I principi della dinamica

come si insegnano
e (soprattutto) cosa ci insegnano

Perché sono così importanti i tre principi della dinamica?

e prima di tutto, cosa dicono i principi della dinamica?

Il modello standard

- il primo principio come principio di inerzia
- il secondo principio come legge di Newton, $F=ma$
- il terzo principio come principio di azione e reazione

Il modello standard

- il primo principio come principio di inerzia
- il secondo principio come legge di Newton, $F=ma$
- il terzo principio come principio di azione e reazione
- cosa c'è di male?

cosa c’è di male

la circolarità delle forze
basi sperimentali
insostenibilità microscopica
terzo principio e azioni a distanza
leggi di conservazione
il punto materiale

la circolarità delle forze

la circolarità delle forze

definizione statica delle forze

se le forze possono essere definite staticamente

(e misurate, con un dinamometro)

allora rimuovendo una delle forze (p. es. un vincolo e in particolare il dinamometro)

posso verificare sperimentalmente che $F=ma$

E’ un procedimento solido?

la circolarità delle forze

definizione statica delle forze

oppure, se staticamente stabilisco la presenza di un campo di forze (per esempio la gravità), posso assumere che il campo sia presente indipendentemente dalle forze che lo bilanciano

funziona?

la circolarità delle forze

definizione statica delle forze

oppure, se staticamente stabilisco la presenza di un campo di forze (per esempio la gravità), posso assumere che il campo sia presente indipendentemente dalle forze che lo bilanciano

funziona?

anche in linea di principio?

chi garantisce che nel caso del corpo in moto non compaiano altre forze? p.es. la resistenza del mezzo

ma anche p. es. per un campo elettrico l'effetto concomitante di un campo magnetico!

la circolarità delle forze

definizione statica delle forze

punto isolato

- dipendenza delle forze dalla distanza

la circolarità delle forze

definizione statica delle forze

punto isolato

- dipendenza delle forze dalla distanza

esistenza di sistemi inerziali e principio di relatività galileiana

- un sistema in cui un corpo fermo rimane fermo

la circolarità delle forze

- definizione statica delle forze
- punto isolato
  - dipendenza delle forze dalla distanza
- esistenza di sistemi inerziali e principio di relatività galileiana
- annullamento delle forze esterne
  - vincolo, attrito, cuscino d’aria etc.

la circolarità delle forze

definizione statica delle forze

punto isolato

- dipendenza delle forze dalla distanza

esistenza di sistemi inerziali e principio di relatività galileiana

annullamento delle forze esterne

- vincolo, attrito, cuscino d’aria etc.

caduta libera

- l’assenza di peso degli astronauti

piccola digressione:

siamo sicuri che esistono sistemi di riferimento inerziali?

la terra è un riferimento inerziale?

sembrerebbe di no, visto che un corpo libero fermo cade! ma in realtà ciò è dovuto alla forza peso

appoggiando il corpo su un piano la forza peso è cancellata dalla reazione vincolare

ma se si bilancia la forza peso con la reazione vincolare, l'attrito rallenta il moto uniforme

se si elimina anche l'attrito (ghiaccio, cuscino d'aria), al limite finalmente sembra di si.

in realtà no, visto che la terra gira su se stessa.

etc. etc.

digressione n. 2:

punto materiale e baricentro

digressione n. 3:

Il diagramma di punto libero

- massa appesa a una molla
- molla orizzontale appoggiata su un piano
- locomozione
- forze nei moti curvilinei

applicazioni errate del principio di azione e reazione

digressione n. 4:

forze apparenti

digressione n. 5:

Il moto dei gravi e la fisica “spontanea”

conclusione sul “modello standard”

lo troverete su tutti i libri, fatevene una ragione

Ricordatevi almeno di aggiungerci il principio zero (la relatività galileiana) e di formulare il primo principio come l’evidenza sperimentale dell’esistenza di sistemi inerziali

Il legame (matematico) tra la relatività galileiana e la legge di Newton:

invarianza delle accelerazioni per trasformazioni di Galileo

➡

covarianza della legge di Newton

una visione moderna

- esistenza di sistemi inerziali
- relatività galileiana
- conservazione della quantità di moto
- conservazione del momento angolare

una visione moderna

- esistenza di sistemi inerziali
- relatività galileiana
- conservazione della quantità di moto
- conservazione del momento angolare
- cosa c’è di bello?

Cosa c'è di bello

- questi principi mantengono la loro validità sperimentale su tutte le scale note dell'universo
- sono legati a proprietà semplicissime di omogeneità e isotropia dello spazio(-tempo)
- sopravvivono al passaggio dalla relatività di Galilei alla relatività di Einstein

terzo principio

- evidenza sperimentale della conservazione della quantità di moto e del momento angolare per qualunque sistema isolato
- la risultante delle forze interne e dei momenti delle forze interne sono entrambe nulle!
- le forze interne sono a due a due uguali ed opposte, e dirette secondo la stessa linea di azione

si può far vedere che...

- questi principi mantengono la loro validità sperimentale su tutte le scale note dell'universo
- sono legati a proprietà semplicicissime di omogeneità e isotropia dello spazio(-tempo)?
- sopravvivono al passaggio dalla relatività di Galilei alla relatività di Einstein

Un tentativo integralista

relatività galileiana

- equivalenza tra quiete e moto rettilineo uniforme
- invarianza dell'accelerazione per trasformazioni di Galileo

urti tra corpi identici

- caso simmetrico, uguaglianza delle variazioni di velocità
- caso asimmetrico
- attraverso la trasformazione di Galileo si generalizza il primo risultato

urti tra corpi diversi

- la massa come parametro della differenza
- quantità di moto, quantità di moto totale
- conservazione della quantità di moto totale
- invarianza e conservazione

Un tentativo integralista (2)

interazioni e forze

- impulso e quantità di moto (teorema dell'impulso)
- principio di azione e reazione
- forza come derivata dell'impulso, ossia $F=ma$

urti elastici

- invarianza temporale e conservazione dell'energia

invarianza per rotazioni e forze centrali

- il momento rispetto al polo di una forza centrale è sempre nullo
- conservazione del momento angolare

Una mediazione...

- sviluppare rapidamente i tre principi del modello standard (con gli accorgimenti ricordati)
- introdurre prima possibile l'energia potenziale come energia legata alla posizione nello spazio
- collegare (sperimentalmente) la forza alla variazione nello spazio dell'energia potenziale

il secondo principio

Si può ricavare $f = ma$ da leggi di conservazione?

il secondo principio

- introduciamo le “coordinate generalizzate” q e p
- posizione $q = x$
- quantità di moto $p = mv = m\dfrac{dq}{dt}$
- per cui $\dfrac{dp}{dt} = ma$

il secondo principio

introduciamo la funzione Hamiltoniana:

$$H(q,p) = \frac{p^2}{2m} + V(q)$$

il secondo principio

introduciamo la funzione Hamiltoniana:

$$H(q,p) = \frac{p^2}{2m} + V(q) = \frac{1}{2}mv^2 + V(x)$$

il secondo principio

introduciamo la funzione Hamiltoniana:

$$H(q,p) = \frac{p^2}{2m} + V(q) = \frac{1}{2}mv^2 + V(x)$$

nella quale riconoscete l'energia totale di un punto materiale

il secondo principio

introduciamo la funzione Hamiltoniana:

$$H(q,p) = \frac{p^2}{2m} + V(q) = \frac{1}{2}mv^2 + V(x)$$

nella quale riconoscete l'energia totale di un punto materiale

$$\frac{d}{dt}H(t,q,p) = \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial q}\frac{dq}{dt} + \frac{\partial H}{\partial p}\frac{dp}{dt}$$

il secondo principio

$$\frac{d}{dt}H(t,q,p)=\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial H}{\partial q}\frac{dq}{dt}+\frac{\partial H}{\partial p}\frac{dp}{dt}$$

se l'energia totale si conserva e l'Hamiltoniano non dipende esplicitamente dal tempo, allora:

$$\frac{dH}{dt}=0,\frac{\partial H}{\partial t}=0$$

$$\frac{\partial H}{\partial q}\frac{dq}{dt}+\frac{\partial H}{\partial p}\frac{dp}{dt}=0$$

il secondo principio

$$\frac{\partial H}{\partial p} = \frac{p}{m} = \frac{dq}{dt}; \qquad \frac{\partial H}{\partial q} = \frac{\partial V}{\partial q}$$

$$\frac{\partial H}{\partial q}\frac{dq}{dt} + \frac{\partial H}{\partial p}\frac{dp}{dt} = \frac{\partial V}{\partial q}\cancel{\frac{dq}{dt}} + \cancel{\frac{dq}{dt}}\frac{dp}{dt} = 0$$

$$\frac{dp}{dt} = ma \quad \Rightarrow \quad ma = -\frac{\partial V}{\partial q}$$

ossia $f = ma$

equazioni canoniche

$$\frac{\partial H}{\partial p} = \frac{dq}{dt}; \qquad \frac{\partial H}{\partial q} = -\frac{dp}{dt}$$

se H non dipende esplicitamente da $q = x$, la quantità di moto si conserva