

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI
ANNO CCCXVII.

1920

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXIX.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI
PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1920

RENDICONTI

DELLE SEDUTE

DELLA REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

Seduta del 7 marzo 1920.

A. RÒTTI, Vicepresidente.

MEMORIE E NOTE DI SOCI O PRESENTATE DA SOCI

Fisica. — *Sulla gravitazione.* Nota VIII del Corrisp. Q. MAJORANA.

Computo dell'effetto corretto. — La diminuzione di peso della sfera di piombo, causata dalla presenza del mercurio, viene così corretta, tenendo conto di quanto è stato detto nella Nota precedente:

Variatione di peso constatata	— mg. 0,00209 ± 0,00007
Effetto del mercurio in U sulla tara	+ " 0,00085
Effetto del mercurio nei serbatoi, sulle sfere	— " 0,00007
Effetto del galleggiante e del contrappeso	+ " 0,00035
Effetto del mercurio sul giogo	" 0,00000
Correzione per lo spostamento dello zero	— " 0,00001
Errore massimo ammissibile per dissimmetrie	± 0,00009
Effetto netto	— mg. 0,00097 ± 0,00016

Si ha dunque una netta diminuzione di peso. Ho esagerato nel computo dell'errore possibile, sommando all'errore probabile delle osservazioni (0,00007) l'errore massimo ammissibile per dissimmetrie, perchè non ho avuto modo di determinare l'errore probabile anche per tale fatto, ma solo di stabilire un limite massimo, certamente non raggiungibile.

Siccome la sfera di piombo ha una massa di 1274 grammi, la diminuzione di peso specifica, cioè per unità di massa, è di

$$\frac{0,00000097}{1274} 7,7 \cdot 10^{-10}.$$

Quale dissimmetria potrebbe giustificare l'effetto? — La dissimmetria di massa è la causa a cui più facilmente si pensa, volendo spiegare, senza ipotesi nuove, la constatata apparente azione di schermo che il mercurio esplica sulla gravità. È stato calcolato quale influenza può avere la dissimmetria dell'apparecchio riconosciuta ammissibile; e si è visto che essa non può coprire l'effetto se non in piccola parte. Reciprocamente ci si può domandare, di quanto dovrebbe essere più vicino al centro della sfera di piombo uno dei due livelli di mercurio rispetto all'altro, perchè sia giustificato il trovato effetto. Siccome si è detto che 1 mm. di dissimmetria produce uno squilibrio di mg. 0,00021, si vede che, per produrne uno di 0,00097, occorrerebbero circa cinque millimetri, la qual cosa non può assolutamente essersi verificata nella mia disposizione.

Possibilità di altre cause di errore. — Quelle, tra le varie cause di errore, che possono influire sensibilmente sul valore dell'effetto trovato, sono già state da me esaminate. Ma trattandosi di un fenomeno completamente nuovo, che anzi modificherebbe una delle leggi fondamentali della fisica, è naturale che, prima di ammetterlo, si pensi minutamente a tutte le circostanze che possono falsare una determinazione del genere. Si comprende anzitutto che, nella ricerca di tali cause di errore, occorre aver riguardo ai fenomeni che possono manifestarsi ciclicamente, nel corso delle osservazioni: cioè in accordo col ciclo delle varie operazioni che si compiono. Così, non è da prendersi in considerazione, p. es., lo stato più o meno igroscopico dell'aria nella bilancia, le variazioni di temperatura di questa (dovute od alle lampade di proiezione od all'ambiente), le scosse meccaniche accidentali, ecc.; in quanto che queste cause perturbatrici, pur esistendo certamente, hanno leggi di variazione proprie che, con estrema probabilità, direi quasi certezza, non possono coincidere col periodo ciclico dell'entrata e dell'uscita del mercurio nel recipiente U. Ciò posto, passerò in rivista le altre cause sospettabili.

Perturbazioni meccaniche. — La varia posizione del mercurio, sia cioè nel recipiente U, sia nei sei serbatoi, potrebbe influenzare, per deformazione delle varie parti della disposizione (recipienti, pavimento, muro, mensola, tavoli, bilancia, lampade di proiezione, ecc.), la posizione di riposo della bilancia. Ma controlli preventivi mi hanno fatto vedere che certamente, se un'influenza del genere esiste, essa è inferiore al limite di precisione delle letture, e cioè ad $\frac{1}{10}$ di millimetro della scala verticale, a 12 metri dalla bilancia. D'altronde questa causa, che in certo modo mi aveva indotto in errore una volta, porterebbe ad un effetto di segno contrario al trovato. Infatti, la bilancia dovrebbe, se mai, più facilmente abbassarsi, per l'afflusso del mercurio in U, piuttosto che alzarsi.

Per quanto riguarda gli effetti newtoniani, i più importanti sono stati segnalati e valutati. Potrebbe, peraltro, pensare ad un effetto dovuto a

deformazioni del recipiente U, sotto il peso del mercurio, oppure ad accrescimento della densità di questo per compressibilità nelle parti più profonde. È facile il vedere che tali effetti sono di ordine assai piccolo e trascurabile; in ogni caso, poi, essi farebbero apparire la sfera di piombo *più pesante*, per la presenza del mercurio, e non più leggera, in conseguenza della maggiore massa di questo, accumulantesi al disotto di essa. Aggiungo inoltre che le deformazioni dell'ordine di $\frac{1}{10}$ di mm. delle pareti del recipiente, per la presenza del mercurio, non influiscono sui livelli di questo: infatti, tali livelli sono controllati al catetometro, e durante il controllo le deformazioni esistono già. Inoltre, la posizione di questo strumento, assai discosto dalla bilancia, non è menomamente influenzata da quella del mercurio.

Perturbazioni calorifiche. — Esse sono completamente evitate. Nessuna azione può avere la posizione del mercurio, sia sulle temperature dei due bracci della bilancia, sia sulla spinta delle sfere m ed m' . Infatti la bilancia è completamente protetta, ed il mercurio si muove dentro recipienti discosti dal giogo; la temperatura di questo liquido può al più differire di circa $\frac{1}{10}$ di grado da quella del giogo: e non è a credere che tale squilibrio di temperatura possa, anche in misura ridottissima, trasmettersi al giogo, nei 6 minuti necessari per ogni serie di osservazioni. Variazioni di spinta, dovute a perturbazioni termometriche, non sono da temersi (come si vide a suo tempo), in conseguenza della notevole rarefazione dell'aria.

Azioni radiometriche. — Potrebbero aver luogo nell'interno di V' ; ma certamente il loro effetto è trascurabilissimo, data la assai piccola differenza di temperatura ammissibile tra piombo e mercurio. A parte il fatto che tali differenze di temperatura dovrebbero esercitare la loro azione in conseguenza del loro passaggio da V allo strato di aria fra V e V' , rimanendo così di molto affievolite, esse, per ragioni di simmetria, darebbero alla sfera un impulso risultante nullo. Benchè non serva, si rileva, peraltro, che le pareti di V' sono nichelate e splendenti, e quindi hanno potere emissivo relativamente basso.

Azioni elettrostatiche. — Gli involucri V' e V , la custodia della bilancia, l'albero di sostegno del giogo, la massa di mercurio ecc., sono connessi metallicamente e posti al suolo. Può avvenire che il giogo e la sfera m , isolati elettricamente su i piani di agata del coltello centrale e di quello di destra, assumano cariche elettriche accidentali, dopo essere stata abbassata la forchetta di sostegno. Ma è assolutamente da escludersi che a traverso i due involucri metallici V e V' , posti, come si è detto, al suolo, una qualsiasi forza ponderomotrice si sviluppi per la presenza o per la assenza del mercurio. Certamente esisteranno, anche in assenza di quelle cariche accidentali, delle forze dovute alla attrazione fra metalli eterogenei (piombo e nichel), nell'interno di V' ⁽¹⁾; ma se anche esse non si annullassero per

(1) Vedi mio lavoro: Rendiconti Accademia dei Lincei, 5, VIII, pag. 303, an. 1899.

ragioni di simmetria, sarebbero in ogni modo costanti e non influenzabili dalla presenza o dall'assenza esteriore del mercurio.

Azioni magnetiche. — Più difficile è lo studio delle eventuali azioni magnetiche. Si sa anzitutto, che tanto il mercurio quanto il piombo sono diamagnetici: il primo molto più del secondo. Nessun dubbio quindi che in conformità si comporti il mercurio del recipiente U. Potendosi dubitare invece che il piombo della sfera *m* contenesse qualche accidentale impurità di ferro, mi sono assicurato delle sue proprietà diamagnetiche, ponendo questa sfera

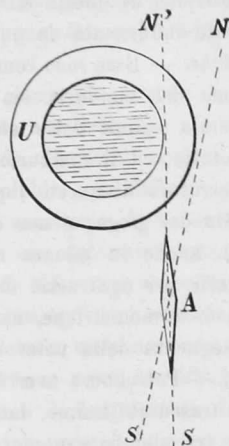


FIG. 8.

fra le espansioni di un elettromagnete, dopo averla fissata ed equilibrata al giogo di una grossolana bilancia; essa, in conseguenza della non uniformità del campo, appariva, se mai, respinta, e certamente non attratta.

Ora, in conseguenza del diamagnetismo del mercurio, il campo magnetico terrestre, in cui si trovano immerse la sfera *m* e la bilancia, viene certamente perturbato alquanto. La esperienza seguente stabilisce in certo modo la misura del fenomeno.

Pongo in vicinanza del recipiente U, nel quale si fa affluire il mercurio, un ago magnetico orizzontale lungo 10 cm., A, sospeso ad un filo di bozzolo, e fornito di specchio per l'osservazione su scala (fig. 8). La sua posizione rispetto ad U si fa variare a volontà. Se la distanza UA è di circa 25 cm., tenendo l'ago in guisa che esso, libero di oscillare, sia all'incirca tangente, colla sua direzione, alla massa del mercurio, si trova che per l'afflusso di questo, l'ago devia alquanto, come se fosse respinto dal mercurio. Su di una scala a m. 5,80 di distanza, un raggio luminoso riflesso

dallo specchio di A si sposta di 57 mm. circa. Ciò corrisponde ad una deviazione vera dell'ago, di un angolo metà: cioè

$$\frac{28,5}{2\pi \cdot 5800} 21600 = 17' \text{ circa.}$$

Tale deviazione diminuisce rapidamente man mano che l'ago A si allontana da U, pur mantenendosi questo sempre sulla sua primitiva direzione; ad un metro di distanza, essa è ridotta a meno di 10". La posizione dell'ago A sta, in ogni punto, ad indicare la direzione della componente orizzontale del magnetismo terrestre; la quale perciò resta alquanto perturbata per la presenza del mercurio, nelle immediate vicinanze di questo, e assai meno già ad un metro di distanza.

Ora, vi sono varie possibilità di azione del mercurio sull'equilibrio della bilancia. Potrebbe la parte di ottone del giogo, comportarsi analogamente ad un ago magnetico di inclinazione, e seguire, così, in certo modo, le variazioni delle linee di forza del campo magnetico terrestre. Alla distanza che intercede fra giogo ed il recipiente di mercurio, si è visto che esse sono dell'ordine di 10": ciò darebbe sulla scala a 12 metri, una deviazione del raggio luminoso, di circa mm. 1,2. Ora, non è facile il dire se il giogo si debba comportare come un corpo para- o diamagnetico. Ma comunque, esso potrà subire debolmente le variazioni di direzione delle linee di forza del campo, col tendere a disporsi secondo esse, oppure normalmente. Certamente però tale tendenza sarà occasionata, in qualunque caso, da forze di un ordine di grandezza enormemente più piccolo che non per quelle che solleciterebbero un ago magnetico. Per cui, a parte il fatto che il giogo offre, per la sua stabilità di equilibrio, una reazione alle forze che lo deviano (il che non succederebbe per un ago magnetico), la deviazione possibile sulla scala, se ve ne ha una, deve essere enormemente più piccola di mm. 1,2, e quindi del tutto trascurabile.

Il ragionamento precedente si riferisce all'ipotesi (del resto giustificata) che il giogo sia debolmente diamagnetico, come del resto sono le leghe di rame, stagno e piombo; e non ho tenuto conto della presenza dei coltelli, che sono d'acciaio, ma di dimensioni assai ridotte. Un'azione su di essi sarebbe spiegabile, se già nello spazio da essi occupato il campo magnetico terrestre potesse diventare non uniforme, sotto l'azione della presenza del mercurio. Potrebbe in tal caso manifestarsi una sorta di attrazione o repulsione; ma tale fatto non sembra poter intervenire in misura, anche lontanamente sensibile.

Piuttosto, può esistere un'azione sull'indice di acciaio verticale, portato dal giogo e che arriva sino alla scala H (vedi fig. 5). Esso è lungo 398 mm.; dal coltello centrale sino a 15 cm. più in basso, ha un diametro di 4,8 mm., poi si assottiglia sino a zero prima di arrivare in H. Se tale ago fosse ma-

gnetizzato, esso farebbe diventare la bilancia una specie di bussola di inclinazione magnetica, nella quale, peraltro, l'equilibrio sarebbe stabilito tra il momento magnetico ed il momento impresso dalla gravità. Supponiamo che questo non esista e che effettivamente solo il primo determini la posizione di equilibrio del giogo. Dall'esame della fig. 5 si rileva che si sarà così realizzata una disposizione analoga (ma in un piano verticale) a quella della fig. 8: cioè, serbatoio di mercurio ed ago magnetico situato lateralmente. L'arrivo del mercurio, in conseguenza del diamagnetismo di questo, farebbe deviare verso la sinistra la punta bassa dell'ago; per cui la sfera di piombo m si abbasserebbe. L'effetto sarebbe dunque contrario al constatato.

Ma le forze in giuoco sono più complesse; tutto fa però credere che, se pur l'effetto esiste, sarebbe sempre più piccolo di quello che subirebbe un ago libero, e, in ogni caso, di segno contrario a quello che si trova. È da notare che l'ago H non è sensibilmente magnetizzato, salvo una lievissima traccia dovuta a magnetismo indotto del campo terrestre; è infatti, in opportune condizioni, debolmente respinto da un polo magnetico nord. Alle sue proprietà magnetiche, non si può dunque ascrivere l'effetto constatato.

Rimane ora da vedere se non vi possa essere un'azione magnetica del mercurio, sulla palla di piombo. Ora, data la uniformità del campo terrestre nello spazio occupato dal mio apparecchio, sarebbe senza altro da escludersi tale azione. Infatti, se il mercurio dirada le linee di forza magnetica nella località occupata dalla massa m , non vi è ragione alcuna che da tale fatto derivi una forza ponderomotrice, diretta proprio verso l'alto, come è stato trovato. Per ragioni di simmetria, tutto dovrebbe rimanere in equilibrio.

Ma pure, una forza potrebbe manifestarsi se il campo non fosse uniforme. Ora, effettivamente, può darsi che una lieve inuniformità sia generata dai tre piedi di ferro del vaso U (vedi fig. 5). Quando fu costruito l'apparecchio, non pensai a tale eventualità; ma, come vedremo, la cosa non può avere conseguenze dannose. Ammettiamo che, in conseguenza della presenza di quel ferro, il campo sia lievemente più intenso in m , e che la sua intensità vada decrescendo verso l'alto. Il piombo di m , essendo diamagnetico, assume una certa posizione di equilibrio, un po' più alta, perchè respinto verso le località di campo più debole. Facciamo affluire il mercurio, in conseguenza del diamagnetismo di questo metallo, l'intensità del campo in cui si trova immersa la sfera m , non può che diminuire e la sfera di piombo si deve necessariamente abbassare. Neanche dunque a questo fenomeno può ascriversi il constatato fenomeno.

Un'altra esperienza che serve altresì ad indicare la assenza di perturbazioni di natura magnetica, è la seguente: in prossimità del vaso U , ed in posizioni diverse da caso a caso, sono stati collocati quattro magneti, pesanti ciascuno 20 grammi, e lunghi 10 cm. Essi perturbano il campo magnetico locale certamente assai più di quanto non lo faccia il mercurio; ma,

ciò malgrado, la loro azione sulla posizione di equilibrio della bilancia è del tutto inapprezzabile. Solo accrescendo sino a qualche chilogrammo la massa degli aghi magnetizzati si arriva a far deviare di qualche millimetro l'indice luminoso: questo risultato è stato propriamente ottenuto con un grosso fascio lungo 24 cm., composto di 6 sbarre del peso complessivo di kg. 2,100. Si comprende dunque che la perturbazione magnetica, che occasiona questo spostamento, è enorme di fronte a quella che può essere generata dal mercurio.

Azioni elettromagnetiche. — Un'altra causa di errore potrebbe sospettarsi: azioni elettromagnetiche occasionate da correnti vaganti nel sottosuolo. Potrebbe infatti darsi che tali correnti, essendo variabili, inducessero delle altre correnti sulla sfera *m*, donde la formazione di una forza ponderomotrice; tale forza sarebbe certamente modificata per la presenza del mercurio, venendosi così a constatare un falso effetto.

Ora, al riguardo di tale possibilità, si osserva che, se mai, l'azione dovrebbe essere stata, nelle eseguite esperienze, sensibilmente costante; e ciò nelle varie ore del giorno e della notte, come io ho constatato. Ciò appare, in ogni caso, poco probabile, giacchè le reti cittadine sono quasi inoperative nelle ore notturne. Altre ragioni, che per brevità non espongo, fanno del resto escludere l'intervento di tale fenomeno.

Comunque, ho voluto controllare la possibilità di un fatto simile, mediante il seguente esperimento: sotto al vaso U pongo un elettromagnete rettilineo, con nucleo di ferro verticale; le spire dell'avvolgimento sono dunque orizzontali, e l'asse dell'elettromagnete coincide con l'asse del vaso U, nel quale penetrano le sue linee di forza. Circondo il vaso U con una spirale di filo isolato, unito ad un telefono. Nell'elettromagnete circola una corrente alternata di frequenza solita (50 periodi), di cui si può regolare a volontà l'intensità. Per ottenere un suono percettibile al telefono, dovuto alla formazione di una corrente indotta, basta circa $\frac{1}{2}$ ampère nell'elettromagnete. Ma ciò non produce alcun cambiamento nella posizione dell'indice luminoso, tanto se in U vi sia, quanto se non vi sia il mercurio. Solo quando la corrente raggiunge 5 ampères circa, quell'indice si sposta per circa $\frac{1}{2}$ mm. sulla scala a 12 metri; ma lo spostamento non muta per l'immissione del mercurio. In queste condizioni, del resto, il telefono accusa una energica corrente indotta.

L'eseguito esperimento dimostra dunque che, in condizioni ordinarie, non vi è azione elettromagnetica sensibile che traversi la sfera di piombo; infatti, se ve ne fosse una, essa darebbe luogo ad una corrente indotta nel telefono (che certamente manca in ogni caso) prima di occasionare una forza ponderomotrice sulla sfera di piombo.

Tutto ciò vale per frequenze nell'ordine di 50 periodi a 1"; è inutile di pensare, ritengo, ad altre frequenze.