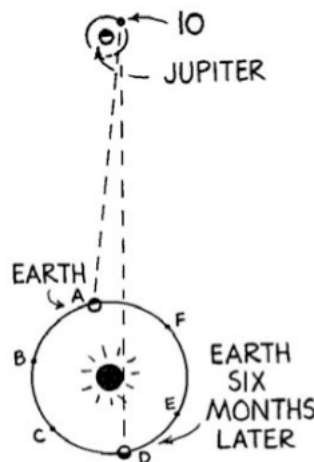


1. Nel 1675 l'astronomo danese Olaus Roemer mostro' per la prima volta che la velocità della luce e' finita. Il metodo seguito usa le misure di Cassini sul periodo orbitale della luna Io. Il tempo tra due apparizioni successive di Io dietro a Giove fu osservato essere leggermente più lungo durante i sei mesi in cui la terra si muoveva verso il punto più lontano da Giove. La somma dei ritardi durante questi sei mesi fu misurata in 22 minuti. Come si può interpretare questo risultato e stimare la velocità della luce? (Si trascuri il moto orbitale di Giove, che impiega circa 12 anni per fare un giro completo attorno al Sole).



2. Si consideri una equazione d'onda generica

$$\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2}.$$

- (a) Si mostri che funzioni arbitrarie di $x \pm Vt$ soddisfano questa equazione.
 - (b) Si dia un argomento per cui V rappresenta la velocità di propagazione delle onde (o altri disturbi) descritti dall'equazione proposta.
3. L'equazione d'onda per la componente z di un campo elettrico che si propaga lungo x é

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2},$$

dove $E_z(t, x)$ rappresenta l'ampiezza del campo elettrico.

- (a) Si mostri che questa equazione non e' invariante per trasformazioni di Galilei rispetto ad un sistema di riferimento in moto lungo l'asse x con velocità v . *Si usi la regola della catena.*
 - (b) Si mostri che ogni funzione $E_z(x + Vt)$, con $V = v \pm c$, e' soluzione della equazione trasformata.
4. Il 10 Maggio 2009 il Gamma Ray Burst Monitor ed il Large Area Telescope a bordo del satellite Fermi hanno visto un getto molto breve ma intenso da GRB 090510, situato ad una distanza stimata in $d = 1.8 \cdot 10^{28} \text{ cm}$. Fotoni a varie energie, che vanno da valori inferiori al MeV fino a 31 GeV , arrivano quasi simultaneamente. L'analisi dei dati porta ad un limite sulla differenza di tempo di arrivo dei fotoni stimata in $\Delta T / \Delta E < 30 \text{ ms/GeV}$.

- (a) Quale limite si inferisce sulla differenza di velocità delle radiazioni al variare della frequenza?
 - (b) Alcuni tentativi di proporre una teoria quantistica della gravità richiedono che a basse energie la velocità della luce vari in funzione dell'energia come $\Delta c/c \sim \Delta E/E_0$, dove E_0 è la scala di energia a cui gli effetti quantistici diventano rilevanti. Si stimi questa scala di energia.
 - (c) Dalla stessa osservazione la differenza di tempo tra un particolare getto a meno di 1 MeV ed il getto a 31 GeV è pari a $\Delta T < 10\text{ ms}$. Si riottengano le stime per Δc e E_0 per questo caso.
5. Un pilota vola verso est, da A a B e torna indietro. Se u è la sua velocità e l la distanza tra A e B , il tempo di viaggio totale sarà pari a $2l/u$.
- (a) Si supponga che soffi un vento fisso da est con velocità v . Quanto vale il tempo totale di viaggio t_1 ?
 - (b) Se il vento proviene da nord, come cambia ulteriormente il tempo totale t_2 ?
6. Si espanda il fattore relativistico $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ per piccoli valori di v .
7. Nell'esperimento di Michelson–Morley, di quanti diametri atomici si sarebbe dovuto contrarre uno dei due bracci, seguendo l'ipotesi di Lorentz–Fitzgerald? Si prenda come lunghezza del braccio 2.8 m e 0.1 nm come diametro atomico tipico.