

Il concetto di campo

Campi, onde, radiazione

L'idea originale

- ◆ Approccio iniziale alle interazioni: *azione diretta* (fra masse, fra cariche elettriche, ...)
- ◆ Ossia: Ogni data massa esercita una forza su ogni altra
- ◆ Osservazione centrale: *principio di sovrapposizione* (←linearita' delle equazioni)
- ◆ Es.: Se la massa **A** risente delle azioni delle masse **B** e **C**, la forza totale su **A** e' la somma delle forze dovute a **B** e **C**
- ◆ O anche: *l'effetto della somma e' la somma degli effetti*

L'idea di campo

- ◆ Invece di azione diretta: ogni massa, o carica elettrica, o..., *modifica le proprietà dello spazio*
- ◆ Lo spazio modificato *modifica lo stato di moto* di altre masse, o cariche, che vi si trovino
- ◆ La massa, o carica, *crea un campo* (gravitazionale, elettrico, ...), che *agisce* su altre masse, o cariche
- ◆ Campo come *mediatore* delle forze fra masse, cariche
- ◆ Concetto statico: effetto immediato, senza ritardo
- ◆ Linguaggio più semplice: economia di pensiero (?)
- ◆ Utile se vale *il principio di sovrapposizione* (eq. lineari)
- ◆ Tuttavia: l'idea intuitiva di spazio viene caricata di proprietà nuove, inizialmente non molto giustificate

I moti oscillatori

- ◆ Pendolo: primo esempio di moto periodico

- ◆ Il moto circolare uniforme

- ◆ La scomposizione del m.c.u. in due moti ortogonali (accelerati)

- ◆ Il moto armonico: "mattone"
base di ogni moto oscillatorio

- ◆ La scoperta chiave:
accelerazione $\propto$ *spostamento*

- ◆ *Quantita' dinamiche:*
periodo/frequenza
ampiezza

- ◆ *Moto periodico nel piano*

- ◆ *E' un moto accelerato!*

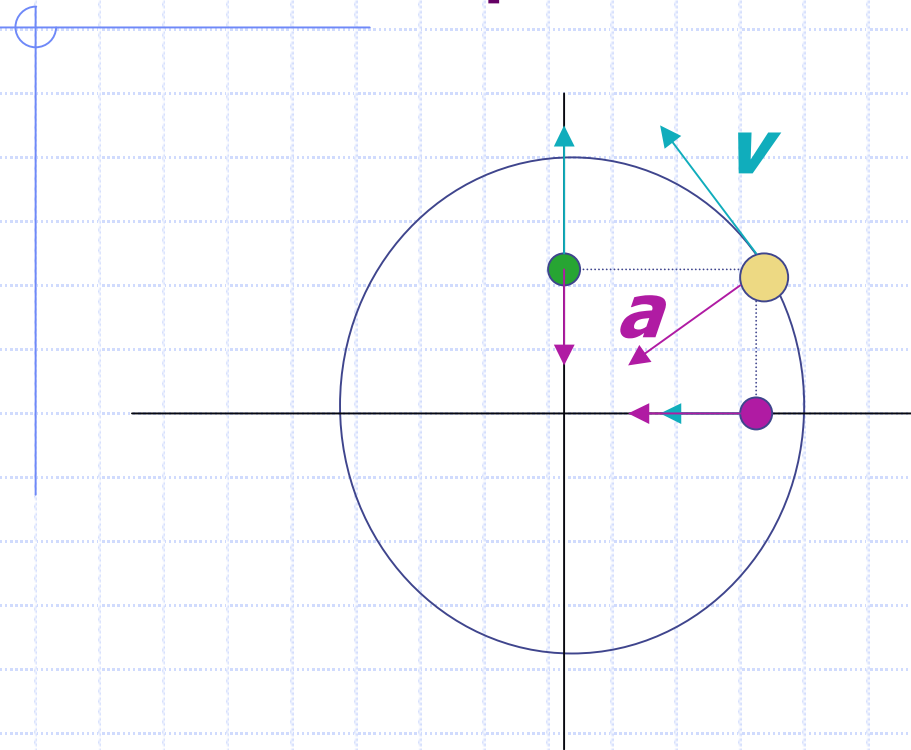
- ◆ *Proprieta' delle funzioni **sen** e **cos**:*

- la derivata le scambia*

- sono un insieme chiuso rispetto alla derivazione*

- ◆ *Se > 1 moto oscillatorio:
concetto di fase relativa*

La scomposizione cinematica



Moto delle proiezioni:

periodico

non uniforme

***a** sempre diretta verso
il centro*

***v** ed **a** concordi/discordi*

Il moto oscillatorio: statica

- ◆ Deformazioni nei corpi elastici: molla

Legge di Hooke: $F = \alpha \Delta x$

F = applicata alla molla

Δx = deformazione (es. compressione, estensione)

α = costante del sistema

- ◆ Statica del sistema molla+massa

Se attacchiamo una massa alla molla: $F' = -\alpha \Delta x$

F' = forza esercitata dalla molla sulla massa = $-F$

→ La molla esercita sulla massa una forza proporzionale allo scostamento, e di segno opposto

Il moto oscillatorio: dinamica

◆ Proprieta' statiche delle forze elastiche=proprieta' dinamiche del moto oscillatorio

◆ Moto oscillatorio: conseguenza dell'azione della forza elastica

◆ Caratteristica legata alla costante della forza elastica e alla massa:
periodo

◆ *Infatti:*

F. elastiche:

Forza $\propto$ scostamento

Moto oscillatorio:

Accel.ne $\propto$ scostamento

◆ *Matematicamente:
legato alle proprieta'
delle funzioni sen e cos*

◆ *$T = \sqrt{m/k}$*

I gradi di liberta'

- ◆ Situazione semplice per una sola massa
- ◆ Schiera di N masse uguali, collegate da molle
- ◆ Ogni blocchetto soggetto a 2 forze:

$F_{sinistra}$, F_{destra}

dovute a estensione/compressione delle relative molle

- ◆ Forza totale su un blocchetto = somma algebrica di $F_{sinistra}$, F_{destra}
- ◆ → dipende, in modulo e verso, dallo scostamento rispetto alla posizione di equilibrio *di tutti i blocchetti*

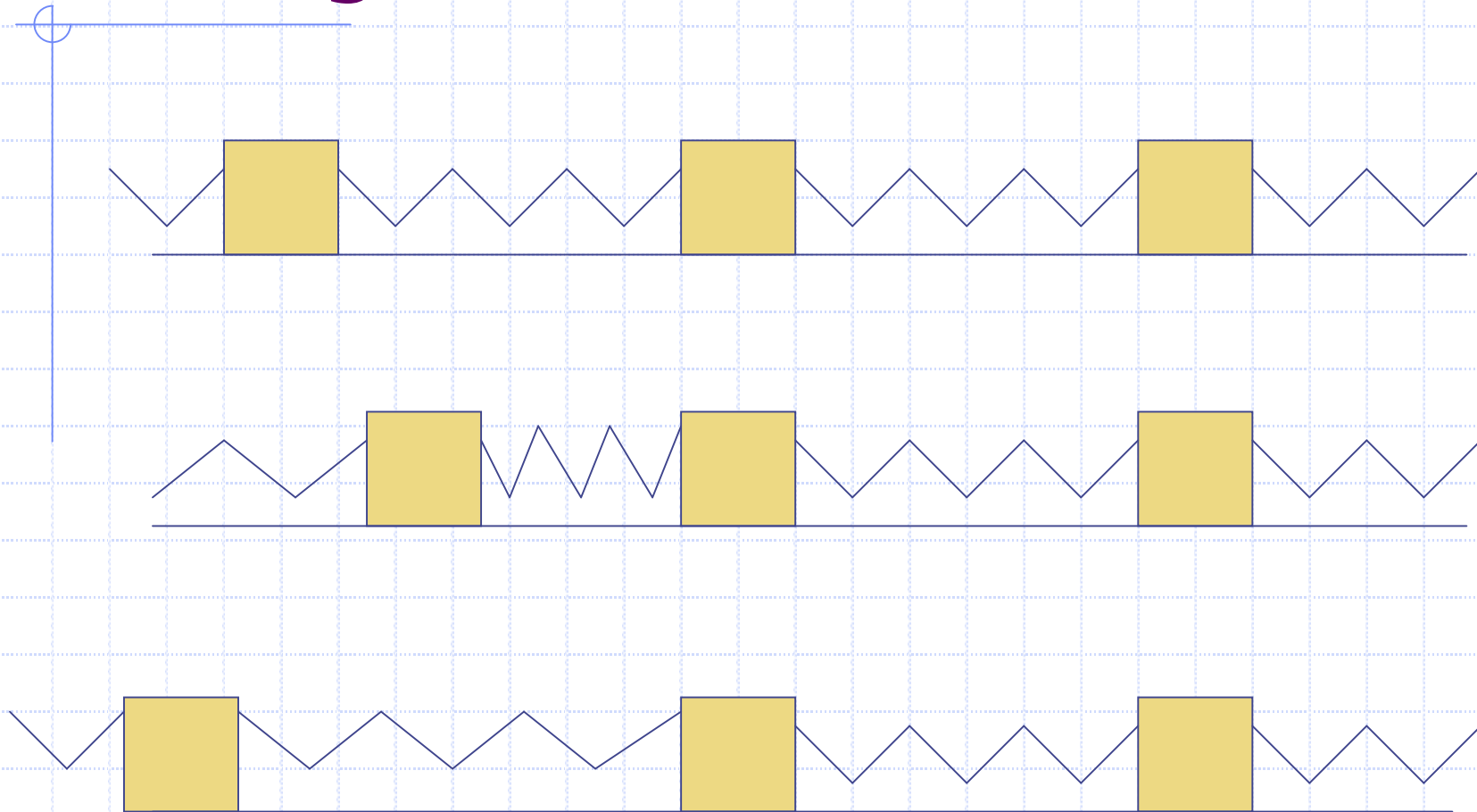
◆ *Gradi di liberta':*

Modi di muoversi

◆ *Molle: schema base*

◆ *Molti altri schemi possibili, piu' o meno equivalenti*

Molti gradi di liberta'...



Equilibrio e perturbazione

- ◆ Il sistema a molti gradi di libert  possiede una configurazione di *equilibrio*: tutte le molle a riposo
- ◆ Cosa accade se il primo blocchetto a sinistra viene spostato e poi rilasciato?
- ◆ Il primo blocchetto comincia a oscillare
- ◆ L'oscillazione si trasferisce passo passo a tutti gli altri blocchetti
- ◆ *Tutti* i blocchetti alla fine avranno compiuto un'oscillazione
- ◆ La fase relativa delle oscillazioni   diversa per ogni blocchetto

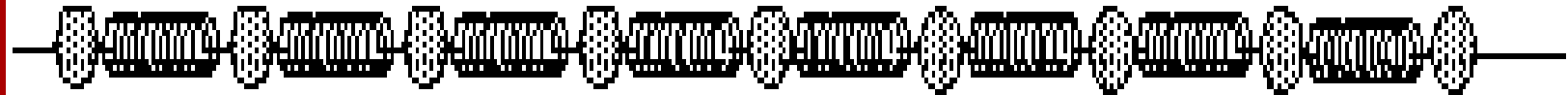
Periodo di oscillazione: uguale per tutti i blocchetti (dipende solo da k e m)

◆ *Fase relativa: ritardo nella "messa in moto" di ogni blocchetto*

◆ *En. cinetica si sposta da un blocchetto all'altro*

◆ *En. potenziale si sposta da una molla all'altra*

Il ritardo di fase



Origine del ritardo: ogni blocchetto deve essere accelerato dallo stato di quiete

Sistemi a molti gradi di liberta'

◆ Solido elastico

Coesione, variazione di *posizione*

Compressione → *Deformazione*

Deformazione → *Compressione*

Modello: masse collegate da molle

◆ Fluido

Pressione, variazione di *densita'*

Compressione → *Deformazione*

Deformazione → *Compressione*

Modello: suono in gas isoterma

◆ *Idea base: fenomeno a catena*

◆ *Modello: proprieta' simili; regola: stesse equazioni ↔ stesse soluzioni*

◆ *Modello masse + molle: a rigore, non ondeggia(→caso limite)*

◆ *Modello gas ideale:
 $pV = NkT \rightarrow p \propto \rho kT$*

Onde

Caratteristica comune a tutti i fenomeni:

propagazione

Proprieta' fondamentale del moto di *sistemi a molti gradi di liberta'*

Cosa si propaga?

Energia, quantita' di moto, momento angolare

Cosa non si propaga?

Materia

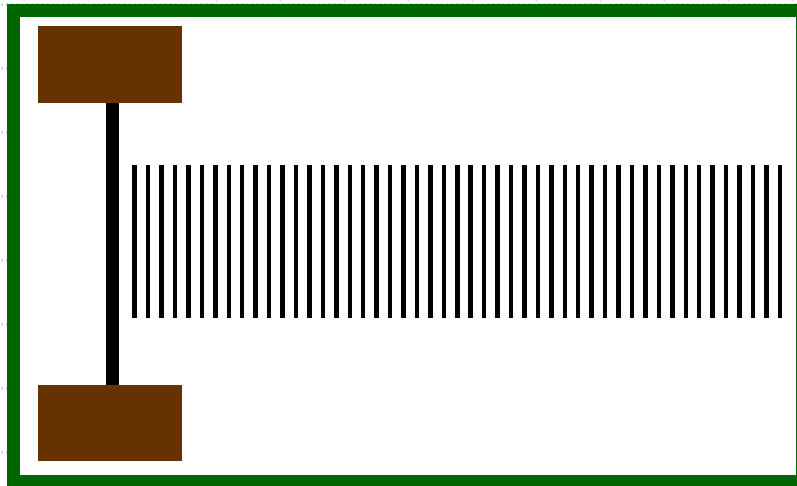
Azione a distanza vs. onde

- ◆ Nella visione newtoniana, le forze fra i corpi si trasmettono *istantaneamente*
- ◆ Energia, quantita' di moto etc quindi vengono trasferite da un corpo all'altro *senza ritardo*
- ◆ Nei sistemi meccanici a molti gradi di liberta', viceversa, le stesse quantita' si propagano *con ritardo*
- ◆ Tuttavia, azione a distanza *non necessaria !*
- ◆ *Newton insoddisfatto stesso dell'idea*
- ◆ *Meccanismo ondulatorio per interazioni: solo per sistemi meccanici*
- ◆ *Non visto come una proprieta' fisica fondamentale*

Esempi di propagazione - I

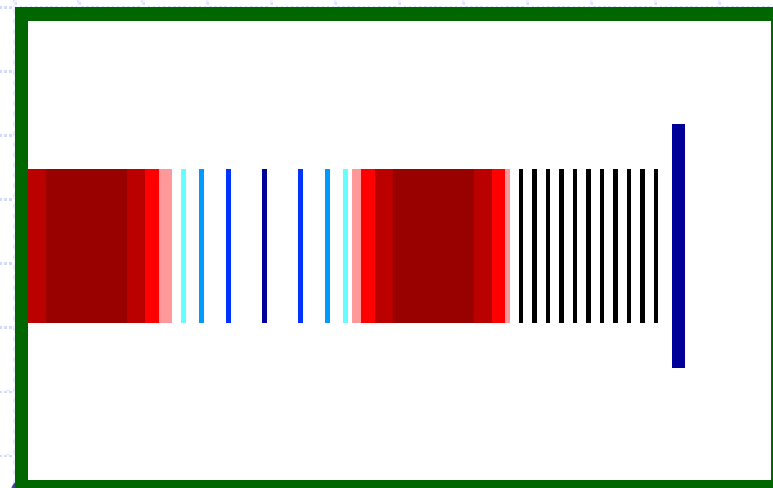
- ◆ Membrana vibrante: trasmettitore
- ◆ Aria come fluido elastico: mezzo
- ◆ Suono:
onde sonore=onde di pressione
- ◆ Timpano nell'orecchio: ricevitore

Esempi di propagazione - I



*La membrana **vibrante**
genera onde di densita'
(→**pressione**) nel gas*

*L'onda di pressione
(→**densita'**) fa **vibrare** il
timpano del nostro
orecchio*



Esempi di propagazione - II

◆ Sasso gettato in uno stagno: *onde circolari*

◆ Di che onde si tratta?

◆ Fenomeno abbastanza complesso: *onde di superficie*

◆ Stesso fenomeno, ma *trasversale*

◆ Differenze fra onde in acque alte e basse

◆ *Fatto fondamentale: inomogeneita' alla superficie aria-acqua*

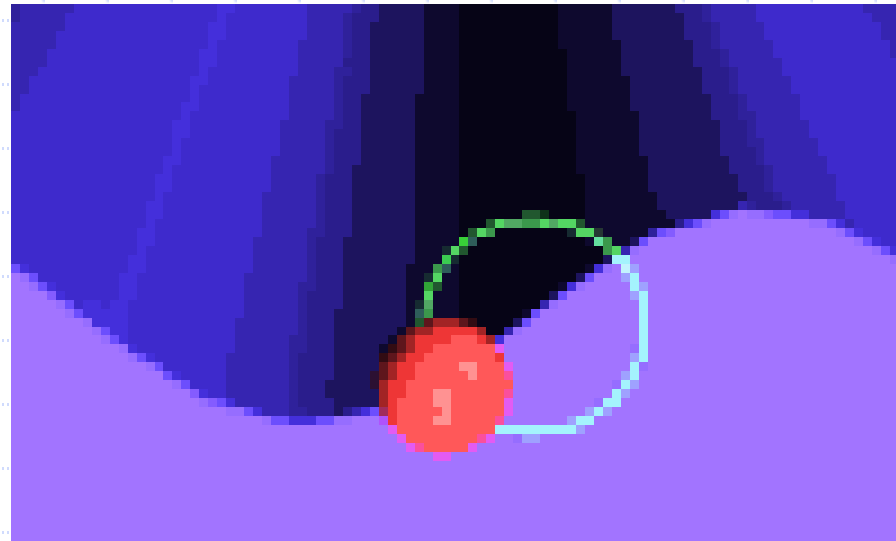
◆ *Moto particella non vincolato alla superficie*

◆ *Percorso ~ circolare*

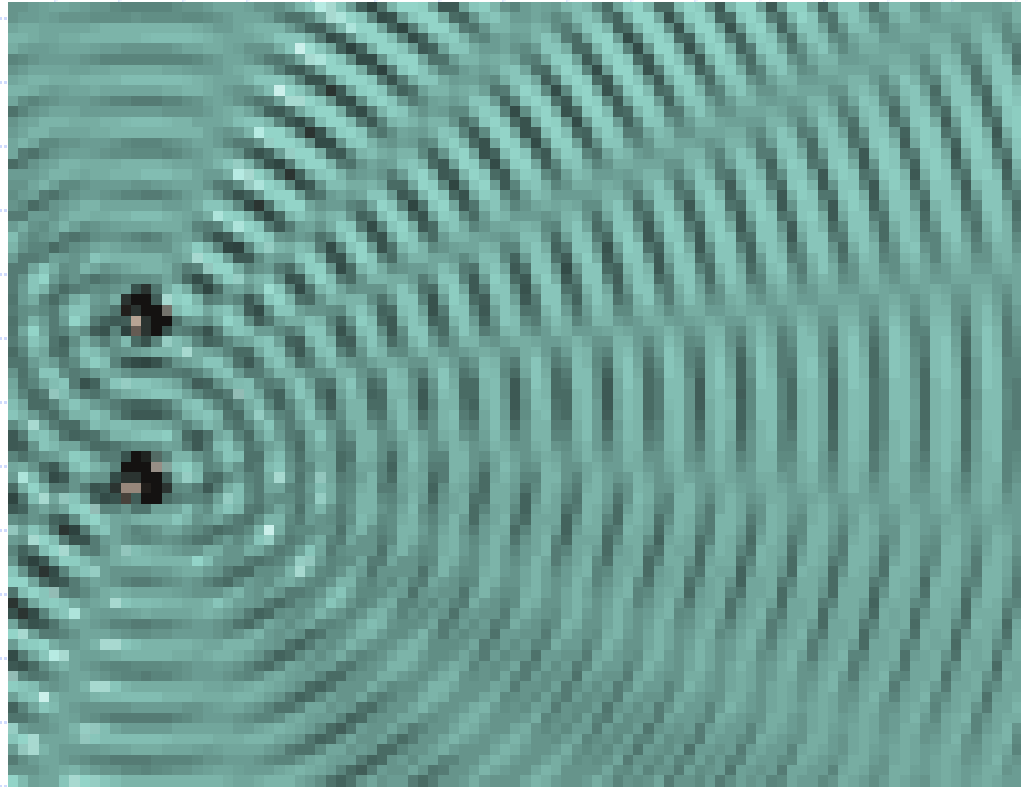
◆ *Onda superficiale risultante*

◆ *Velocita' funzione dell'altezza dell'acqua*

Meccanismo delle onde superficiali



Onde in uno stagno – interferenza



Esempi di propagazione - III

- ◆ Corda elastica: “schiocco” a una estremità'
- ◆ Modello: v. blocchetti + molle
- ◆ *Deformazione* che si propaga
- ◆ Visualizzazione: frusta

Corda – impulso trasversale



©2002, Dan Russell

La “frustata” si propaga da un estremo all’altro della corda

Direzione propagazione $\perp$ direzione oscillazione

Proprieta' delle onde

◆ Onda: *perturbazione di uno stato di equilibrio, che si propaga nello spazio e nel tempo*

◆ Perturbazione: $y=f(x,t)$

Significato: onde in un solido

l'elemento materiale che si trova, all'equilibrio, alla posizione x , al tempo t si e' scostato dall'equilibrio della entita' y

Significato: onde in un gas

La densita' di equilibrio, trovata alla posizione x , al tempo t si e' scostata dal valore di equilibrio della entita' y

Perche' $y=f(x,t)$

Per un sistema di N corpi discreti, il moto e' descritto da N funzioni del tempo:

$$\{y_i(t), i=1, \dots, N\}$$

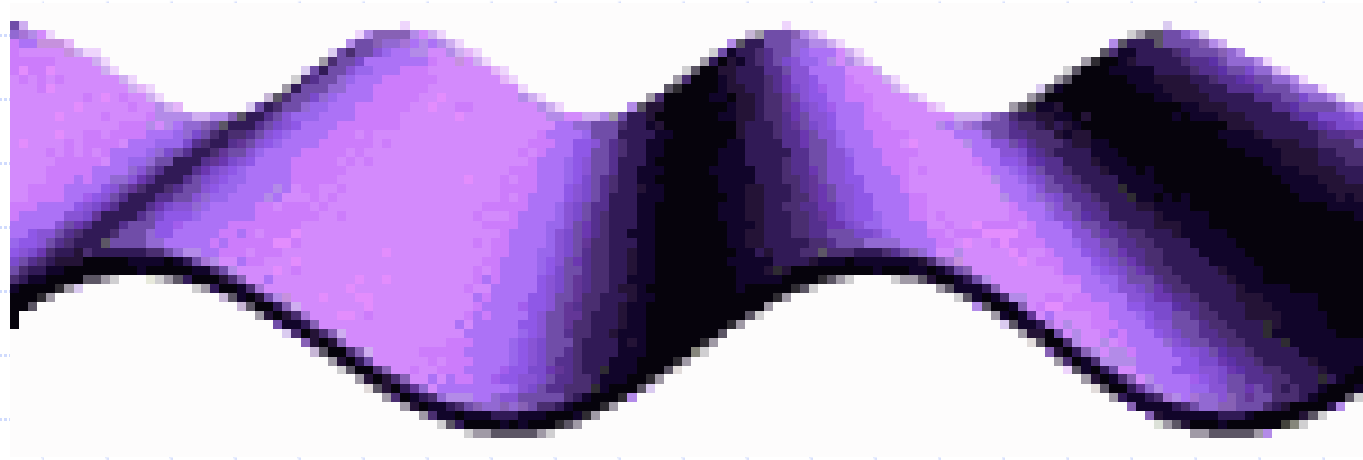
Per un sistema che e' *continuo* ($N \rightarrow \infty$), il moto e' descritto da *infinite* funzioni del tempo

$$\{y_x(t), x \in \{-\infty, +\infty\}\}$$

ossia

$$y=f(x,t)$$

Il teorema di Fourier



Sovrapposizione di 10 segnali a frequenza crescente: *sinusoide* → *onda quadra*

Onde armoniche - I

- ◆ Ancora la schiera (molle+masse)
- ◆ Agitiamo la prima massa periodicamente
- ◆ → Perturbazione periodica
- ◆ Prendiamo in considerazione un caso:
disturbo sinusoidale
- ◆ → La perturbazione e' anch'essa sinusoidale
onda armonica
- ◆ Teorema di Fourier: *ogni funzione periodica e' la somma di tante (al limite infinite) funzioni sinusoidali*
- ◆ Quindi non si perde in generalita' a parlare di onde armoniche

Onde armoniche - II

- ◆ $y = A_0 \sin(kx - \omega t)$

- ◆ $A_0 = \text{ampiezza}$

- ◆ Proprietà fondamentali di un'onda armonica:
periodicità spaziale
periodicità temporale

- ◆ Non indipendenti: legate da

$$v = \lambda/T = \omega/2\pi k$$

velocità di propagazione

- ◆ $k = \text{numero d'onda}$

- ◆ $\omega = \text{pulsazione}$

- ◆ $\lambda = 1/k$
lunghezza d'onda

- ◆ $T = 2\pi/\omega$
Periodo

- ◆ *La velocità di propagazione è la stessa qualunque sia λ*

Il significato...

◆ Fissiamo x : siamo in una data posizione

◆ Osserviamo una *dipendenza sinusoidale* da t : la perturbazione

◆ Fissiamo t : "facciamo una foto" dell'onda, in tutti i punti, a un dato istante

◆ Osserviamo una *dipendenza sinusoidale* da x : la perturbazione

◆ Lo scorrimento della perturbazione avviene con velocità v , qualunque siano l'ampiezza e la lunghezza d'onda

Fenomeni elettromagnetici

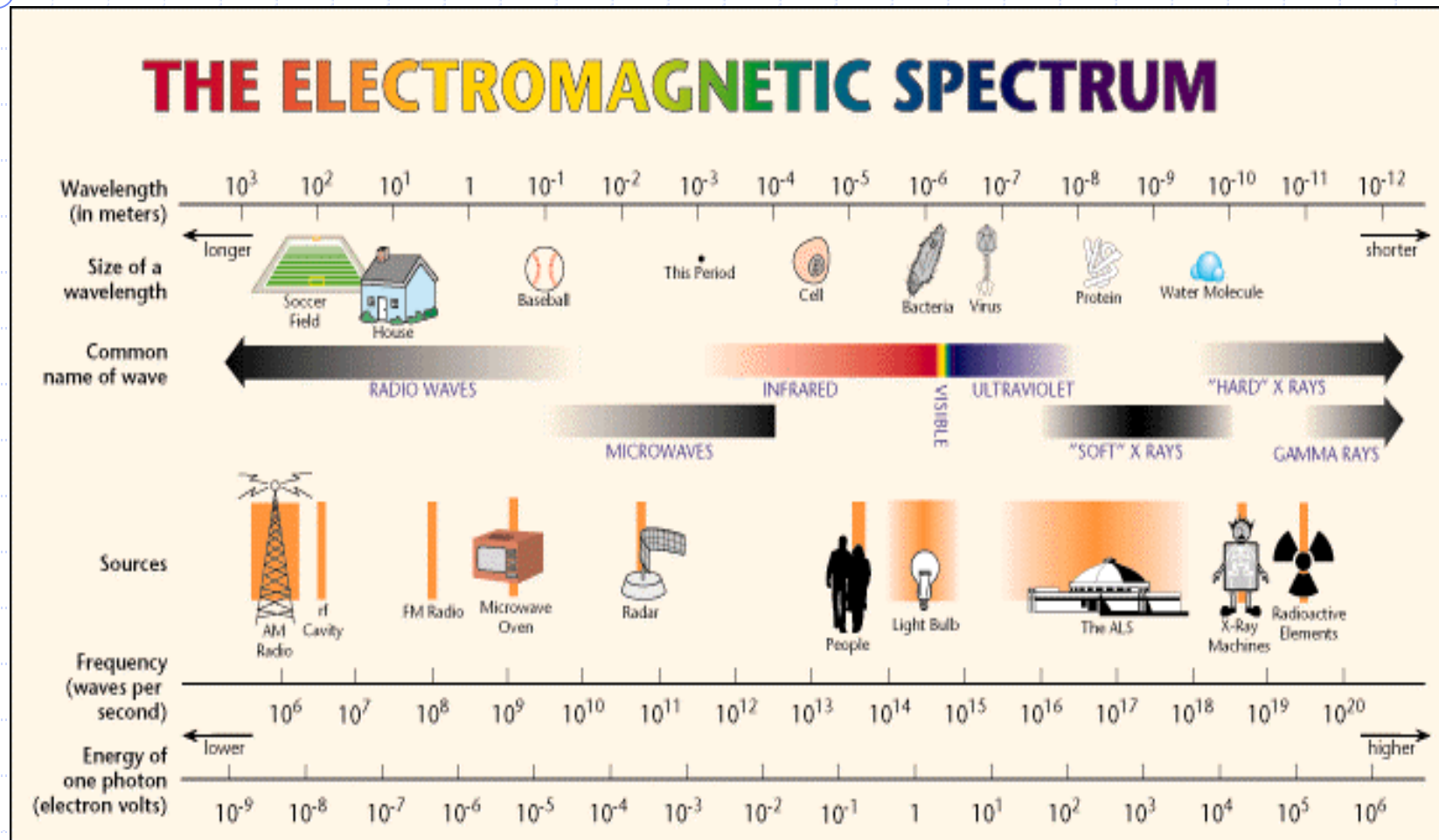
- ◆ Fenomeni *elettrici* e *magnetici*: legati alla presenza di cariche e correnti
- ◆ Fenomeni essenzialmente statici
- ◆ Descrizione in termini di campi
- ◆ Ma: due fatti sorprendenti!
(Sperimentale) **Faraday** → *c. elettrici indotti da campi magnetici variabili nel tempo*
(Teorico) **Maxwell** → *c. magnetici indotti da campi elettrici variabili nel tempo*

Onde elettromagnetiche

- ◆ Legame fra campi elettrici e magnetici: quando si hanno campi variabili
- ◆ Fenomeni concatenati
- ◆ Stesse equazioni, stesse soluzioni
- ◆ Propagazione per onde di energia, q. di moto, mom. angolare

- ◆ *Nuova proprieta' dei campi elettromagnetici*
- ◆ *Posso sussistere senza la presenza di cariche o correnti*
- ◆ *Solo insieme !*

Lo spettro elettromagnetico



Il campo e lo spazio

- ◆ Dopo tutto, l'idea di campo elettromagnetico e' piu' di un utile accessorio!
- ◆ Il campo ha una realta' sua, indipendente da quella delle cariche elettriche
- ◆ Lo spazio puo' effettivamente essere modificato
- ◆ Lo stesso (pensiamo) vale per il campo gravitazionale