

IL PENDOLO DI FOUCAULT



Fu allora che vidi il Pendolo. La sfera, mobile all'estremità di un lungo filo fissato alla volta del coro, descriveva le sue ampie oscillazioni con isocrona maestà. Io sapevo -chiunque avrebbe dovuto avvertire nell'incanto di quel placido respiro - che il periodo era regolato dal rapporto tra la radice quadrata della lunghezza del filo e quel numero π che, irrazionale alle menti sublunari, per divina ragione lega necessariamente la circonferenza al diametro di tutti i cerchi possibili - così che il tempo di quel vagare di una sfera dall'uno all'altro polo era effetto di una arcana cospirazione tra le più intemporalmente delle misure, l'unità del punto di sospensione, la dualità di una astratta dimensione, la natura ternaria di π , il tetragono segreto della radice, la perfezione del cerchio. Ancora sapevo che sulla verticale del punto di sospensione, alla base, un dispositivo magnetico, comunicando il suo richiamo a un cilindro nascosto nel cuore della sfera, garantiva la costanza del moto, artificio disposto a contrastare le resistenze della materia, ma che non si opponeva alla legge del Pendolo, anzi le permetteva di manifestarsi, perché nel vuoto qualsiasi punto materiale pesante, sospeso all'estremità di un filo inestensibile e senza peso, che non subisse la resistenza dell'aria, e non facesse attrito col suo punto d'appoggio, avrebbe oscillato in modo regolare per l'eternità.

Da "Il pendolo di Foucault" di Umberto Eco



La descrizione incantata della perenne oscillazione del pendolo resa da Umberto Eco cala in una dimensione fantastica e surreale la perfezione del movimento di oscillazione, di quel "respiro" eterno da un estremo all'altro, compiuto

con “isocrona maestà”. Mi permetto un unico appunto di carattere scientifico alla formula del periodo di oscillazione, descritta come “rapporto tra la radice quadrata della lunghezza del filo e quel numero π ”, dove il termine rapporto è stato evidentemente usato con il significato di “relazione” e non di divisione, perché in realtà si tratta di un prodotto, e non di un rapporto, tra la radice quadrata della lunghezza del filo e il numero π . La legge del pendolo introdotta da Galileo afferma infatti che il periodo delle piccole oscillazioni di un pendolo non dipende dall’ampiezza dell’oscillazione, né dalla massa del pendolo stesso, bensì è dato dal numero 2π moltiplicato per la radice quadrata del rapporto tra la lunghezza del filo di sospensione e il valore dell’accelerazione di gravità del luogo in cui il pendolo viene fatto oscillare. Galileo non spiegò il motivo fisico di questa formula, che invece fu chiaro dopo gli studi di Newton sul moto e sulla gravità. Sul pendolo e le sue leggi tornerò in un articolo successivo. In queste pagine vedremo invece come un fisico francese, Jean Bernard Léon Foucault, utilizzò un pendolo per dimostrare la rotazione terrestre.

Nel 1851 L Foucault sospese una sfera al soffitto della cupola del Pantheon di Parigi e la fece oscillare su uno strato di sabbia che ricopriva una pedana di legno.



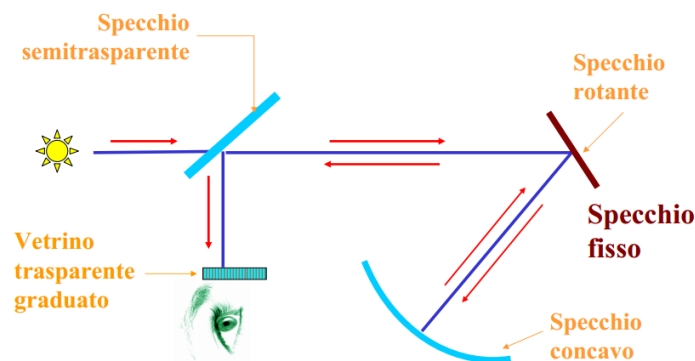
Foucault era stato uno studente mediocre, ma con un eccezionale talento manuale che fin da giovane gli aveva permesso di costruire macchine e meccanismi. Per queste abilità la madre lo iscrisse alla facoltà di medicina, perché diventasse un bravo chirurgo. Ma Foucault abbandonò l’università, non essendo capace di affrontare psicologicamente la professione di medico e cominciò

a ingegnarsi in altri ambiti scientifici. A lui si deve la scoperta del giroscopio e delle correnti indotte che portano il suo nome. Si dedicò ad alcuni esperimenti di fisica assieme ad Armand Hippolyte Louis Fizeau, che come Foucault aveva lasciato lo studio della medicina.



LÉON FOUCAULT (1819-1858).

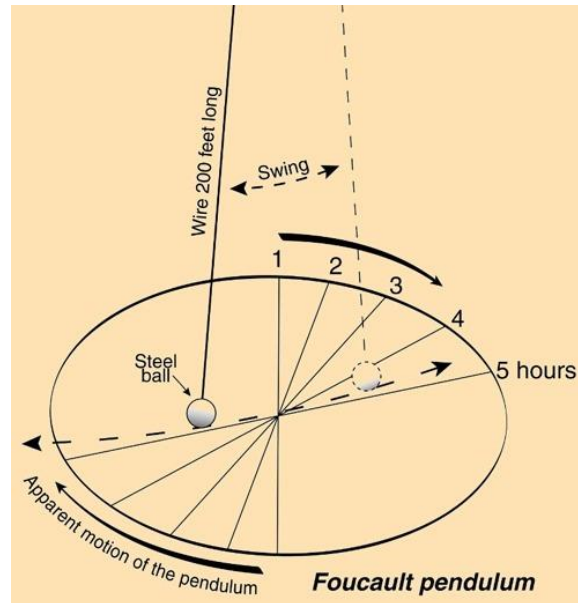
Foucault e Fizeau si adoperarono per misurare la velocità della luce. È di Foucault il primo esperimento realizzato in laboratorio, con un dispositivo che fu poi perfezionato da Michelson nell'interferometro che aveva una struttura analoga a quella sfruttata nell'antenna gravitazionale del progetto Virgo, grazie al quale sono state rilevate le onde gravitazionali.



L'apparato di Foucault per determinare la velocità della luce

Quando il trentaduenne Foucault sospese alla cupola del Pantheon un pendolo mediante un filo lungo oltre 60 metri, e lo mise in movimento senza spinte iniziali, ma semplicemente bruciando il cavetto con il quale era tenuto fermo, le tracce lasciate sulla sabbia mostravano inequivocabilmente che le oscillazioni non avvenivano sempre nello stesso piano. Lentamente

sembrava che il piano di oscillazione ruotasse, evidenziando che questo effetto era dovuto ad un altro movimento, impercettibile. Quello della Terra.



Si può interpretare più facilmente il risultato, riproducendo l'esperienza in laboratorio. Un pendolo viene fatto oscillare, sospeso rispetto ad una piattaforma rotante. Il moto viene ripreso da una telecamera fissa rispetto alla piattaforma.



La piattaforma può essere messa in rotazione con una velocità angolare costante che indichiamo con Ω . Il suo periodo di rotazione è pertanto

$$T_r = \frac{2\pi}{|\Omega|}$$

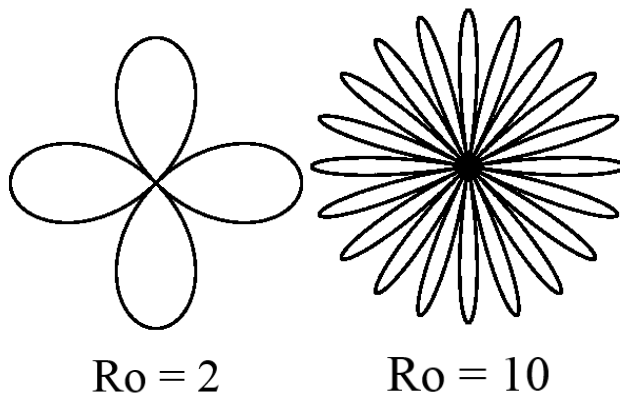
mentre il periodo di oscillazione del pendolo, che non dipende né dalla massa sospesa, né, per piccole oscillazioni, dall'angolo di apertura, è

$$T_p = \frac{2\pi}{\sqrt{g/l}}$$

Se il rapporto

$$Ro \equiv \frac{T_r}{T_p}$$

vale 1, il periodo di oscillazione del pendolo uguaglia il periodo di rotazione della piattaforma e la traiettoria che viene visualizzata sullo schermo è una circonferenza. Man mano che il valore del rapporto cresce, perché il pendolo viene fatto oscillare più rapidamente rispetto alla rotazione della piattaforma, le traiettorie del pendolo formano un numero sempre maggiore di "laccetti", come petali di un fiore:



In sostanza, se un pendolo oscilla su una piattaforma che ruota, vediamo proiettate sullo schermo delle traiettorie che si spostano l'una rispetto all'altra. Lo spostamento durante due oscillazioni consecutive, nel caso del pendolo sospeso da Foucault alla cupola del Pantheon, era impercettibile, ma sommandosi gli effetti man mano che il numero di oscillazioni aumentava, dopo un'ora la rotazione apparente del piano di oscillazione risultò di circa 11° .

Questo angolo non è lo stesso in qualunque punto sulla superficie terrestre e Foucault, oltre a fornire la prova sperimentale della rotazione della Terra, calcolò la variazione del periodo di rotazione di un pendolo in funzione della latitudine, stabilendo la legge, conosciuta come legge dei

seni di Foucault, $T=T_0/\sin \alpha$, dove T_0 indica il tempo impiegato dalla Terra a compiere una rotazione completa e con T il periodo alla latitudine α .

Al polo nord, il piano di oscillazione di un pendolo apparirà ruotare in senso orario, cioè contrario alla rotazione terrestre, così come in tutto l'emisfero boreale, e compirà un giro completo in un giorno. La sua velocità angolare di rotazione Ω_z è espressa come rapporto tra un giro completo e 24 ore (più esattamente 23 ore e 56,07 minuti), tempo che abbiamo indicato con T_0 , cioè $T_0=86400$ secondi (corrispondente a 24 ore, mentre il valore corrispondente a 23 ore e 56,07 minuti è 86164 secondi). Quindi si ha

$$\Omega_z = 2\pi/86400 \text{ rad/s}$$

Questo numero, che è circa $7 \cdot 10^{-5}$ rad/s, va moltiplicato per $\sin \alpha$, per ottenere la velocità di rotazione del piano di oscillazione ad una latitudine α . Invece il tempo impiegato dal piano di oscillazione per compiere una rotazione completa, sempre alla latitudine α , è $T=T_0/\sin \alpha$. La variazione angolare è legata alla latitudine dalla relazione $\Delta\theta=15^\circ \sin \alpha$.

All'Equatore, il piano di oscillazione del pendolo non si muove, perché $\alpha=0$, quindi risulterebbe $T=\infty$. A Parigi, che si trova a una latitudine di 48° , il periodo di rotazione del piano è di 114743 s, che corrisponde a una variazione angolare di poco più di 11° ogni ora. Foucault aveva visto una rotazione completa del piano del pendolo in poco più di 32 ore, quindi approssimativamente lo stesso valore confermato dai calcoli, dal momento che $11^\circ \times 32 = 352^\circ$, molto vicino al valore di un giro completo di 360° .

L'esperienza del fisico francese ha affascinato generazioni di fisici, per questo motivo il pendolo di Foucault è stato riprodotto in numerosi musei, università e centri di ricerca di tutto il mondo.



Museo Nazionale di Storia e Tecnologia, Washington



Museo di Scienza Naturale, Huston



Museo Nazionale Scienza e Tecnologia Leonardo da Vinci, Milano



Tempio di San Biagio, Montepulciano, Siena



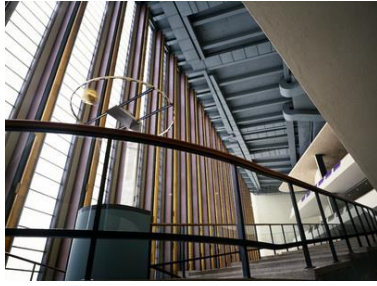
Palazzo della Ragione, Padova



Dipartimento di Scienze Fisiche, Università degli Studi di Napoli



Cattedrale di Cremona



Palazzo delle Nazioni Unite, Bruxelles

“Il fenomeno si svolge con calma: è inevitabile, irresistibile. Vedendolo nascere e crescere, ci rendiamo conto che non è in potere dello sperimentatore accelerarlo o ritardarlo, chiunque si trova in sua presenza è indotto a riflettere e a tacere, e in generale ne ricava un senso forte e intenso della nostra incessante mobilità nello spazio. Il Pendolo non produce sfavillii, rumori sordi o meccanici, si muove con solenne maestà, sembra interagire con nulla e pare ignorarci del tutto”.

Léon Foucault

Sono stati consultati:

Umberto Eco, Il pendolo di Foucault, Bombiani 1988

Roger G. Newton, Il pendolo di Galileo, Bollati Boringhieri 2008

<https://www.quora.com/How-do-flat-Earthers-explain-the-Foucault-pendulum>

<https://geosci.uchicago.edu/~nnn/LAB/DEMOS/coriolis.html>

<http://www.rainews.it/dl/rainews/media/Il-pendolo-di-Foucault-torna-al-Pantheon-8610be0d-9c97-46c7-9b2f-2bf196b4f95f.html#foto-1>

<http://static.gest.unipd.it/~busato/Pendolo.pdf>

<http://fisica.unipv.it/Mihich/velocit%C3%A0-della-luce.pdf>

<http://www.lasa.mi.infn.it/progetti/mostra-degli-strumenti-didattici/PROGETTO%20PENDOLO.pdf>

<http://www.fisicamente.net/FISICA/index-37.htm>

<http://www-hep.colorado.edu/~stevev/pendulum/foucault.html>

http://visite.artsetmetiers.free.fr/site_anglais/pendulum_museum_a.html

<http://www.phy6.org/stargaze/Irotfram1.htm>

<https://www.popolis.it/il-pendolo-di-foucault-in-cattedrale-a-cremona/>

<https://www.unmultimedia.org/photo/detail.jsp?id=704/70451&key=1964&query=Earthquake%20Survivor%20Builds%20Makeshift%20Shelter&sf=>