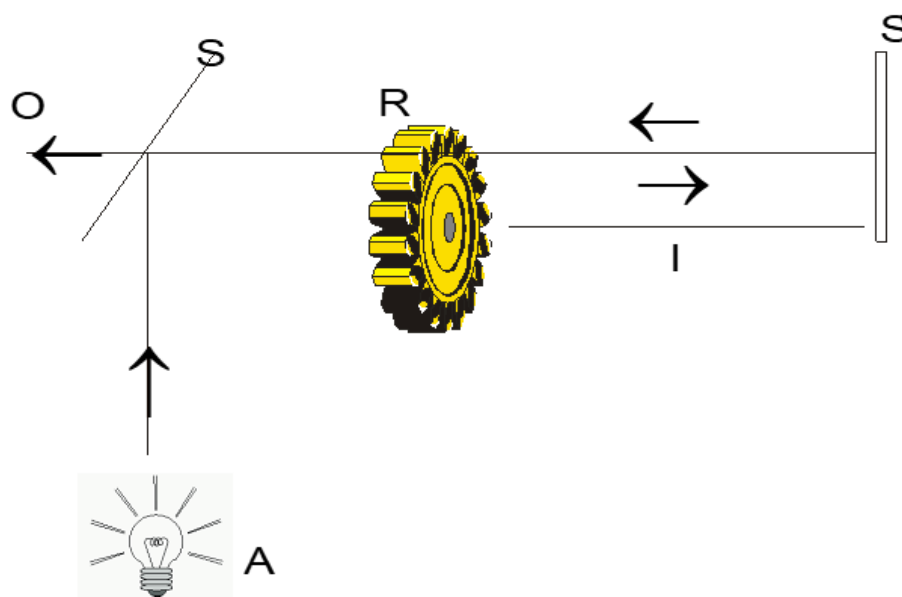


GIOVANNI DI CECCA SALVATORE DI CECCA



ESPERIMENTI PER CALCOLARE LA VELOCITÀ DELLA LUCE

© 1995 - Giovanni Di Cecca, Salvatore Di Cecca

© 2020 - MONITORE NAPOLETANO - www.monitorenapoletano.it

Direttore Responsabile: Giovanni Di Cecca

Collana dicecca.net - Computer Science

Anno I - № 3 - Supplemento al Numero 145 - Marzo 2020

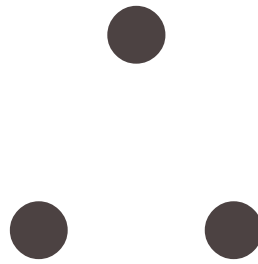
Periodico Mensile Registrato presso il Tribunale di Napoli № 45 dell'8
giugno 2011

ISSN: 2239-7035

Indice

<u>Introduzione</u>	<u>5</u>
<u>La velocità di propagazione della luce</u>	<u>7</u>
• <u>Galileo Galilei</u>	<u>7</u>
• <u>Olaf Roemer</u>	<u>8</u>
• <u>Armand Fizeau</u>	<u>9</u>
• <u>Jean Focault</u>	<u>11</u>
• <u>Albert Michelson</u>	<u>12</u>
• <u>Maxwell</u>	<u>14</u>
<u>Il superamento dell'Etere</u>	<u>15</u>
• <u>Huygens e Maxwell</u>	<u>16</u>
<u>Einstein e la teoria corpuscolare</u>	<u>17</u>
• <u>Postulato di Einstein</u>	<u>18</u>
<u>Bergstrand</u>	<u>19</u>
<u>Essen</u>	<u>20</u>
<u>La velocità di propagazione della luce</u>	<u>21</u>

--



INTRODUZIONE

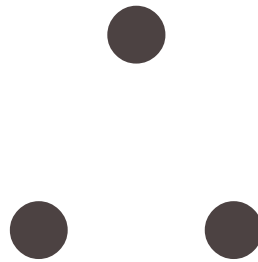
Fin dall'antica Grecia sono state formulate varie ipotesi riguardo la natura della luce dai vari pensatori quali Democrito, Empedocle ed Aristotele; ma solo dopo la metà del XVII secolo furono elaborate le prime teorie scientifiche: nel 1669 la teoria corpuscolare di Newton e nel 1675 la teoria ondulatoria di Huygens.

Secondo la teoria corpuscolare di Newton, la luce è composta da un insieme di piccolissime particelle, emesse dai corpi luminosi e soggette alle leggi della meccanica, che penetrando nell'occhio forniscono la sensazione luminosa.

Queste particelle si propagano per inerzia in linea retta attraverso i corpi trasparenti e subiscono un'azione di rimbalzo, regolata dalle leggi dei corpi elastici quando urtano contro le superfici riflettenti.

Newton spiegò la rifrazione affermando che il mezzo più denso esercita una maggiore forza attrattiva sulle particelle aumentando la loro velocità; la velocità della luce dovrebbe quindi aumentare nel passaggio da un mezzo meno rifrangente ad uno più rifrangente.

A questa teoria si contrappose la teoria ondulatoria di Huygens secondo la quale la luce è causata da un moto ondulatorio della sorgente luminosa che si propaga nel mezzo circostante tramite onde; al contrario di Newton, Huygens sosteneva che la velocità della luce è maggiore nei mezzi meno rifrangenti.



La velocità di propagazione della luce

Per calcolare la velocità di propagazione della luce nel corso dei secoli furono effettuati vari esperimenti.

Galileo Galilei

Un primo tentativo fu compiuto da Galilei nel 1610; questo è stato effettuato da due persone entrambe munite di una torcia e un cronometro: il primo accende la torcia e contemporaneamente fa partire il cronometro, il secondo non appena vede la luce emanata dalla prima torcia risponde accendendo la sua in modo che il primo blocchi il cronometro quando gli giunge il segnale di risposta.

Questo tentativo a causa della lentezza dei riflessi umani non portò ad alcun risultato; nel 1667 Giovanni Alfonso Borelli, accademico del Cimento, ripeté l'esperimento sostituendo uno specchio al posto del secondo sperimentatore in modo da velocizzare l'esperimento stesso. Ma anche in questo caso non si ebbero esiti positivi.

Per i successivi esperimenti risultarono fondamentali gli studi del matematico francese Pierre Fermat che ispirandosi all'osservazione di Erone di Alessandria (che aveva constatato che la luce tra le infinite traiettorie possibili sceglie sempre la più breve) stabilì che la luce dovendo andare da un punto A ad un punto B, fra gli infiniti percorsi possibili sceglie sempre quello che richiede meno tempo.

Sul principio di Fermat si basano le leggi della riflessione e della rifrazione.

Olaf Roemer

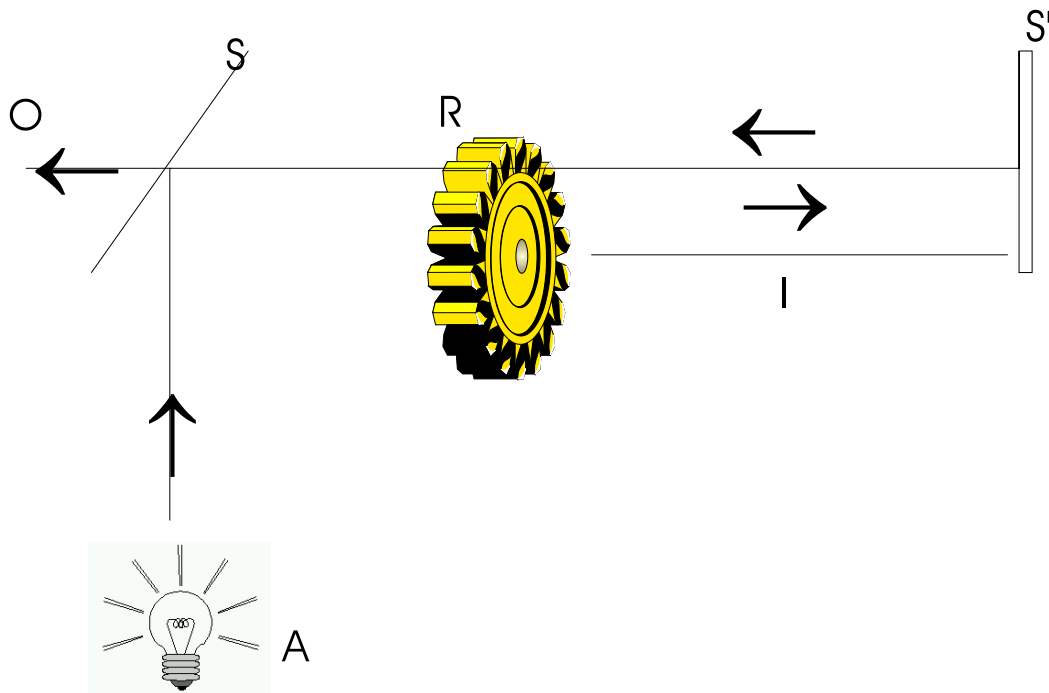
Il primo concreto esperimento per calcolare la velocità della luce fu effettuato dal danese Olaf Roemer che nel 1676 osservò il movimento dei satelliti di Giove: durante ogni rivoluzione i satelliti scomparivano all'ombra del pianeta in modo tale che gli intervalli fra due eclissi non erano costanti ma avevano spesso ritardi ed anticipi. I ritardi corrispondevano al momento in cui la Terra si allontanava da Giove, e gli anticipi si verificavano quando questa era più vicina a quest'ultima.

Roemer per primo comprese che il ritardo era dovuto al tempo più lungo impiegato dalla luce per percorrere la maggiore distanza. Questo dimostra che la luce ha una velocità finita e quindi impiega tempi più lunghi per percorrere distanze maggiori.

Per calcolare la velocità della luce Roemer divise la lunghezza del diametro dell'orbita terrestre per la somma dei ritardi dei satelliti (pari a 1320 secondi) ottenendo il seguente valore: $c = 2,1 \cdot 10^8$ m/s ovvero circa 200.000 km/s, un valore molto inferiore a quello noto oggi; questo errore fu causato dalle imperfezioni degli strumenti e dall'errato calcolo dell'orbita terrestre.

Armand Fizeau

I calcoli di Roemer furono perfezionati dal francese Armand Fizeau che costruì una macchina in grado di calcolare la velocità della luce. Un raggio di luce proveniente da una lampada si riflette su una lastra smerigliata S che lo fa deviare di 90°, per poi farlo passare fra i denti di una ruota R ed incontrare uno specchio S^I che lo riflette facendolo tornare indietro.



Se la ruota è ferma o ruota a bassa velocità il raggio ripassa per la stessa fenditura, ma con l'aumento della velocità di rotazione, il raggio sarà interrotto dal dente a fianco della fenditura.

La velocità della luce si può calcolare conoscendo il periodo T della rotazione della ruota, il numero N dei denti e la lunghezza del percorso del raggio.

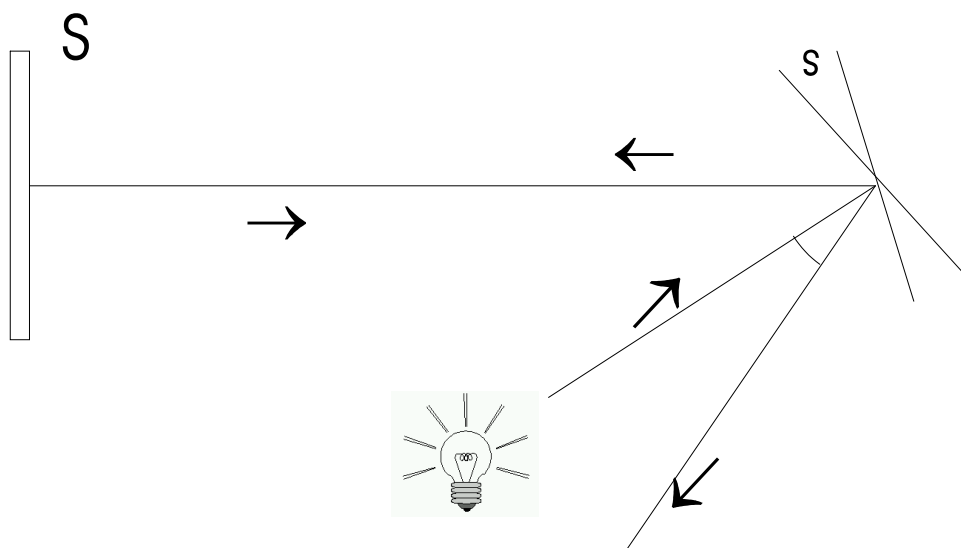
Il tempo impiegato dalla luce a percorrere 2l (l è la distanza tra la ruota e lo specchio S^I) è uguale a quello impiegato da un dente della ruota per occupare il posto della fenditura $\frac{2l}{c} = \frac{T}{2n} \Rightarrow$

$$c = \frac{4ln}{T}.$$

Risultò che la luce viaggia a 313.000 km/s, un valore molto superiore rispetto a quello calcolato da Roemer, ma comunque ancora molto lontano da quelli calcolati in seguito.

Jean Focault

L'esperimento di Fizeau fu migliorato da Jean Focault nel 1862 che, sostituendo alla ruota dentata uno specchio rotante, stabilì che la luce si propaga a 290.000km/s, un valore molto più prossimo a quello recentemente accertato.



La luce proveniente da una sorgente è riflessa verso uno specchio fisso S che la rimanda indietro. Nel frattempo lo specchio s è ruotato e rifletterà a sua volta la luce in una direzione diversa da quella della sorgente originaria.

La velocità della luce si può calcolare misurando l'angolo d'incidenza del raggio proveniente dalla sorgente e quello riflesso dal disco rotante e conoscendo la velocità di rotazione dello specchio s.

Con lo stesso esperimento Focault misurò la velocità di propagazione della luce nell'acqua constatando che in essa, questa viaggia ad una velocità pari a $\frac{3}{4}$ di quella che raggiunge nel propagarsi nell'aria. Questa scoperta rafforzò la teoria ondulatoria di Huygens per cui la velocità della luce è maggiore nei mezzi meno rifrangenti e sancì il tramonto dopo duecento anni della teoria corpuscolare di Newton che sosteneva il contrario.

Albert Michelson

L'esperienza di Foucault fu ripreso da Albert Michelson che sostituì lo specchio rotante con uno specchio ottagonale in modo da far partire la luce da una sorgente per poi farlo riflettere su tre specchi per farlo ritornare su una delle otto facce dell'ottagono; la distanza tra la sorgente e gli specchi è di circa 70 km. Cambiando gli angoli di riflessione l'immagine scompare; a questo punto aumentando la velocità di rotazione dello specchio per un certo valore n di giri al minuto la luce torna ad essere ripercipita.

Questo significa che la velocità di rotazione è tale che uno degli otto specchi viene rimpiazzato dal successivo nella stessa posizione, mentre la luce percorre la distanza di andata e ritorno

Posto uguale a $8n$ il numero degli specchi che passano per la stessa posizione in un minuto, il rapporto $\frac{1}{8n}$ è il tempo necessario perché uno specchio venga rimpiazzato nella stessa posizione dal primo. In seguito avremo:

$$t = \frac{1}{8n} = \frac{60}{8n} = \frac{15}{2n}$$

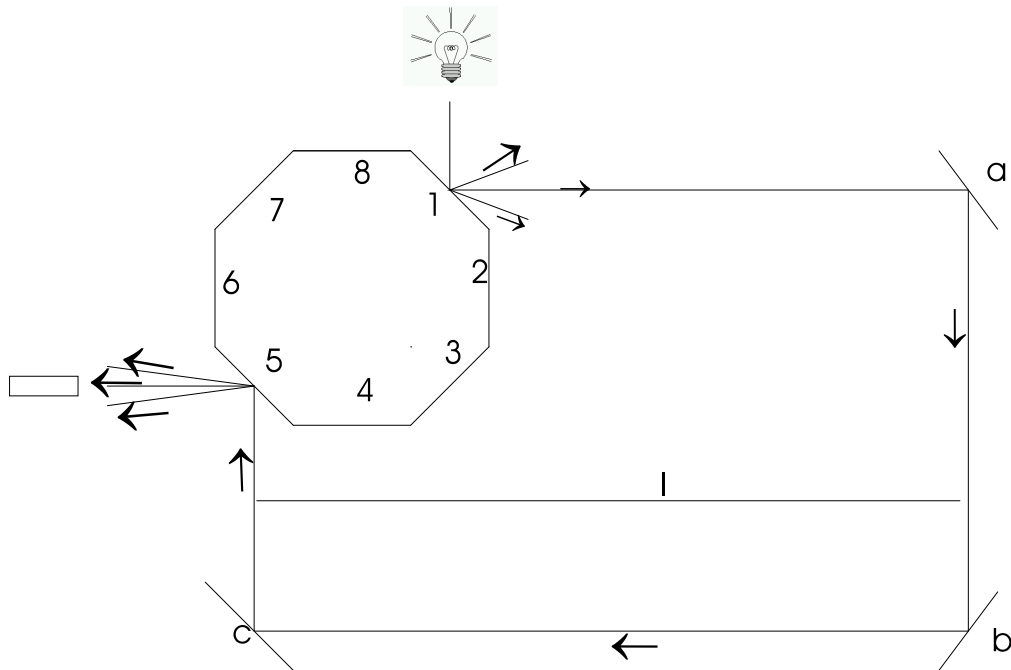
Detta l la distanza tra lo specchio rotante e gli specchi a e b sarà $2l = Vt$, da cui: essendo $t = \frac{15}{2n}$ sostituendola nella equazione:

$$V = \frac{2l}{t}$$

avremo:

$$V = \frac{4ln}{15}$$

Con questo metodo Michelson dopo innumerevoli tentativi giunse alla conclusione che la velocità della luce è la seguente $c=299.798 \text{ km/s}$.



Maxwell

Maxwell ha introdotto l'ottica come parte dell'elettromagnetismo. Infatti la formula:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

ci permette di calcolare la velocità delle onde elettromagnetiche, dove ϵ_0 indica la costante dielettrica del vuoto e μ_0 indica la permeabilità magnetica del vuoto. Anche la luce fa parte delle onde elettromagnetiche e tutte fanno parte dello spettro delle onde elettromagnetiche. Questo nuovo modo di concepire la luce scredita la teoria newtoniana dei corpuscoli e accredita quella huygensiana della ondulatorietà.

Il superamento dell'Etere

Huygens introdusse il concetto di etere come sostanza necessaria alla propagazione della luce. Però essa doveva essere tanto tenue e così dura da far propagare un'onda viaggiante a circa $3,00 \cdot 10^8$ m/s, una sostanza al di fuori di ogni umana fantasia. Maxwell per primo ipotizzò che la luce fosse un'onda elettromagnetica in quanto essa si propagava anche nel vuoto. Maxwell condizionato dalle teorie del suo tempo utilizzò questo fantomatico mezzo, nonostante le sue teorie potessero farne benissimo a meno.

Huygens e Maxwell

Huygens con la teoria ondulatoria della luce sostiene che essa è dovuta ad un moto analogo a quello con cui si propaga il suono, cioè un moto ondulatorio della sorgente luminosa che si propaga nel mezzo circostante tramite onde.

Poiché le onde per propagarsi hanno bisogno di un mezzo, Huygens ipotizzò l'esistenza di un mezzo trasparente che occupa tutto lo spazio; le vibrazioni dunque avverrebbero anche all'interno dell'occhio provocando la sensazione visiva.

La teoria di Newton fu preferita per circa due secoli finché l'esperimento del francese Foucault sancì che la velocità della luce nell'acqua è minore che nell'aria screditando la teoria corpuscolare e verificando la teoria ondulatoria secondo cui la velocità della luce è minore nei mezzi più rifrangenti.

La teoria di Huygens fu screditata dalla successiva scoperta che le onde luminose non sono longitudinali come quelle sonore ma hanno propagazione trasversale. La crisi di queste teorie, portò nell'800 alla teoria elettromagnetica di Maxwell secondo cui la luce non è provocata da una vibrazione della sorgente luminosa, bensì da vibrazioni di cariche elettriche che si propagano sotto forma di onde elettromagnetiche.

Einstein e la teoria **corpuscolare**

Una sorta di pacificazione delle due teorie, di Newton e di Huygens, che consideravano la luce rispettivamente come corpuscolare e ondosa la diede Einstein.

Infatti “il vecchietto” sosteneva che la luce si manifesta sotto forma sia di corpuscoli che di onde. I corpuscoli della luce sono detti fotoni.

Un esempio della natura corpuscolare della luce la possiamo ottenere con la fotografia: infatti quando il fotone colpisce la pellicola, la grana di questa viene eccitata e quindi il fotone si comporta da corpuscolo. Un esempio invece della natura ondulatoria della luce è dimostrata da qualsiasi diffrazione di un raggio di luce attraverso una strettissima fenditura.

La formazione di un'onda rifratta ha dei tipici picchi di diffrazione che sono dovuti all'aspetto ondulatorio della luce. Anche il francese Louis Victor Broglie, morto nel 1987, sosteneva appunto la dualità onda-corpuscolo delle onde elettromagnetiche.

Postulato di Einstein

I fisici e gli scienziati del XIX secolo, condizionati dai fenomeni fisici meccanici, pensarono che come il suono ha bisogno di materia, come ad esempio l'aria, per propagarsi, così anche la luce ne necessita.

La sostanza nella quale si sarebbe dovuta propagare la luce fu denominata "Etere", una sostanza indefinita, estremamente rarefatta, impalpabile, senza peso, che riempiva tutto lo spazio.

Questa ipotesi decadde perché non resse al confronto dei risultati, di alcune esperienze fatte per confermare la sua esistenza.

Nel 1905 Einstein postulò che: *se diversi osservatori, in moto relativistico l'uno rispetto all'altro e tutti rispetto ad una sorgente di onde elettromagnetiche, avessero misurato contemporaneamente la velocità di propagazione di questa radiazione, tutti avrebbero trovato per questa lo stesso valore*, in barba al principio classico di "sovrapposizione delle velocità".

Questo postulato è stato fondamentale per la formulazione della "teoria della relatività" che è stata confermata sperimentalmente diverse volte affermandone perciò la piena validità.

Bergstrand

Una delle misurazioni più precise della velocità della luce fu compiuta da Bergstrand mediante l'uso del Geodimetro.

Da uno specchio A si riflette la luce proveniente da una sorgente S che è modulata da un oscillatore a radiofrequenza. Il tempo impiegato dalla luce per raggiungere R deve essere uguale al numero di periodi N della radiofrequenza modulante ν .

Da tale situazione ne discende che:

$$c = \frac{2L\nu}{N}$$

Con L indichiamo la distanza tra lo specchio R e la distanza S che generalmente è circa 10 km. Con questo procedimento Bergstrand ottenne il seguente risultato: $c=299.793,1$ km/s.

Essen

Le misurazioni del XX secolo sono state compiute in base alla relazione $c=\lambda\nu$. Dove con λ indichiamo la lunghezza d'onda di una radiazione e con ν la sua frequenza.

Questo esperimento fu applicato con precisione nel 1950 dall'inglese Essen che lo utilizzò nella regione delle microonde dello spettro elettromagnetico.

Con lo sviluppo del laser questo esperimento si è potuto estendere anche allo spettro delle onde visibili.

Purtroppo l'uso del metro come unità di misura si sta rilevando molto incerto. Quindi si dovrebbe abbandonare il metro come unità di misura per adottarne un altro tipo che calcolerebbe indirettamente le distanze con la formula:

$$l=ct$$

Dove con l indichiamo la distanza, con c la velocità della luce e con t il tempo impiegato.

La velocità di propagazione della luce

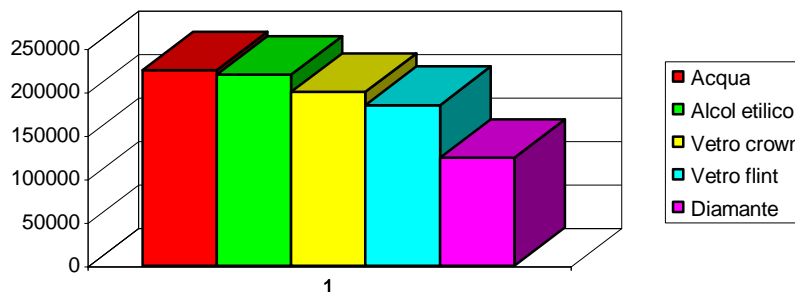
Le più recenti misurazioni del 1973 sull'uso di generatori di microonde e sull'analisi di spettri molecolari, hanno ricavato il seguente valore:

$$\underline{c=(299.792.458 \pm 0,000.000.012) \times 10^8 \text{ m/s}}$$

arrotondato a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Questo valore è relativo al vuoto poiché la luce passando per un mezzo materiale rallenta la propria velocità; ciò è dovuto al fenomeno della rifrazione che avviene quando la luce attraversa un corpo trasparente.

Valori di propagazione della velocità della luce in Km/s



LIBERTÀ

EGUAGLIANZA

MONITORE NAPOLETANO

Fondato nel 1799 da
Carlo Lauberg ed Eleonora de Fonseca Pimentel

Rifondato nel 2010
Direttore: Giovanni Di Cecca

Anno CCXXI

Contatti



C.Ph.: +39 392 842 76 67



www.monitorenapoletano.it



info@monitorenapoletano.it