
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

MICHELE CAPUTO

Un nuovo limite superiore per il coefficiente di assorbimento della gravitazione

Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 32 (1962), n.4, p. 509–515.

Accademia Nazionale dei Lincei

http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1962_8_32_4_509_0

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Geofisica. — *Un nuovo limite superiore per il coefficiente di assorbimento della gravitazione* (*). Nota di MICHELE CAPUTO, presentata dal Corrisp. A. MARUSSI.

1. Nella teoria dell'assorbimento della gravitazione si ammette che un raggio gravitazionale l di intensità g_0 risulti indebolito, dopo aver attraversato uno strato di materia di densità δ , secondo la legge proposta da Bottlinger

$$(1) \quad g = g_0 e^{-\lambda \int \delta dl}$$

ove λ è il cosiddetto coefficiente di assorbimento. Poiché da esperienze eseguite si può senz'altro assumere $\lambda < 10^{-14} \text{ gr}^{-1} \text{ cm}^2$, (†) per spessori e densità dello strato sufficientemente piccoli si può scrivere

$$(2) \quad g = g_0 \left(1 - \lambda \int \delta dl \right).$$

Un metodo immediato per verificare la realtà del fenomeno ovvero per calcolare λ è quello di misurare l'indebolimento di un raggio gravitazionale ad opera di una massa interposta di spessore e densità noti. I primi fisici che cercarono di indagare il fenomeno e di misurare λ , seguirono proprio questa via. Nel 1897 Austin e Thwing sospesero schermi di varia densità fra la massa mobile e quella fissa di una bilancia di Cavendish; non riuscirono però a mettere in evidenza l'effetto, e ciò entro il limite di precisione dell'esperimento, che era del 2‰ delle forze agenti. Successivamente, nei primi anni del secolo, le esperienze furono ripetute col medesimo metodo, ma sempre senza risultati positivi, da Kleiner, Cremieu ed Erisman; per opera di quest'ultimo la precisione delle esperienze con la bilancia di Cavendish fu spinta fino ad 0,8‰ delle forze agenti. Laager nel 1904 sperimentò con una bilancia a giogo pesando una palla d'argento di gr 1,5, alternativamente libera o circondata da uno strato sferico di piombo, ma non scorse variazioni di peso superiori a 0,1‰ delle forze agenti.

Il fenomeno interessò naturalmente anche gli astronomi; nel 1911 alcune irregolarità periodiche del movimento della Luna, che non trovavano spiegazione, furono oggetto di un concorso bandito dall'Università di Monaco di Baviera. Il premio fu assegnato nel 1912 all'astronomo Bottlinger, che provò come l'esistenza del fenomeno di assorbimento della gravitazione potesse spiegare tali irregolarità. Durante le eclissi di Luna quest'ultima

(*) Nella seduta del 14 aprile 1962.

(†) Anche nel seguito λ sarà espressa in unità c.g.s.

sarebbe infatti soggetta, a causa dell'assorbimento, ad una piccola forza impulsiva; Bottlinger mostrò che ciò darebbe origine ad una variazione periodica della longitudine media della Luna con periodo di circa 19 anni e che assumendo $\lambda = 3 \cdot 10^{-15}$ queste variazioni sarebbero in accordo con quelle trovate sperimentalmente. Nello stesso anno apparve pure una Nota di De Sitter in cui si giungeva alle stesse conclusioni di Bottlinger.

Oggi però si ritiene che le induzioni di Bottlinger e di De Sitter siano in buona parte infirmate dalla cattiva conoscenza del tempo che allora si aveva, il quale era com'è ben noto legato alla sola rotazione della Terra che soffre essa stessa di irregolarità secolari, aperiodiche e periodiche che possono interferire con le irregolarità allo studio.

Nel 1919 Majorana iniziò una serie di studi e di esperienze di laboratorio i cui risultati sono esposti e discussi in un gruppo di 18 Note Lincee apparse fra il 1919 ed il 1922. Dapprima egli intraprese alcuni studi teorici e suppose che la sostanza di cui è composto il Sole ci appaia mascherata, nel suo effetto gravitazionale, dagli strati vieppiù esterni e ciò appunto a causa del supposto assorbimento della gravitazione; onde la massa del Sole sarebbe in realtà molto maggiore di quanto appaia dalla teoria classica. Egli anzi dimostrò che, se si assume il Sole omogeneo con una densità di 2 gr cm^{-3} (rispettivamente 20 gr cm^{-3}), il valore del coefficiente di assorbimento λ assume il valore di $1,11 \cdot 10^{-11}$ ($2,90 \cdot 10^{-11}$ rispettivamente).

Successivamente Majorana iniziò una serie di esperienze di laboratorio condotte con tecnica raffinata in cui cercò di rilevare la variazione di peso di una sfera di 1,3 kg di piombo quando questa veniva schermata, con altre masse, dall'azione del campo gravitazionale terrestre. Come schermo usò dapprima un cilindro di mercurio di 114 kg e poi un cubo di piombo di 9,8 kg che circondavano simmetricamente la sfera.

Dal risultato di queste esperienze Majorana fu indotto ad affermare l'esistenza dell'effetto di assorbimento; le esperienze fatte con lo schermo di mercurio lo portavano a stabilire il valore $\lambda = 7 \cdot 10^{-12}$, quelle con lo schermo di piombo $\lambda = 2 \cdot 10^{-12}$.

A seguito della pubblicazione dei risultati delle prime esperienze di Majorana, Russell (1921) mostrò che a causa dell'effetto di assorbimento la massa inerziale dei pianeti non potrebbe essere proporzionale alla loro massa gravitante e che a causa di ciò il moto loro si dovrebbe scostare notevolmente da quello che si manifesta in realtà. Secondo Russell ciò condiziona λ ad un valore che è circa 10^{-4} volte più piccolo di quello trovato da Majorana. Egli ritiene poi che il fenomeno rilevato nelle esperienze di Majorana non sia dovuto all'assorbimento ma bensì ad un eventuale effetto relativistico.

Parecchi anni passarono prima che le ricerche sull'argomento riprendessero. Nel 1954 Brein, attuando un'idea di Tomaschek (1937) cercò di mettere in evidenza l'effetto di assorbimento approfittando dell'eclissi di Sole che si verificava allora nell'Europa settentrionale, e così fece il Tomaschek stesso alle Isole Shetland. In tale occasione la Luna avrebbe dovuto funzionare

da schermo rispetto al Sole e si sarebbe dovuto registrare un aumento apparente della gravità lungo la traiettoria dell'eclissi. L'esperienza fu condotta con un gravimetro registratore di alta sensibilità, ma alcuni effetti perturbanti di difficile interpretazione resero incerti i risultati dell'esperimento. Brein dedusse tuttavia da tale esperienza per λ la limitazione $\lambda < 3 \cdot 10^{-15}$ che, come si vede, non sarebbe in disaccordo con le deduzioni di Bottlinger.

2. L'eclissi totale di Sole del 15 febbraio 1961 costituì una nuova occasione per tentare una verifica di tale fenomeno. Ciò fu fatto a Sofia e Kiev con gravimetri registratori Askania rispettivamente da Venedikov (1961) e da Dobrokhotov, Pariisky, Lysenko (1961), ed a Berchtesgaden con pendoli orizzontali in invar da Sigl ed Eberhard (1961).

I risultati di queste ricerche furono comunicati al IV Symposium sulle maree della crosta terrestre, tenuto a Bruxelles nel giugno 1961; nessun evidente effetto di assorbimento fu riscontrato; ma neppure furono fatte, a quanto io sappia, particolari ricerche per fornire una nuova limitazione per il coefficiente.

Questa verifica fu del pari affrontata in occasione della stessa eclissi, per suggerimento del prof. Marussi, approfittando dei grandi pendoli orizzontali operanti fin dal 1958 nella Grotta Gigante presso Trieste, destinati in modo particolare allo studio delle maree solide della Terra e dei movimenti superficiali della crosta. Per le caratteristiche della Stazione, mi riferisco alle descrizioni che ne furono date a suo tempo dal prof. Marussi stesso (1960).

L'occasione offerta dall'eclissi fu eccezionale, poiché la sua totalità passava in tutta prossimità della stazione, essendo ivi la distanza minima dei centri dei due astri di appena 58''; di più, l'altezza del Sole alla fase massima era di 13° 30' soltanto, e l'effetto rilevabile coi pendoli sulla componente orizzontale risultava in tal modo assai prossimo al massimo sperabile. Per studiare il fenomeno, la sensibilità dei pendoli fu aumentata; il loro periodo proprio fu portato a 657 sec per la componente EW ed a 580 sec per quella NS, mentre prima si avevano 463 e 500 secondi rispettivamente. Questo maggiore periodo comporta nelle registrazioni un rapporto di 2,185 mm/msec e di 1,702 mm/msec, rispettivamente; si aumentò pure la velocità di scorrimento del nastro di carta fotografica, portandola a 3,8 cm all'ora. Poiché la lettura delle registrazioni può essere fatta con stima di 0,1 mm, ne segue che le letture hanno un'incertezza di $5 \cdot 10^{-5}$ secondi d'arco all'incirca.

Le registrazioni delle maree della verticale del giorno 15 febbraio furono favorite da condizioni meteorologiche ed ambientali eccellenti: la pressione barometrica che genera lievi inclinazioni della crosta intorno all'asse dinamico, non ebbe variazioni apprezzabili, e così non vi furono disturbi dovuti alle acque carsiche.

Le registrazioni del giorno 15 febbraio per ambedue le componenti EW e NS furono spogliate eseguendo letture ogni 12 minuti. I valori ottenuti

furono approssimati col metodo dei minimi quadrati mediante una funzione del tipo

$$(3) \quad \left\{ \begin{array}{l} A_2 + A_1 t + A_0 t^2 + B_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T_1} t + \beta_1\right) + B_2 \sin\left(\frac{2\pi}{T_2} t + \beta_2\right) + \\ + B_3 \sin\left(\frac{2\pi}{T_3} t + \beta_3\right) + B_4 \sin\left(\frac{2\pi}{T_4} t + \beta_4\right) \end{array} \right.$$

essendo rispettivamente T_1, T_2, T_3, T_4 i periodi delle onde M_1, M_2, S_1, S_2 della marea lunisolare e t il tempo. Determinando le differenze dei valori osservati con quelli così calcolati, si ottennero due serie temporali R_{NS} ed R_{EW} che diremo dei residui primi.

Da una superficiale ispezione di queste serie risultò evidente come altri fenomeni periodici oltre a quelli già eliminati delle maree, intervenissero nelle osservazioni. Allo scopo di eliminare questi effetti periodici, le registrazioni complete relative al giorni 14, 15 e 16 febbraio furono analizzate col metodo del *power spectrum* da M. Zadro (1961). I periodi messi in tal modo in evidenza sono risultati di $4^h, 0$ e di $2^h, 33$; si riscontrarono poi, ad un livello molto più basso di energia, vari periodi vicini ad un'ora. Non interessa qui discutere l'origine di queste perturbazioni periodiche, che sono però quasi sicuramente da mettere in relazione con le sesse dell'Alto Adriatico (vedi: Caloi, 1931; Polli, 1958; Zadro, 1961).

Allo scopo di eliminare gli effetti secondari associati a questi periodi si esaminò in R_{NS} ed R_{EW} un intervallo di 12 ore con punto medio prossimo all'istante della totalità e si fece un'analisi analoga alla precedente assumendo però per T_1, T_2, T_3 i periodi trovati con l'analisi spettrale e per T_4 il periodo dell'onda M_3 . Le serie temporali risultanti furono analizzate col test del χ^2 che diede un livello di confidenza del 78% e dell'85% per la loro accidentalità. Non ritenendosi questo risultato sufficientemente significativo, le anzidette serie sono state lisciate con un filtro simmetrico che opera su 9 valori equidistanti da quello centrale (con coefficienti 0,0078; 0,0508; 0,1266; 0,1977; 0,2302; 0,1977; ecc.); la rappresentazione grafica delle nuove serie così ottenute è indicata nelle curve C_{NS} e C_{EW} (vedi fig. 1). E questa volta gli scarti rispetto a queste presentano accidentalità ad un livello dell'83% e del 99% rispettivamente, che si è ritenuto soddisfacente.

3. Tutto ciò premesso, si sono confrontate le curve lisciate C_{NS} e C_{EW} con quelle che rappresentano le deviazioni che ci si sarebbero dovute attendere in base alla teoria.

Le variazioni sulle componenti orizzontali dell'attrazione solare dovute all'assorbimento della gravitazione nelle successive fasi dell'eclissi sono state calcolate, per il caso particolare in oggetto, con un procedimento di integrazione grafica che assicura una precisione del 2%; a tale scopo fu assunta per la Luna (supposta omogenea) una densità di 3,34, nel mentre per la densità del Sole furono adottati i valori in funzione della distanza dal suo centro dedotti dalle tavole di Landolt-Börnstein. Con il valore $g = 980,630$ gal per la gravità nella Grotta Gigante furono indici calcolate le corrispondenti

deviazioni della verticale, che sono riportate (espresse in millisecondi d'arco) nei grafici che rappresentano le C_{NS} e C_{EW} , e ciò separatamente per i valori di $\lambda = 3 \cdot 10^{-15}$; $1 \cdot 10^{-15}$; $0,5 \cdot 10^{-15}$.

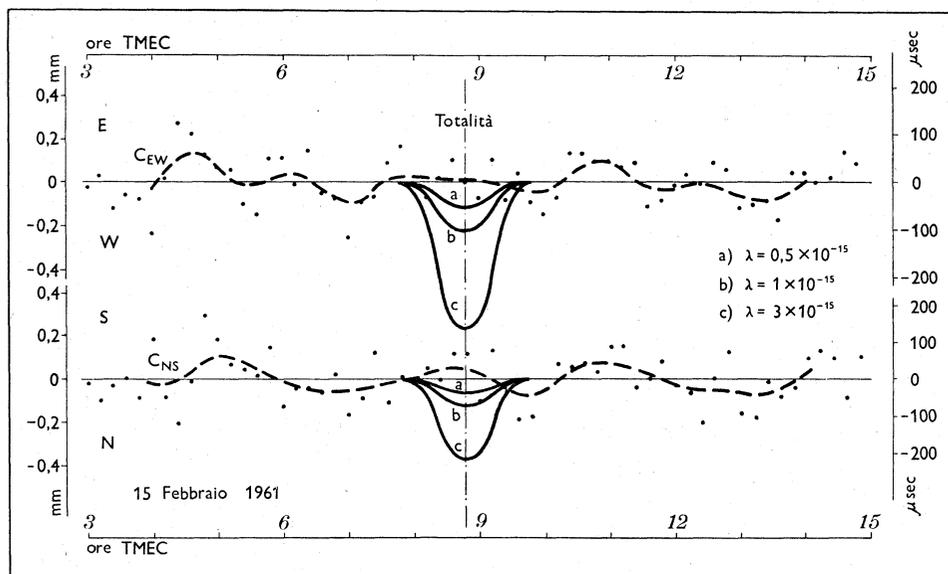


Fig. I.

Il confronto fra le curve teoriche e quelle sperimentali dà adito alle seguenti considerazioni: nessun effetto appare nella componente NS, laddove invece nella componente EW l'appiattimento dell'oscillazione rivolta verso E che si verifica intorno alla fase massima, potrebbe essere spiegato con la presenza dell'effetto in istudio, con λ tuttavia minore di $0,6 \cdot 10^{-15}$.

Tenuto anche conto che a quest'ultima componente compete una attendibilità maggiore, per la duplice ragione che per essa l'eventuale effetto di assorbimento è quasi 1,9 volte quello atteso per l'altra componente, e che il livello di confidenza con il quale sono stati eliminati gli scarti accidentali è del pari sensibilmente più alto, assumeremo la limitazione che da questa deriva, e cioè

$$\lambda < 0,6 \cdot 10^{-15}.$$

Osserviamo che questa limitazione è $1/5$ di quella ammessa fin qui e risulta conforme alle previsioni di Russell.

BIBLIOGRAFIA.

- AUSTIN L. W., THWING C. B., *An experimental research on gravitational permeability*, « Phys. Rev. », 5, 294-300 (1897).
 BOTTLINGER K. F., *Die Gravitationstheorie und die Bewegung des Mondes*, Inauguraldiss. Univ. München. C. Troemer, Freiburg i. Br., 1912, pp. 57.

- BREIN R., *Photographische Registrierung der Erdzeiten mit einem Gravimeter*, « Deutsche Geod. Komm. », Reihe B, H. 21, Frankfurt a. m., 1954.
- BREIN R., *Beobachtungen zur Sonnenfinsternis 1954 in Südnorwegen*, « Deutsche Geod. Komm. », Reihe B, H. 34, Frankfurt a. M., 1957.
- CALOI P., *Sesse dell'Alto Adriatico con particolare riguardo al Golfo di Trieste*, « Mem. CCXLVII del R. Com. Talassografico It. del C. N. R. », 1938.
- CAPUTO M., *Observations faites à Trieste avec les grands pendules horizontaux lors de l'éclipse de Soleil du 15 février 1961*, IV Symposium Intern. sur les Marées Terrestres, « Comm. Observ. Royal de Belgique », Série Géophysique, n° 58, Bruxelles, p. 64 (1961).
- CREMIEU V., *Recherches sur la gravitation*, « Compt. Rend. Ac. Sc. », 143, 887-889 (1906).
- DOBROKHOTOV YU. S., PARIISKY N. N., LYSENKO V. I., *Observations of tidal variations of gravity in Kiev during the solar eclipse on february 15, 1961*, IV Symposium Intern. sur les Marées Terrestres, « Comm. Observ. Royal de Belgique », Série Géophysique, n° 58, Bruxelles, p. 66 (1961).
- ERISMAN, « Vierteljahrschr. d. Naturforsch. Gesellsch. Zürich », 53, p. 157 (1908).
- ISENKRAHE, *Ueber die Zurückführung der Schwere auf Absorption*, « Ztsch. f. Math. u. Phys. », 37, Supplement p. 163 (1892).
- KLEINER A., *Sur la gravitation*, « Arch. de Sc. Phys. et Nat. Bibl. Univ. », IV, 20, 420-423 (1905).
- LAGER M., *Sur la gravitation*, Dissertation. Università di Zurigo, 1904.
- LANDOLT H., BÖRNSTEIN R., *Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik*, III Bd. Astronomie und Geophysik, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1952, p. 125.
- MARUSSI A., *The University of Trieste station for the study of the tides of the vertical in the Grotta Gigante*, III Intern. Symposium on Earth Tides, « Ist. di Topografia e Geodesia della Università di Trieste », pubbl. n° 49, p. 45, Trieste 1960.
- MARUSSI A., *I primi risultati ottenuti nella stazione per lo studio delle maree della verticale della Grotta Gigante*, « Bollettino di Geodesia e Scienze Affini », XIX, 4, 645-667 (1960).
- MAJORANA Q., *Sulla gravitazione*, Note: I, 165-174; II, 221-223; III, 313-317; IV, 416-427; V, 480-489; II semestre 1919, « Rend. Acc. Naz. Lincei », Cl. Sc. fis. mat. nat. Note: VI, 23-32; VII, 90-100; VIII, 163-169; IX, 235-240; I semestre 1920, « Rend. Acc. Naz. Lincei », Cl. Sc. fis. mat. nat.
- MAJORANA Q., *Sull'assorbimento della gravitazione*, Note: I, 75-79; II, 289-294; III, 350-354; IV, 415-419; II semestre 1921, « Rend. Acc. Naz. Lincei », Cl. Sc. fis. mat. nat. Note: V, 41-45; VI, 81-86; VII, 141-146; VIII, 221-226; IX, 343-346; I semestre 1922, « Rend. Acc. Naz. Lincei », Cl. Sc. fis. mat. nat.
- MAJORANA Q., *Sull'ipotesi dell'assorbimento gravitazionale*, 392-397, I semestre 1957, « Rend. Acc. Lincei », Cl. Sc. fis. mat. nat.
- MAJORANA Q., *Ipotetiche conseguenze dell'assorbimento gravitazionale*, 397-402, I semestre 1957, « Rend. Acc. Naz. Lincei », Cl. Sc. fis. mat. nat.
- POLLI S., *Le sesse (seiches) dell'Adriatico*. « Annali di Geofisica », vol. XI, n° 1, 69-76 (1958).
- POLLI S., *Sui periodi delle oscillazioni libere nell'Adriatico*. Atti XI Convegno Ass. Geofisica Italiana, Roma 1961.
- RUSSELL H. N., *On Majorana's theory of gravitation*, « Astrophys. Journal », vol. 54, pp. 334-346 (1921).
- SEELIGER H., *Ueber die Anwendung der Naturgesetze auf das Universum.*, « S. B. d. Bayer. Akad. d. Wiss. », Math. Phys. Kl. Jg., 4, Abh. p. 9 (1909).
- SIGL R., EBERHARD O., *Horizontalpendel Beobachtungen in Berchtesgaden während der Sonnenfinsternis vom 15 Februar 1961*. IV Symposium Intern. sur les Marées Terrestres, « Comm. Observ. Royal de Belgique », Série Géophysique, n° 58, Bruxelles, p. 70 (1961).
- TOMASCHEK R., *Schwerkraftsmessungen*, « Naturwissenschaften », 25 [12], pp. 177-185 (1937).
- TOMASCHEK R., *Tidal gravity measurements in the Shetlands; effect of the total eclipse of June 30, 1954*, « Nature », 175, pp. 937-942 (1955).

-
- TOMASCHEK R., *Conditions d'observation de l'éclipse de Soleil du 15 février 1961 pour les instruments de mesure des marées terrestres*, « Ass. Int. de Géod., Comm. Perm. des Marées Terrestres », Bull. Inf. n° 23, p. 460, Bruxelles 1961.
- VENEDIKOV A., *Premiers enregistrements des marées terrestres à Sofia*, IV Symposium Intern. sur les Marées Terrestres, « Comm. Observ. Royal de Belgique », Série Géophysique, n° 58, Bruxelles, p. 144 (1961).
- ZADRO M., « *Power spectrum analysis* » delle deviazioni della verticale registrate durante l'eclissi totale di Sole del 15 febbraio 1961, Atti XI Convegno Ass. Geofisica Italiana, Roma 1961 (in corso di stampa).