEL PENDOLO