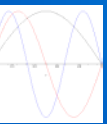




Emilio Fiordilino



17/06/2007

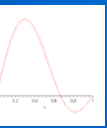
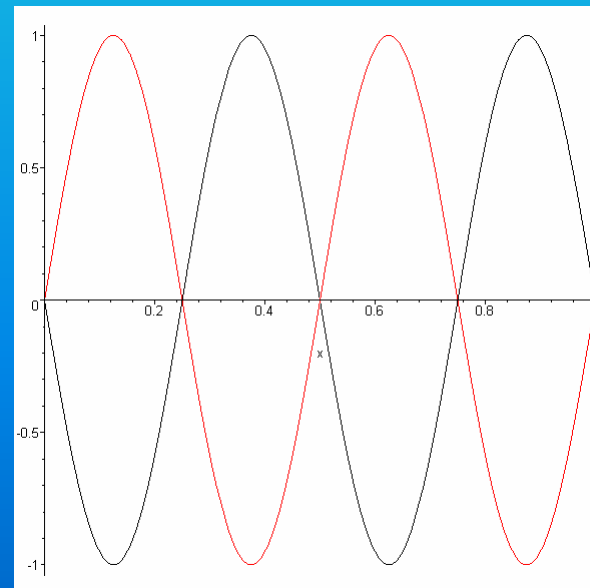
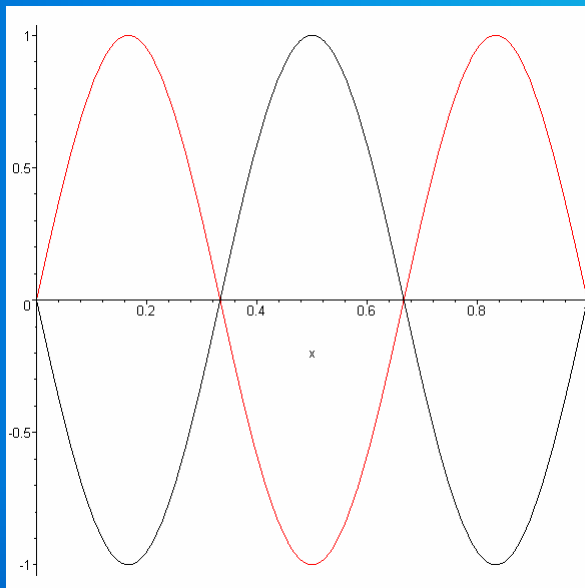
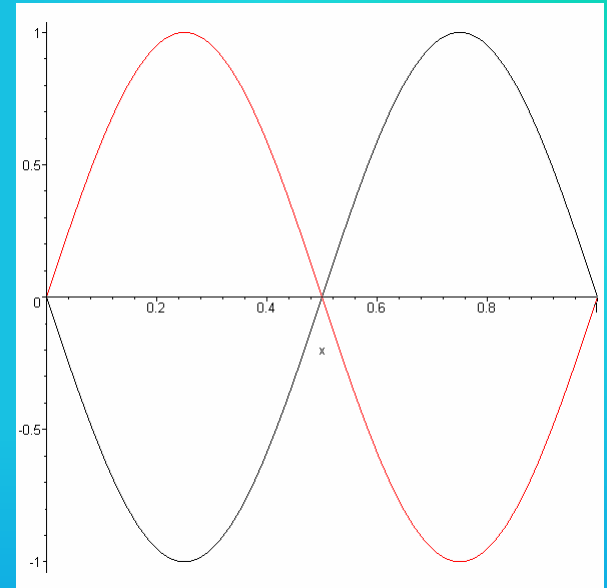
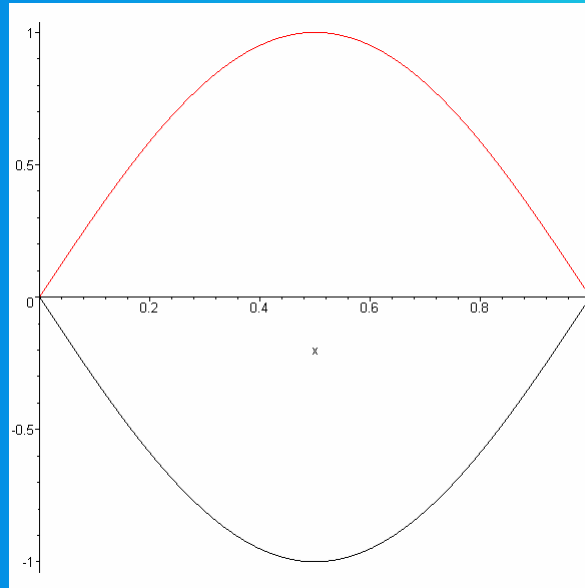
Esiste la luna?

$$\frac{d^2 u(x)}{dx^2} = -k^2 u(x)$$

$$u(0) = u(\ell) = 0$$

$$k_n = \frac{n\pi}{\ell}$$

$$u_n(x) = \sin k_n x$$

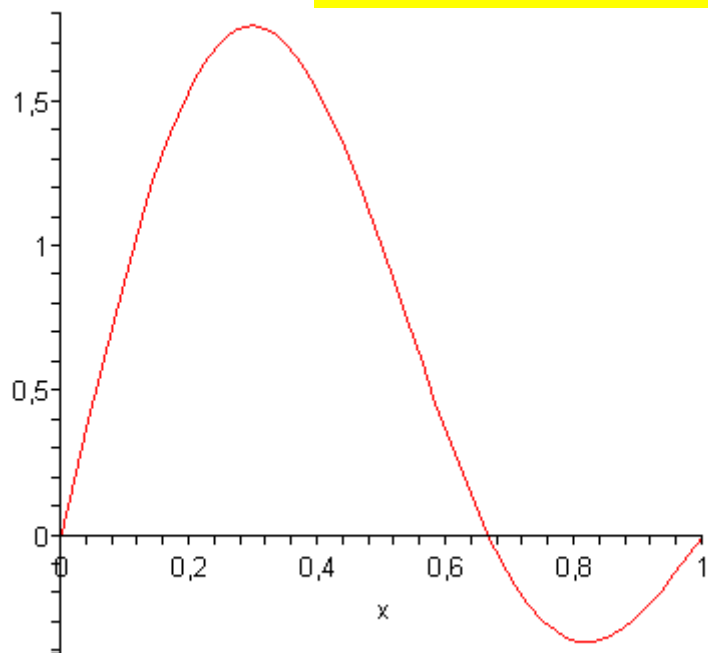


17/06/2007

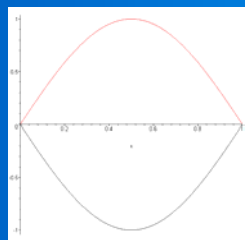
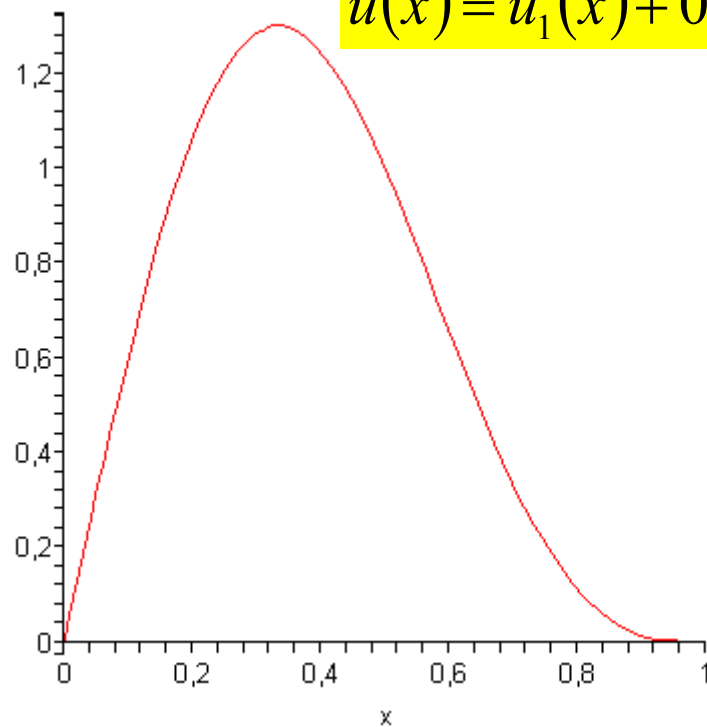
Esiste la luna?



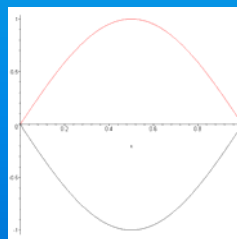
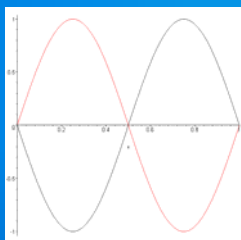
$$u(x) = u_1(x) + u_2(x)$$



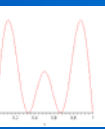
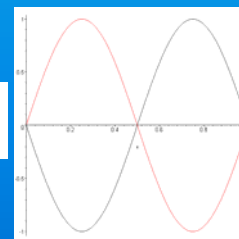
$$u(x) = u_1(x) + 0.5u_2(x)$$



+

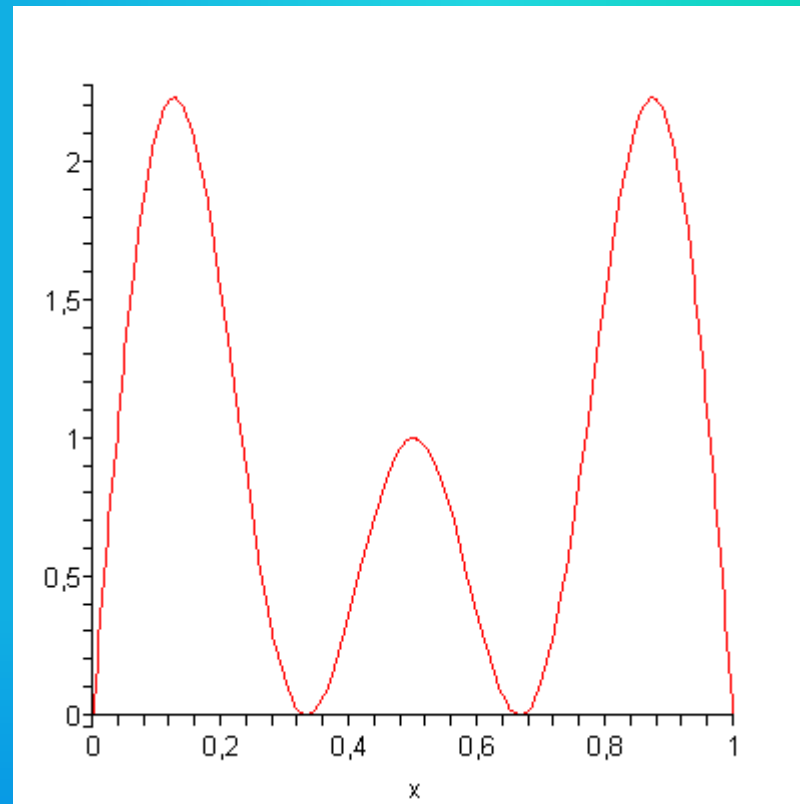
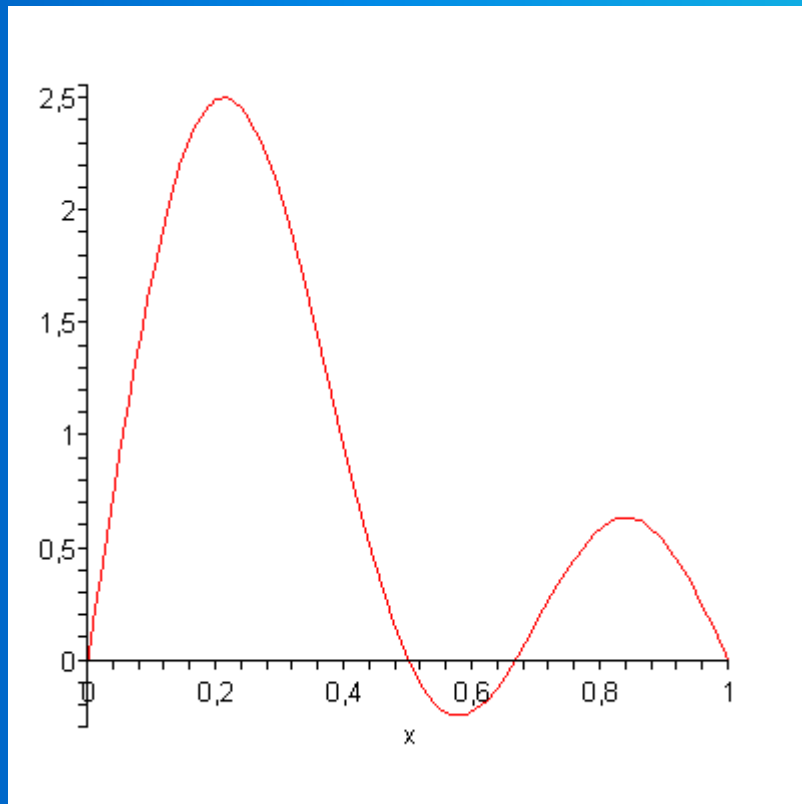


+0.5

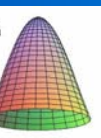


17/06/2007

Esiste la luna?

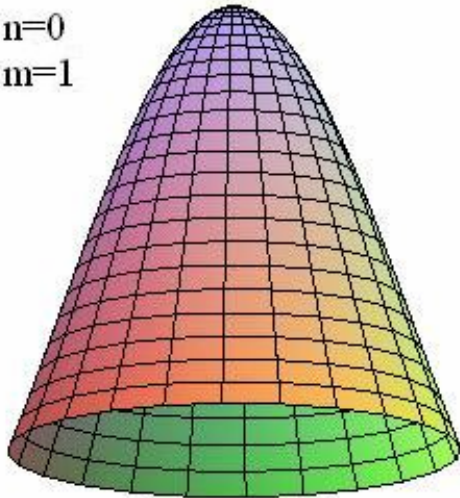


$$u(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n u_n(x)$$

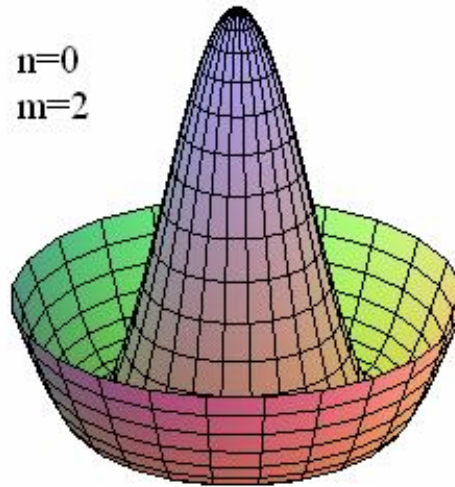




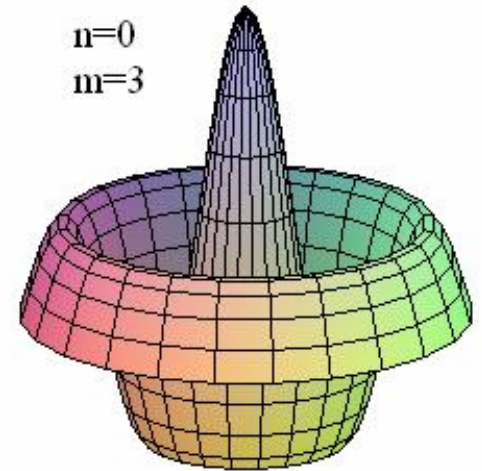
$n=0$
 $m=1$



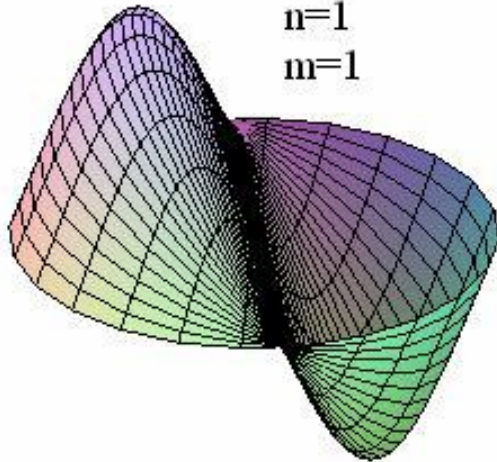
$n=0$
 $m=2$



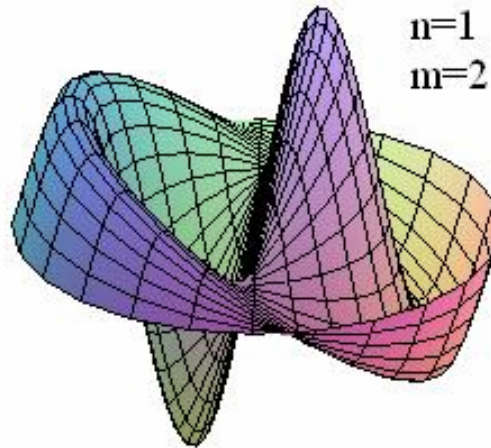
$n=0$
 $m=3$



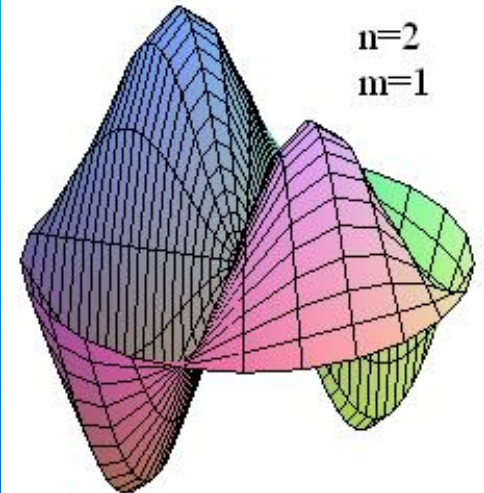
$n=1$
 $m=1$



$n=1$
 $m=2$



$n=2$
 $m=1$

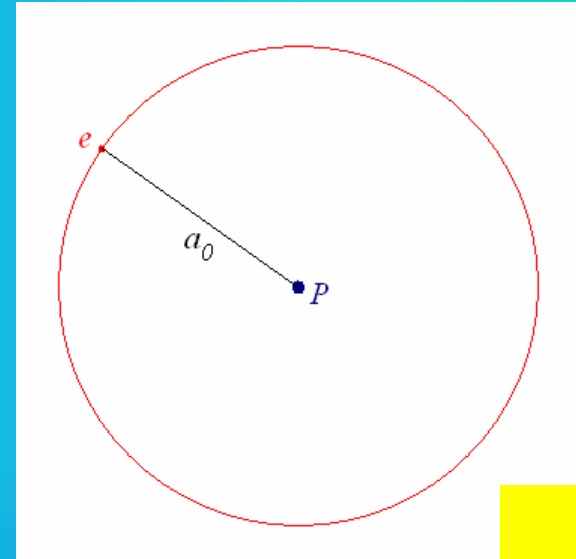




$$P(t) = \frac{2}{3} \frac{q^2}{c^3} |a(t)|^2$$

$$r^3(t) = r_0^3 - 9Z(c^3 T^3) \frac{t}{T}$$

$$T = \frac{2}{3} \frac{q^2}{mc^3} \cong 0.6 \cdot 10^{-23} \text{ sec}$$

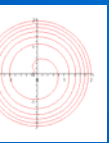


$$a = \frac{v^2}{r}$$

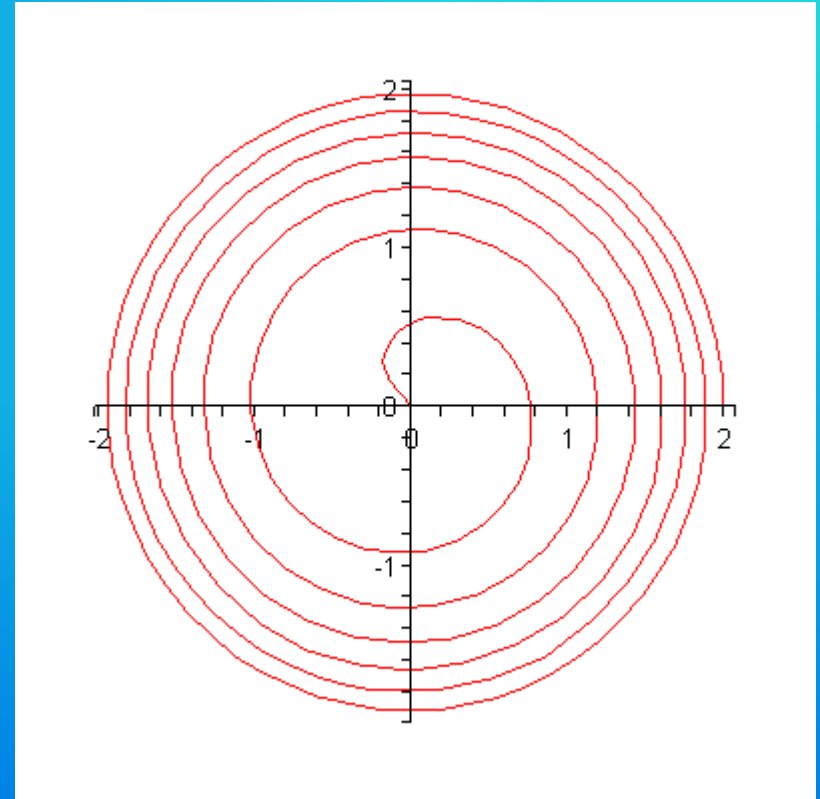
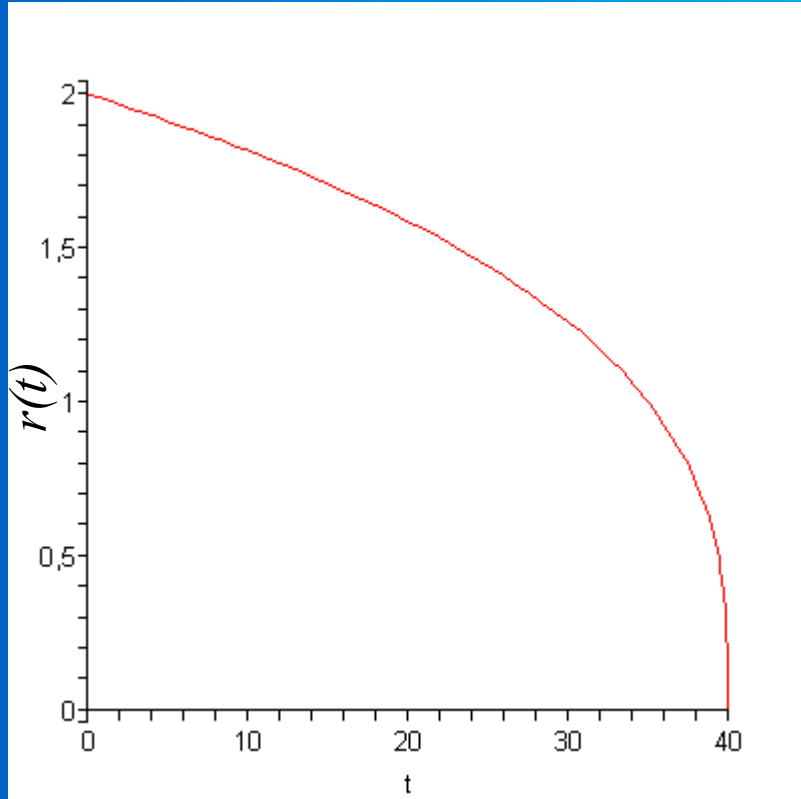
Accelerazione centripeta

Distanza in funzione del tempo

Energia irradiata per unità di tempo (potenza)



La traiettoria di una carica accelerata che irradia



Le basi concettuali della Meccanica Quantistica

Esiste la luna quando
nessuno la guarda?





17/06/2007

Esiste la luna?

Sospirerebbero gli amanti senza la luna?



- La luna indubbiamente fa sospirare gli amanti e abbaiare i cani
- La luna causa la marea: a Portishead (UK) l'ampiezza della marea è di 16 m; a Saint-Malo (Fr) 13 m
- La luna provoca un movimento dell'asse della terra, detto nutazione, con un periodo di circa 19 anni

Il sistema solare

- Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano, Nettuno, Plutone
- Urano, benché visibile a occhio nudo, venne *scoperto* nel 1781
- Nettuno è stato scoperto da piccole variazioni dell'orbita di Urano il 23.IX.1846





Ammasso della Vergine

17/06/2007

Esiste la luna?

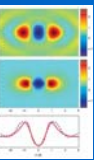
12

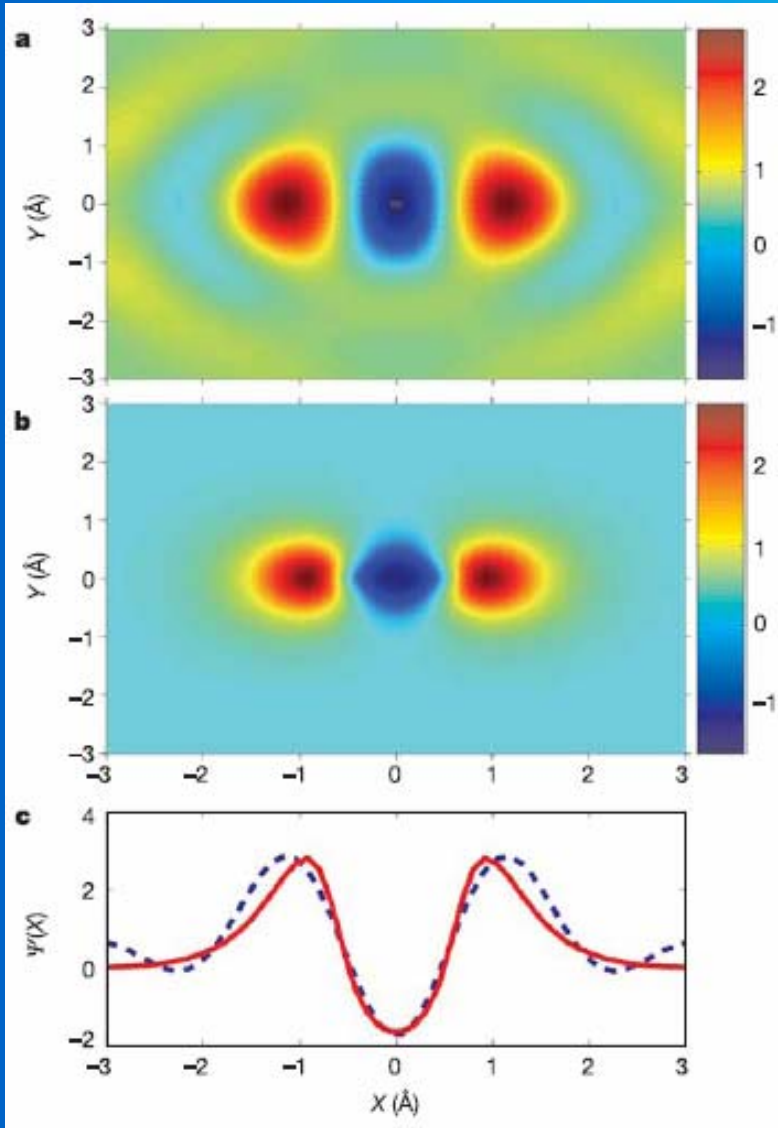


Ammasso di Galassie della Chioma

Domande oziose

- Esiste la luna quando nessuno la guarda?
- Sospirerebbero gli amanti senza la luna?
- Come si distingue il mondo *reale* da quello dei sogni?
- La velocità del pensiero può essere maggiore di quella della luce?
- Perché non esiste l'anno zero?



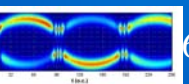


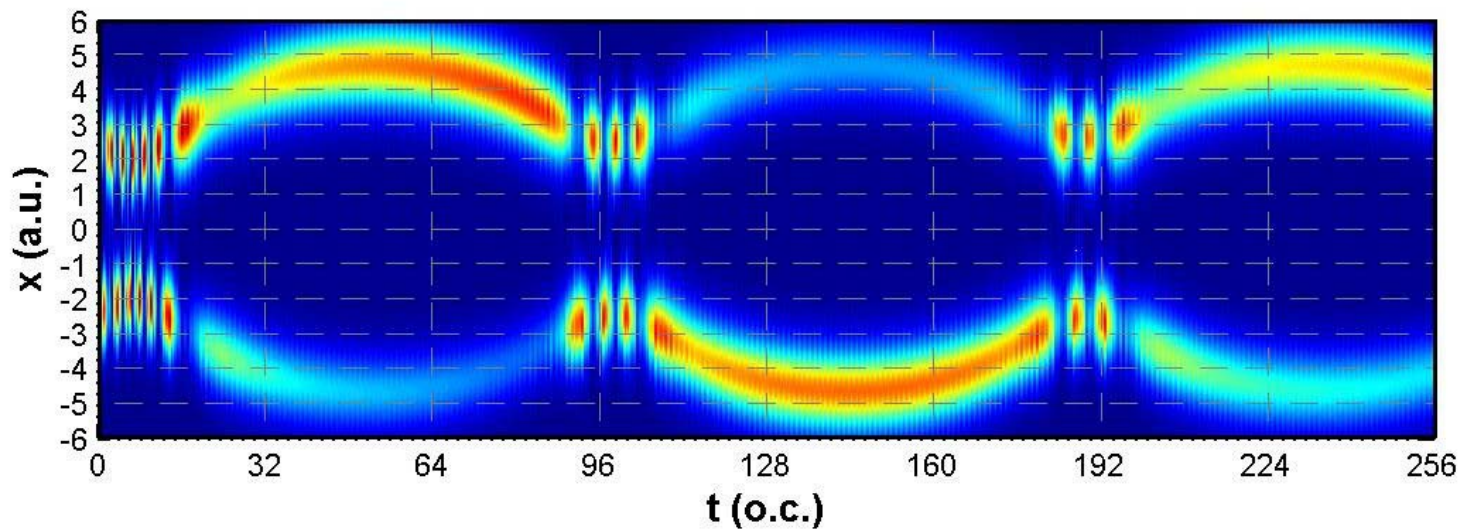
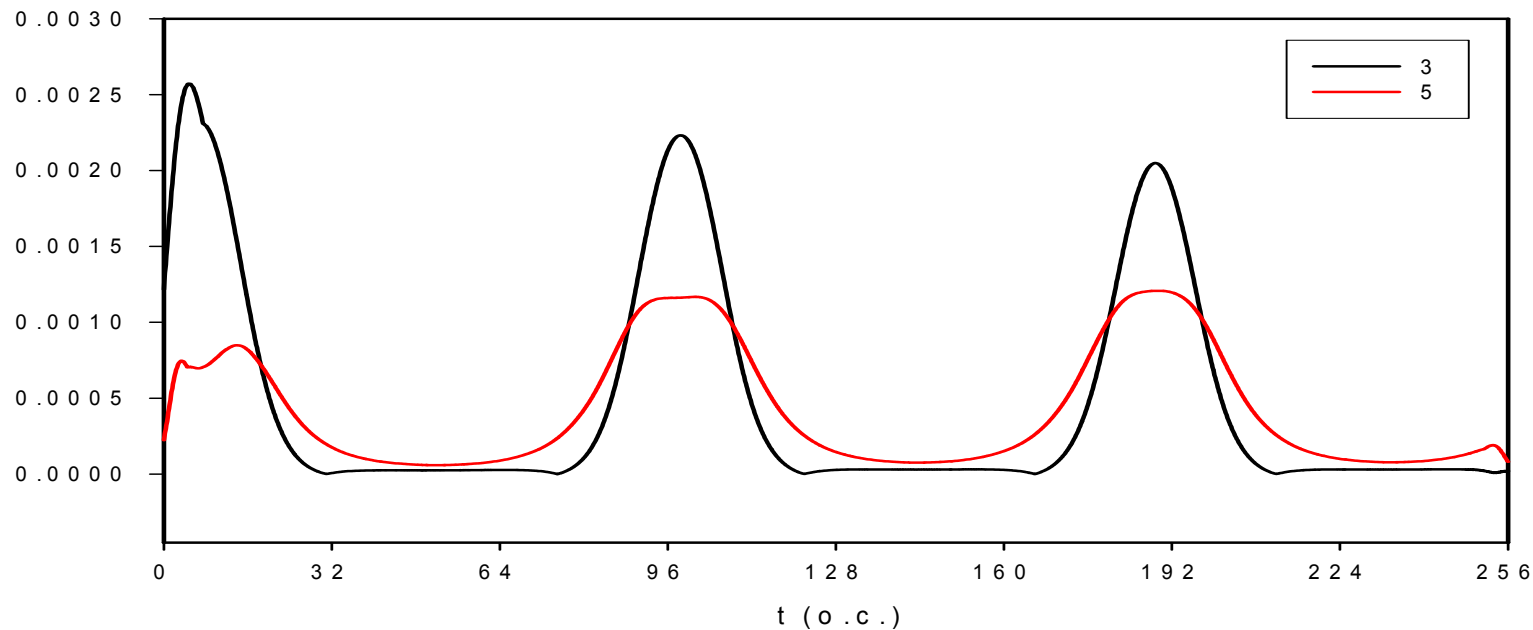
Questa è la cosa più vicina alla *fotografia*¹ di un elettrone che la natura **ci permetta** di ottenere.

- a) sperimentale
- b) calcolato
- c) confronto fra a e b lungo l'asse

L'esperimento è stato condotto illuminando una molecola di azoto e osservando la radiazione emessa dalla molecola

¹ in realtà è una TAC

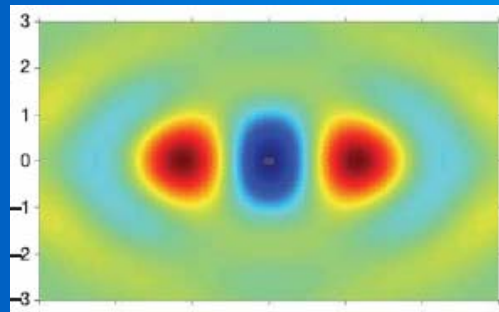




$9.1 \cdot 10^{-28} \text{ g} \approx 10^{-27} \text{ g}$
 $= 1.99 \cdot 10^{31} \text{ g} \approx 10^{31} \text{ g}$
 $\approx 10^{11} M_{\odot} \approx 10^{44} \text{ g} \approx 10^{71} m_{\text{p}}$

06/2007

Esiste la luna?



$$m_e = 9.1 \cdot 10^{-28} \text{ g} \approx 10^{-27} \text{ g}$$

$$M_s = 1.99 \cdot 10^{33} \text{ g} \approx 10^{33} \text{ g}$$

$$M_G \approx 10^{11} M_s \approx 10^{44} \text{ g} \approx 10^{71} m_e$$



Proprio perché il comportamento atomico è così diverso dalla comune esperienza, è assai difficile abituarvisi, ed esso appare strano e misterioso a chiunque, sia al principiante, sia al fisico ormai sperimentato. Persino gli esperti non lo capiscono nel modo che essi desidererebbero, ed è assai ragionevole che non ci riescano, poiché tutto quanto riguarda la diretta esperienza e l'intuizione umana si riferisce a oggetti grandi.



Storicamente la meccanica quantistica nacque per descrivere il comportamento degli atomi

Proprio perché il comportamento atomico è così diverso dalla comune esperienza, è assai difficile abituarsi, ed esso appare strano e misterioso a chiunque, sia al principiante, sia al fisico ormai sperimentato. Persino gli esperti non lo capiscono nel modo che essi desidererebbero, ed è assai ragionevole che non ci riescano, poiché tutto quanto riguarda la diretta esperienza e l'intuizione umana si riferisce a oggetti grandi¹.

Per cui se alla fine della nostra chiacchierata vi lascio con le idee confuse magari vuol dire che sono stato chiaro

¹R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands: la fisica di Feynman

Operativismo



Se noi vogliamo descrivere il moto di un punto materiale, dobbiamo dare i valori delle sue coordinate in funzione del tempo. Orbene, dobbiamo avere ben chiaro in testa che una descrizione matematica di questo tipo non ha alcun significato fisico se non abbiamo chiaro quello che intendiamo con *tempo*. Dobbiamo tenere presente che tutti i nostri giudizi in cui il tempo ha un ruolo sono sempre giudizi di eventi simultanei. Se, per esempio, io dico *Quel treno arriva qui alle ore 7*, io intendo qualcosa del tipo: *Il puntamento della lancetta piccola del mio orologio al 7 e l'arrivo del treno sono eventi simultanei*.

A. Einstein: *On the Electrodynamics of Moving Body*, Annalen der Physik **17**, (1905).

È ovvio che il vero significato di un termine va cercato esaminando come un uomo lo usa, non cosa ne dice.



zitto e
misura!

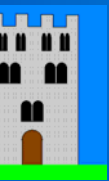
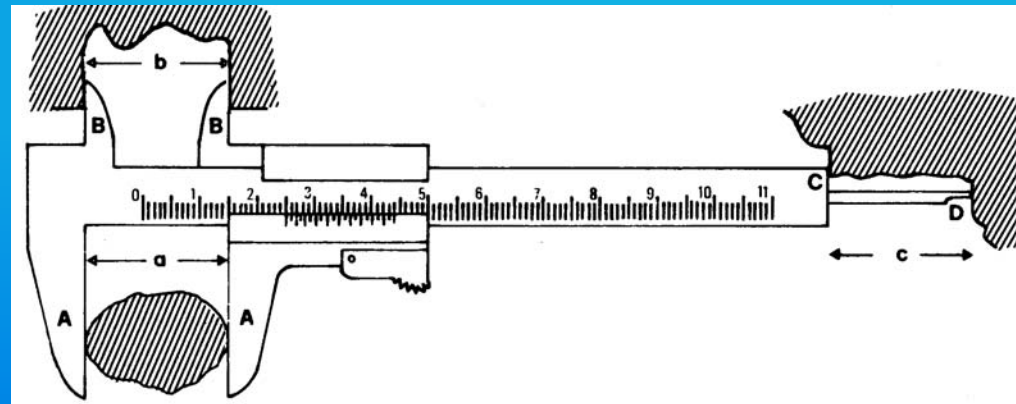
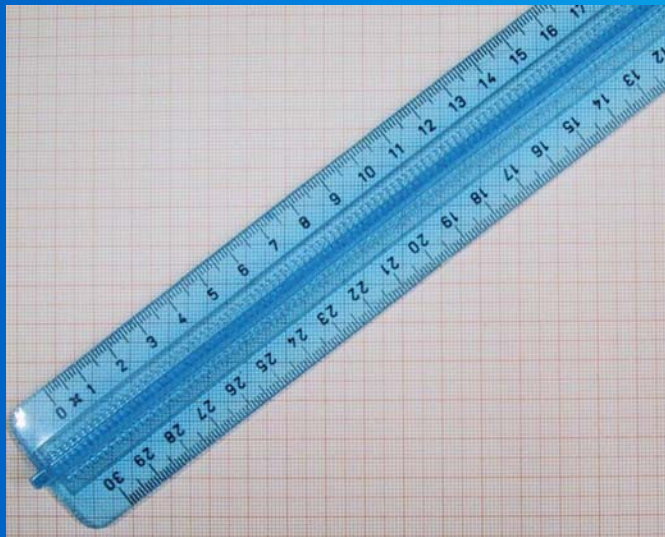
Cosa intendiamo per lunghezza di un oggetto? Evidentemente sappiamo che cosa intendiamo per lunghezza se possiamo dire qual è la lunghezza di qualunque oggetto, e al fisico non occorre niente di più. Per trovare la lunghezza di un oggetto, dobbiamo compiere operazioni fisiche. Il concetto di lunghezza risulta pertanto fissato quando sono fissate le operazioni mediante cui la lunghezza si misura; vale a dire, il concetto di lunghezza implica né più né meno che il gruppo di operazioni con cui la lunghezza si determina. In generale, per concetto noi non intendiamo altro che un gruppo di operazioni; il concetto è sinonimo del corrispondente gruppo di operazioni.

P. W. Bridgman: *La logica della Fisica Moderna*,
Boringhieri (Torino) (1977)

In altre parole la distanza si definisce spiegando come si usa il righello!

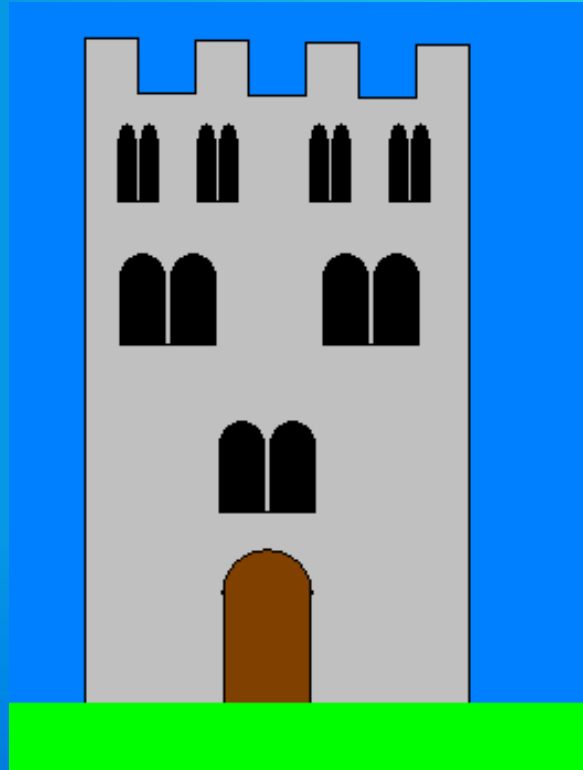
Misura della lunghezza

Una distanza si misura con un metro. Il metro è un'asta rigida. Il processo di misura consiste nel riportare la lunghezza dell'asta lungo la distanza e vedere quante volte c'entra.



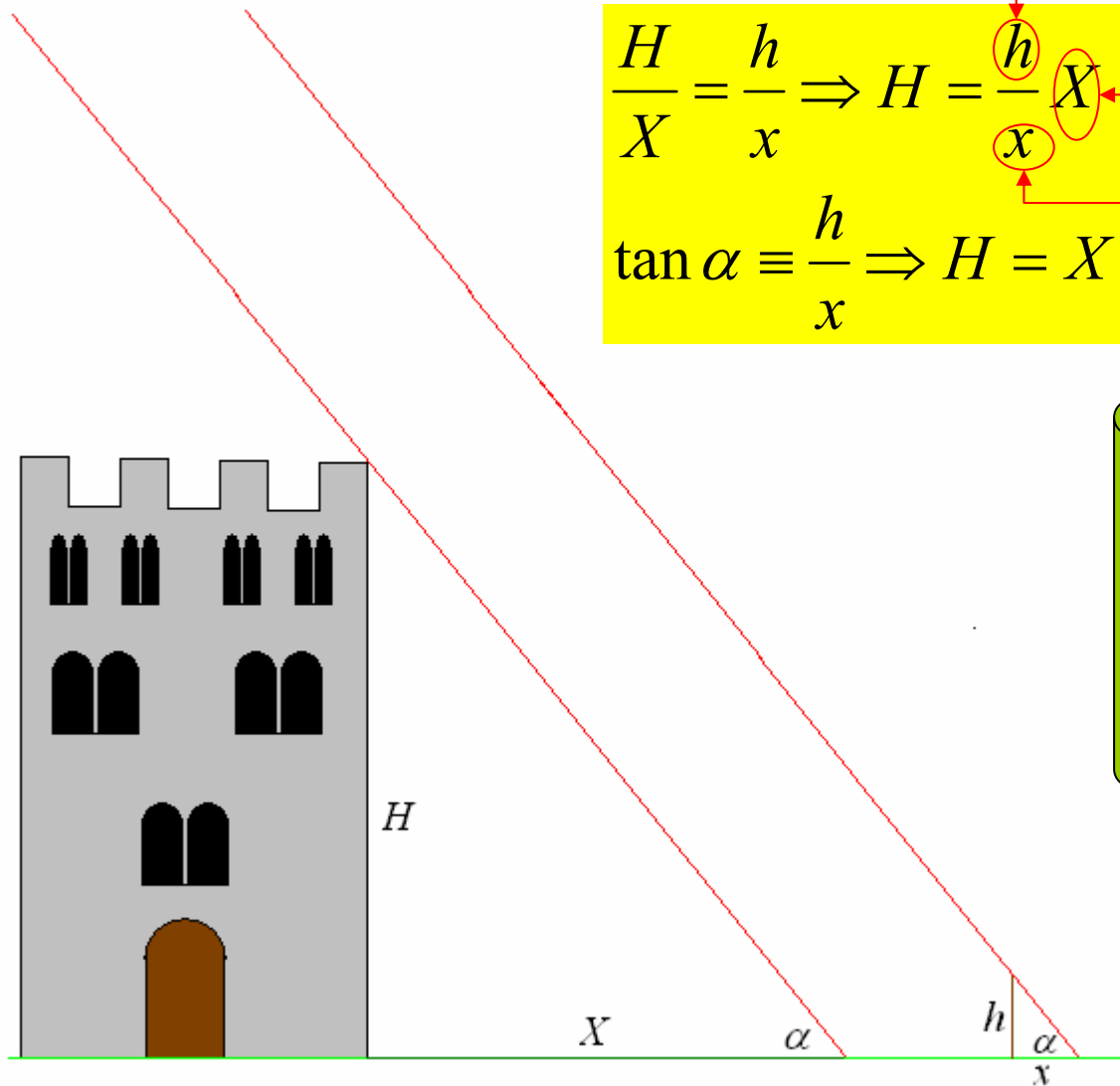


Ma come si misura l'altezza di una torre senza rischiare l'osso del collo?



/06/2007

Esiste la luna?



$$\frac{H}{X} = \frac{h}{x} \Rightarrow H = \frac{h}{x} X$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{x} \Rightarrow H = X \tan \alpha$$

misurati

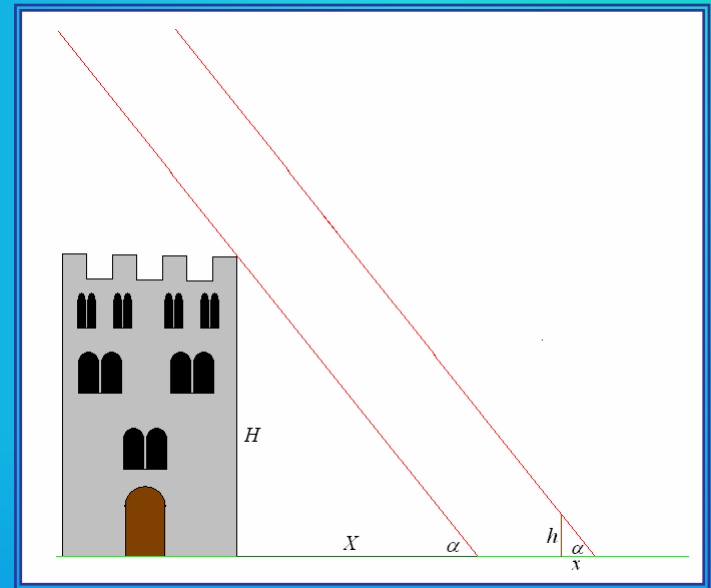
Tutto vero se la somma degli angoli interni di un triangolo è 180° .
Cioè se vale la geometria euclidea.

Esercizio per casa:
prendete un mappamondo e disegnate un triangolo con vertici il polo e due punti sull'equatore. Quanto fa la somma degli angoli interni?



Misurare l'altezza di una torre con un metodo trigonometrico definisce lo stesso concetto di distanza del metodo tradizionale di vedere quante volte c'entra un metro?

Come si misura la distanza di una stella? E di una galassia?
Come si misura lo spessore della zampa di una zanzara?





Inoltre un qualsiasi processo di misura impone una perturbazione del sistema da misurare: così misurare la temperatura di un oggetto impone che si metta a contatto il termometro con l'oggetto stesso: l'oggetto dunque cambia la sua temperatura.

Tuttavia, la speranza è che si possa sempre inventare uno strumento che riduca a quantità piccole a piacere la perturbazione del sistema da misurare.

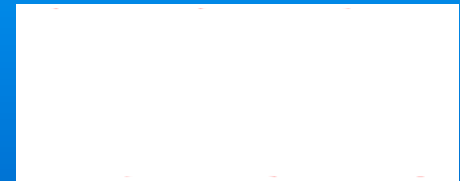
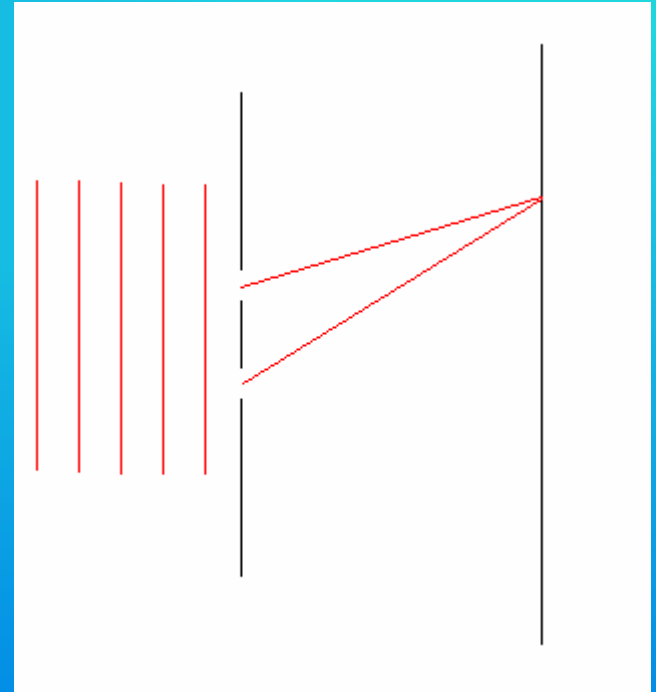


Definizione operativa della posizione di un oggetto

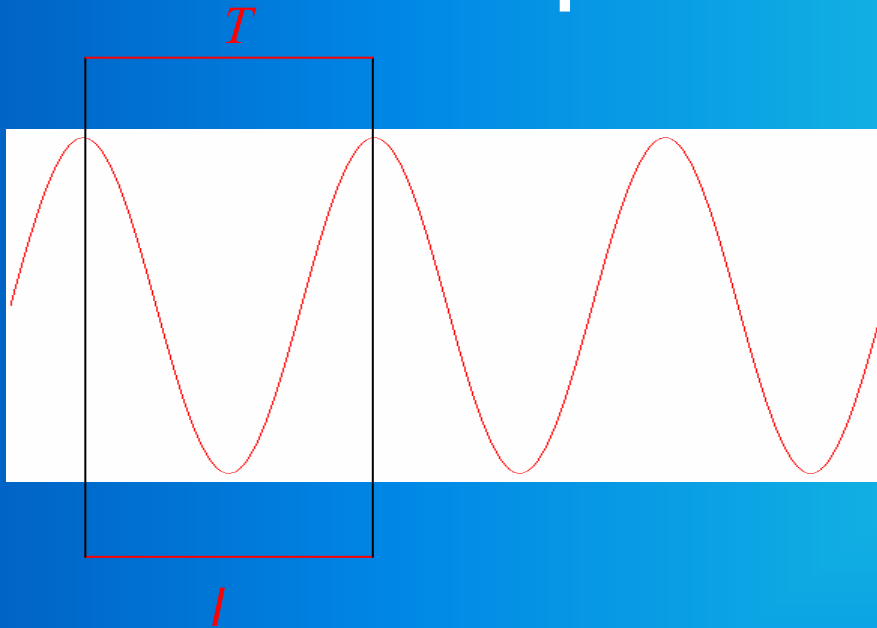
- Si accende la luce
- Si guarda dove si trova l'oggetto in questione
- Si misura la distanza dell'oggetto da una serie di altri corpi supposti immobili e che fungono da riferimento
- Per misurare la velocità occorre misurare due posizioni a distanza di tempo molto piccola

$$v = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1}$$

ma allora cosa è la luce?



Proprietà della luce



- Con che precisione si può misurare la posizione di un corpo usando la luce accesa?
- Se la luce è un'onda: essa permette di misurare la posizione con una precisione pari alla sua lunghezza d'onda λ
- Naturalmente non si possono vedere dettagli dell'oggetto più piccoli di λ
- Adunque basta usare λ piccole per aumentare la precisione

$$E(x, t) = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \lambda = cT$$

$$I = \frac{c}{8\pi} E_0^2$$

infatti ci
abbronziamo

La frequenza (angolare) è legata al colore della luce

Spettro elettromagnetico

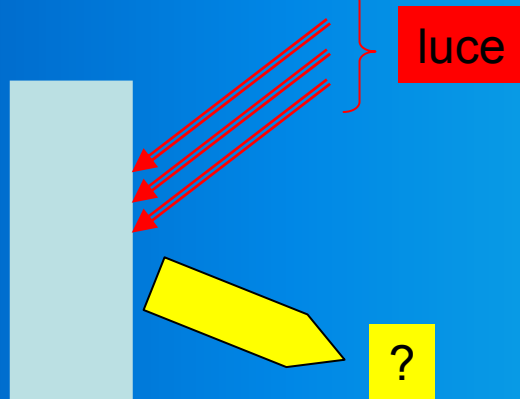
ν (Hz)	λ (cm)	E (eV)	nome
1	$3 \cdot 10^{10}$	$4.136 \cdot 10^{-15}$	Infrarosso
10^3	$3 \cdot 10^7$	$4.136 \cdot 10^{-12}$	
10^6	$3 \cdot 10^4$	$4.136 \cdot 10^{-9}$	
10^9	$3 \cdot 10$	$4.136 \cdot 10^{-6}$	
10^{12}	$3 \cdot 10^{-2}$	$4.136 \cdot 10^{-3}$	
10^{13}	$3 \cdot 10^{-3}$	$4.136 \cdot 10^{-2}$	
10^{14}	$3 \cdot 10^{-4}$	$4.136 \cdot 10^{-1}$	
$2.4 \cdot 10^{14}$	$1.25 \cdot 10^{-4}$	1	Infrarosso
$4.3 \cdot 10^{14}$	$6.98 \cdot 10^{-5}$	1.78	Ottico
$6.9 \cdot 10^{14}$	$4.35 \cdot 10^{-5}$	2.85	Ottico
10^{15}	$3 \cdot 10^{-5}$	4.136	Ultravioletto
10^{17}	$3 \cdot 10^{-7}$	$4.136 \cdot 10^2$	Ultravioletto
10^{18}	$3 \cdot 10^{-8}$	$4.136 \cdot 10^2$	Raggi X

La luce visibile



$\lambda(\text{cm})$	$\nu(\text{Hz})$	$E(\text{eV})$	colore
$7.00 \cdot 10^{-5}$	$4.283 \cdot 10^{14}$	1.771	rosso
$6.30 \cdot 10^{-5}$	$4.759 \cdot 10^{14}$	1.967	rosso arancio
$6.00 \cdot 10^{-5}$	$4.996 \cdot 10^{14}$	2.066	rosso arancio
$5.90 \cdot 10^{-5}$	$5.081 \cdot 10^{14}$	2.101	arancio
$5.70 \cdot 10^{-5}$	$5.259 \cdot 10^{14}$	2.174	giallo
$5.50 \cdot 10^{-5}$	$5.451 \cdot 10^{14}$	2.253	giallo verde
$5.10 \cdot 10^{-5}$	$5.878 \cdot 10^{14}$	2.430	verde
$5.00 \cdot 10^{-5}$	$5.996 \cdot 10^{14}$	2.479	blu verde
$4.80 \cdot 10^{-5}$	$6.246 \cdot 10^{14}$	2.582	blu verde
$4.50 \cdot 10^{-5}$	$6.662 \cdot 10^{14}$	2.754	blu
$4.20 \cdot 10^{-5}$	$7.138 \cdot 10^{14}$	2.951	blu violetto
$4.00 \cdot 10^{-5}$	$7.495 \cdot 10^{14}$	3.098	violetto
$3.80 \cdot 10^{-5}$	$7.889 \cdot 10^{14}$	3.262	violetto

$$E(\text{eV}) = \frac{1.23 \cdot 10^{-14}}{\lambda(\text{cm})} = 4.136 \cdot 10^{-15} \nu(\text{Hz})$$



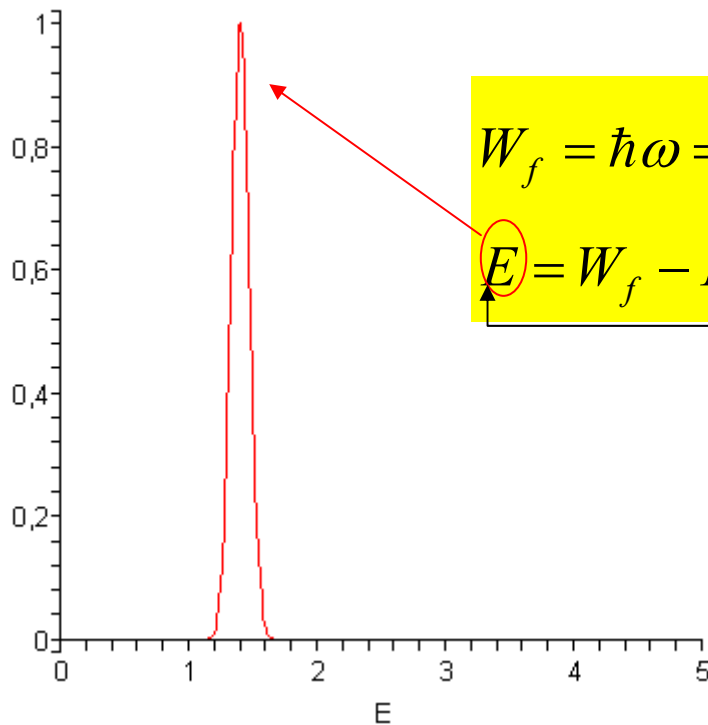
$$E(x, t) = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \lambda = cT$$

$$I = \frac{c}{8\pi} E_0^2$$

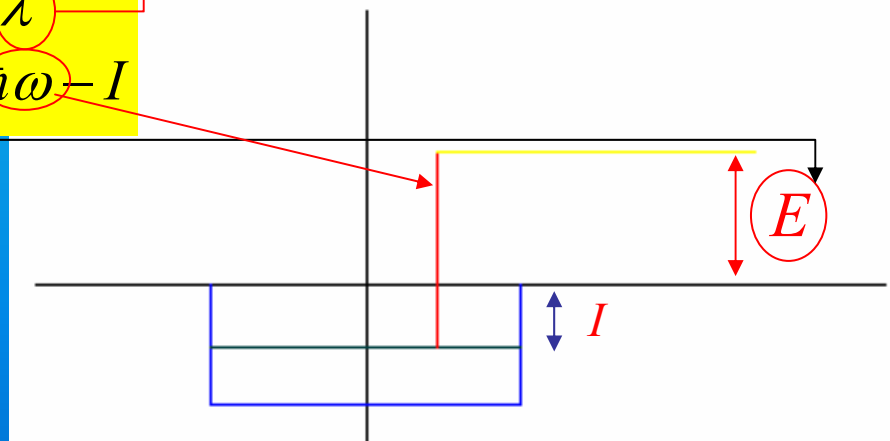


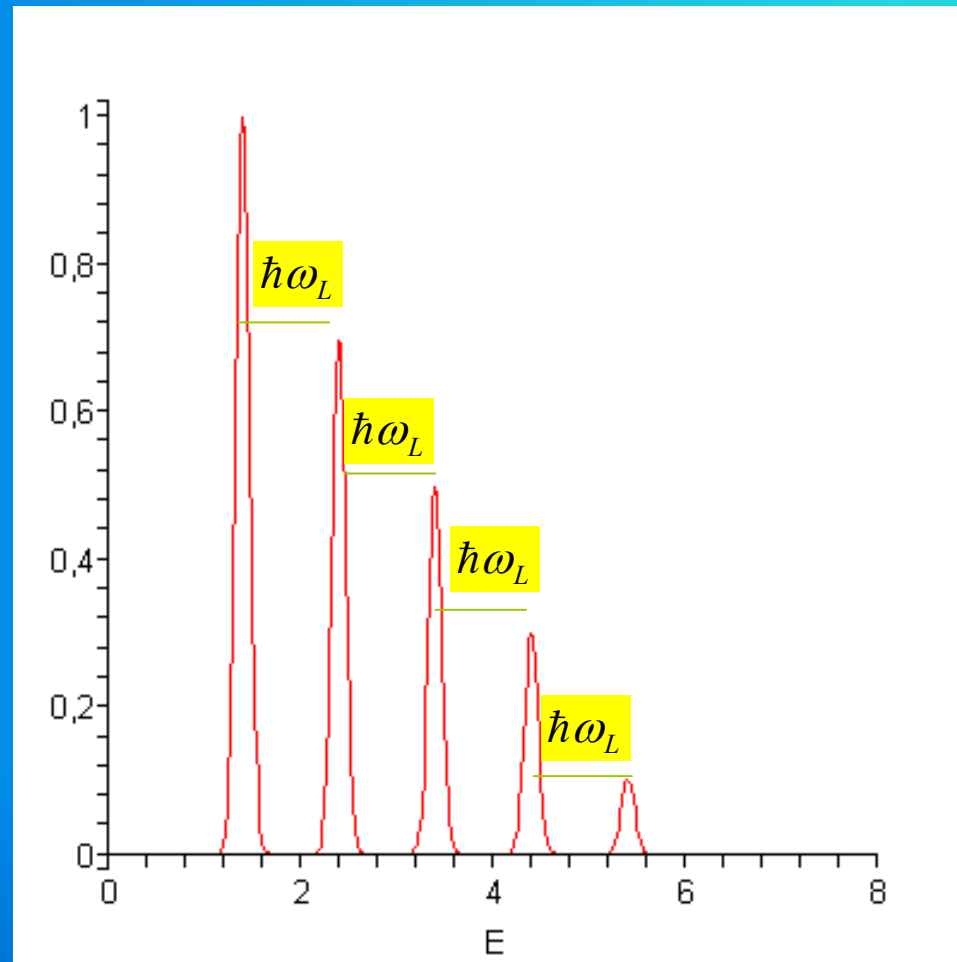
Bedda matri! I è a denominatore



$$W_f = \hbar \omega = \hbar \frac{2\pi c}{\lambda}$$

$$E = W_f - I = \hbar \omega - I$$





Quantità di moto della luce



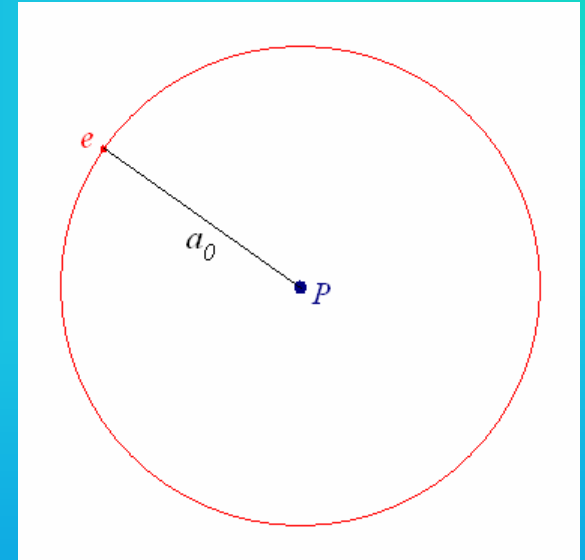
- È noto dalla fisica classica che la luce trasporta quantità di moto
- In meccanica relativistica si ha:

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$
$$p = \frac{E}{c} = \frac{\hbar \omega}{c}$$

La massa (*a riposo*) del fotone è nulla

Un po' di conti

Le dimensioni dell'atomo di idrogeno sono dell'ordine di $a_0 = 5 \cdot 10^{-9}$ cm dove a_0 è il raggio di Bohr. Luce di questa lunghezza d'onda ha energia pari a 25 KeV cioè un po' meno di 2.000 volte l'energia di ionizzazione dell'idrogeno. Idrogeno illuminato con questa luce viene subito ionizzato e quindi distrutto come atomo: il tentativo di vedere ha distrutto l'oggetto da vedere.



Questa descrizione non va bene

È consuetudine immaginare l'elettrone come una pallina carica di raggio $r_e = 2.82 \cdot 10^{-13}$ cm. Per risolvere un tale raggio occorre luce di lunghezza d'onda al massimo pari a r_e a cui corrisponde l'incredibile energia dei fotoni di circa $0.4 \cdot 10^9$ eV. Per creare un elettrone occorre un'energia di $0.5 \cdot 10^6$ eV per cui tentativo di vedere un elettrone ci impone la creazione di migliaia di elettroni.

La seconda legge di Newton



$$\mathbf{f} = m\mathbf{a}$$

$$\mathbf{v}(t) = \mathbf{v}_0 + \int_{t_0}^t \mathbf{a}(t') dt'$$

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}_0 + \int_{t_0}^t \mathbf{v}(t') dt'$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2$$

Se l'accelerazione è costante

Necessità di una nuova fisica



Il presente articolo cerca di stabilire una base per la meccanica quantistica teorica fondata esclusivamente su relazioni fra quantità che in principio sono osservabili.

W. Heisenberg (1925)

In altre parole preferisco non parlare di quello che non si può vedere o, almeno, nessuno mi può costringere a parlarne

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\hbar = 1.0546 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec}$$

$$p_x = mv_x$$

Principio negativo
Heisenberg

$$p = \hbar k$$

Principio positivo
De Broglie

Principio di de Broglie

A ogni particella libera di quantità di moto p è possibile associare un'onda di lunghezza d'onda data dalla relazione

$$p = \hbar k$$

Equazione di Schroedinger

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(\mathbf{r}, t) = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(r) \right] \psi(\mathbf{r}, t)$$

$$P(\mathbf{r}, t) = |\psi(\mathbf{r}, t)|^2 d^3r$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 u(x)}{dx^2} &= -k^2 u(x) \\ u(0) &= u(\ell) = 0 \\ k_n &= \frac{n\pi}{\ell} \\ u_n(x) &= \sin k_n x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \right] \psi(x) &= E \psi(x) \\ \frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} &= -\frac{2mE}{\hbar^2} \psi(x) \\ \psi(0) &= \psi(\ell) = 0 \end{aligned}$$

$$\frac{d^2 u(x)}{dx^2} = -k^2 u(x)$$

$$u(0) = u(\ell) = 0$$

$$k_n = \frac{n\pi}{\ell}$$

$$u_n(x) = \sin k_n x$$

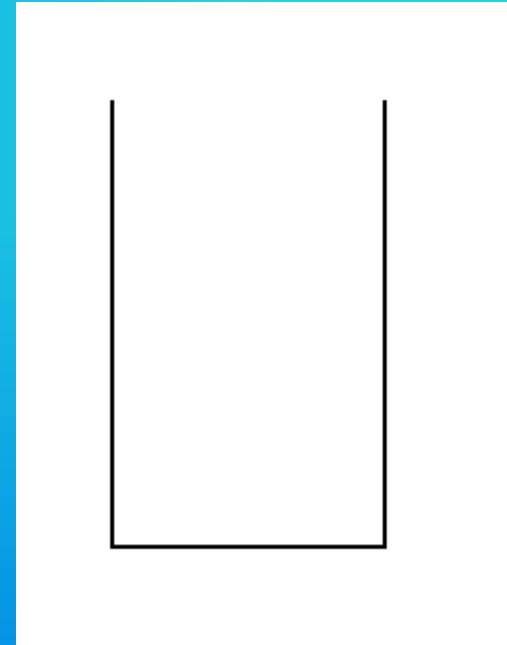
Particella in una buca

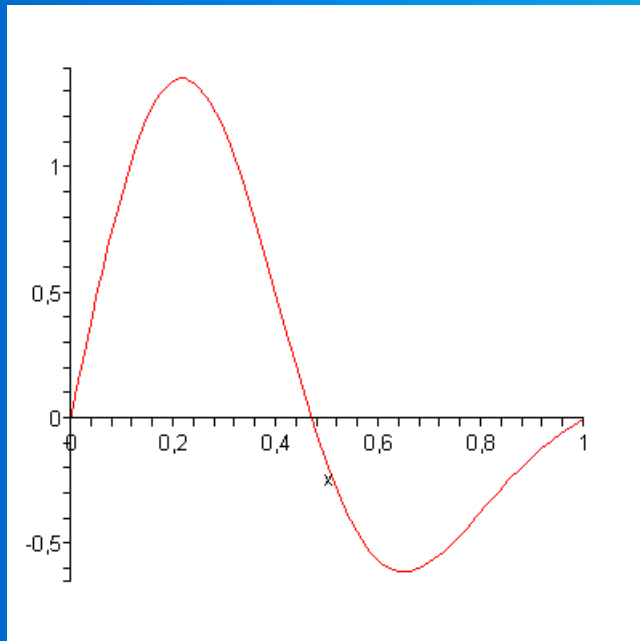
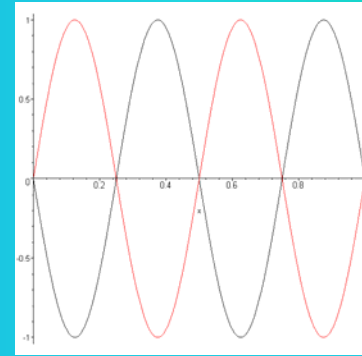
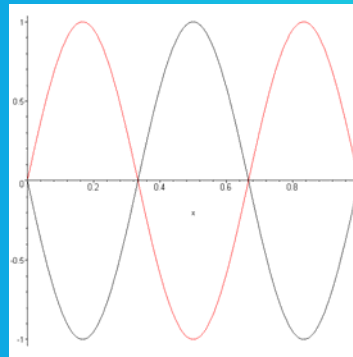
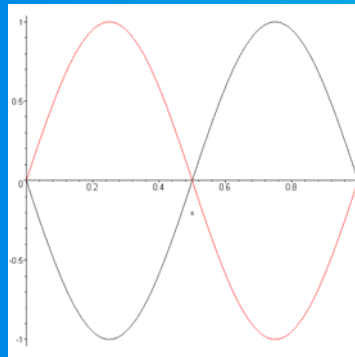
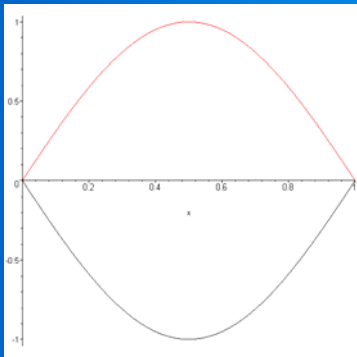
$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \right] \psi(x) = E \psi(x)$$

$$\frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} = -\frac{2mE}{\hbar^2} \psi(x)$$

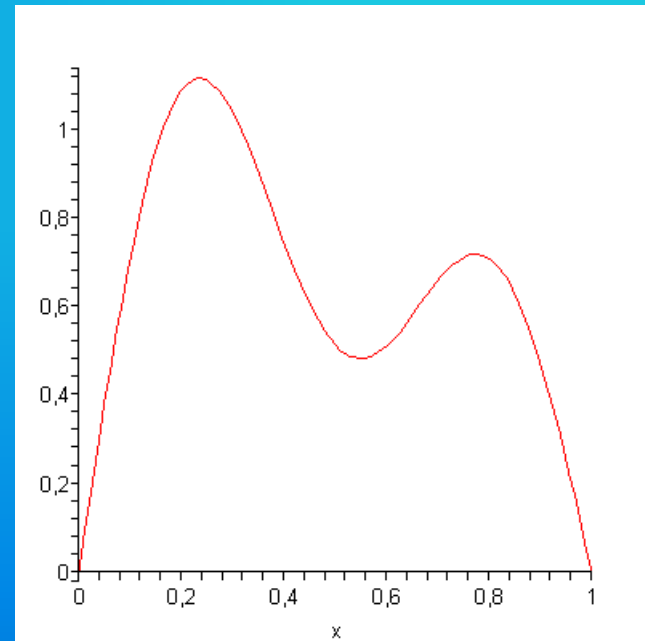
$$\psi(0) = \psi(\ell) = 0$$

$$E_n = \frac{\hbar^2 k_n^2}{2m} = \frac{\hbar^2 \pi^2 n^2}{2m\ell^2}$$

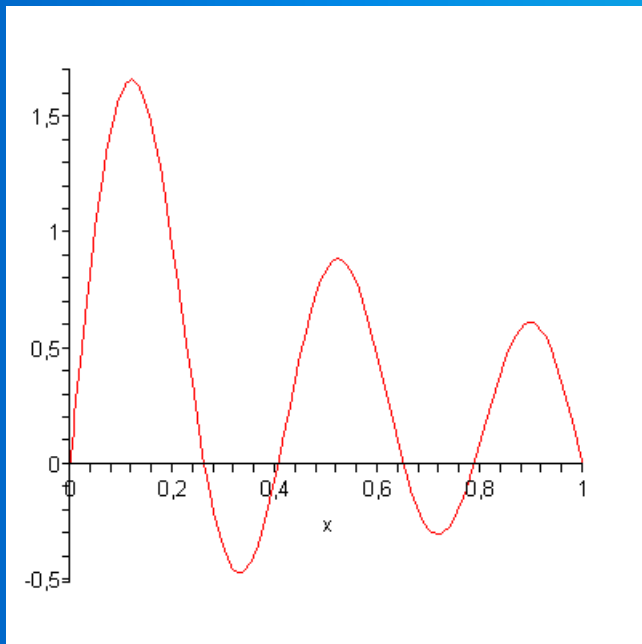




$$u(x) = 0.2 \sin(px) + 0.9 \sin(2px) + 0.3872983346 \sin(3 p x)$$



$$u(x) = 0.9 \sin(px) + 0.2 \sin(2px) + 0.3872983346 \sin(3 p x)$$



$$u(x) = 0.4\sin(\pi x) + 0.2\sin(2\pi x) + 0.3\sin(3\pi x) + 0.4\sin(4\pi x) + 0.7416198487\sin(5\pi x)$$

$$u(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n u_n(x)$$
$$P_n = |c_n|^2$$

Dopo una misura la funzione d'onda
collassa nello stato trovato:
Guardare la luna crea la luna