

St. Kalinowski.

Über die elektrische Messmethode der Horizontalintensität.¹⁾

O wyznaczaniu składowej poziomej metodą elektryczną.²⁾

Streszczenie.

Klasyczna metoda Gaussa wyznaczania składowej poziomej magnetyzmu ziemskiego polega, jak wiadomo, na wykonaniu dwu seryj pomiarów: 1) wyznaczenia okresu wahań swobodnie poziomo zawieszonoego na rozkręconem włóknie magnesu, 2) wyznaczenia kątów wychyleń innego magnesu pomocniczego z jego położenia normalnego, wywołanych przez odpowiednio umieszczony pierwszy magnes, którego okres wahań został wyznaczony. Pierwsza z tych seryj pozwala znaleźć iloczyn MH momentu magnetycznego magnesu przez składową poziomą, druga — iloraz $\frac{M}{H}$ tych wielkości; stąd wyznacza się ostatecznie zarówno H jak M .

Czas trwania całego takiego pomiaru wynosi około pięciu kwadransów, a z przeliczeniem około 3-ech godzin. Jednakowoż nietylko ze względu na oszczędność czasu, ale i z powodu tego, że wypada nieraz mierzyć H podczas szybko zachodzących zmian tej wielkości, byłoby rzeczą pożądaną posiadać metodę, prowadzącą prędzej do celu. Metody tej dostarcza nam dawno znana busola wstaw. A. Schusterowi jednak zawdzięczamy dopiero (w r. 1914) takie postawienie tej sprawy na porządku dziennym, że stała się ona popularna wśród magnetologów i pociągnęła za sobą konstrukcje przyrządów, stojących na odpowiedniej wysokości. Na rysunku 1 mamy taki przyrząd, uważany za normalny przez Instytut Carnegiego, na rys. 2 — magnetometr F. E. Smitha

¹⁾ Vorgetragen bei der VI. Tagung der Polnischen Physiker in Warschau, im September 1932.

²⁾ Praca referowana na VI Zjeździe Fizyków Polskich w Warszawie, we wrześniu 1932.

w wykonaniu firmy „The Cambridge-Instrument Co“. Przyrządem tego drugiego typu rozporządza Obserwatorium Magnetyczne w Świdrze dzięki zasiłkowi, który na ten cel uzyskało z Funduszu Kultury Narodowej.

Pomiar polega na wyznaczaniu przy pomocy potencjometru natężenia prądu w pierścieniach *Helmholtz*a, w których środku mieści się swobodnie mogący się poruszać w płaszczyźnie poziomej magnes, i odpowiadającego temu kąta wychylenia magnesu. Czas trwania całego pomiaru wynosi około pięciu minut; drugie tyle trwa znalezienie H według wzoru (3). Oszczędność czasu jest tu mniej więcej 20-krotna. Dokładność wyznaczeń w najlepszym razie $\pm 2\gamma$ ($1\gamma = 10^{-5}$ gaussa), podczas gdy dokładność wyznaczeń — również w najlepszym razie — metodą *Gauss*a jest $\pm 1\gamma$. Wadami przyrządu są: 1) komplikacje, które daje w ruchach magnesów ciecz, w której te magnesy są zanurzone, 2) trudność utrzymania (zwłaszcza w pracy polowej) dokładności kontaktów, 3) niespodzianki, które zawsze są możliwe ze strony ogniwa normalnego w potencjometrze. Wszystkie te okoliczności pozwalają twierdzić, że za pomiary podstawowe w tej dziedzinie w dalszym ciągu uważać należy klasyczną metodę. Nie mniej w wielu razach przyrząd tego nowego typu oddaje ogromne usługi i jako przyrząd pomocniczy pożądanym jest w każdym obserwatorium magnetycznym.

Świder, Obserwatorium Magnetyczne.

Rękopis otrzymany dnia 17 listopada 1932.

Wie bekannt, besteht die klassische *Gauss*sche Methode der Bestimmung der Horizontalintensität aus zwei Reihen von Beobachtungen. Erstens wird die Schwingungsdauer eines frei auf einem austoridierten Faden horizontal aufgehängten und aus seiner Ruhelage im magnetischen Meridian abgelenkten Magneten bestimmt, und zwar einmal bei einer gegebenen Lage des Magneten, das zweite Mal nach Drehung desselben um 180° um seine Achse; zweitens werden die Ablenkungswinkel eines horizontal frei schwebenden Hilfsmagneten aus seiner Ruhelage gemessen, welche durch den in einer entsprechenden Entfernung seitlich aufgelegten Hauptmagneten, dessen Schwingungsdauer bestimmt wurde, verursacht werden. Die erste Beobachtung gibt uns den Wert des Produktes MH aus der Horizontalintensität und dem magnetischen Moment des Hauptmagneten, die zweite — den des Quotienten $\frac{M}{H}$ derselben Größen; daraus lässt sich also leicht sowohl H als M finden.

Was die Ausführung der genannten Beobachtungen betrifft, braucht man dafür etwa $1\frac{1}{4}$ Stunden; da die Formeln, mittels welcher man die Resultate berechnet, infolge einer ganzen Reihe von Korrekturen ziemlich kompliziert sind, dauert im Ganzen die Bestimmung (samt der Berechnung) der Horizontalintensität nach dieser Methode etwa 3 Stunden. Es ist deshalb klar, dass eine andere Methode, die dasselbe Resultat mit derselben Genauigkeit in einer viel kürzeren Zeit zu erhalten erlauben würde, sehr wünschenswert wäre. Sie wäre in den Fällen besonders

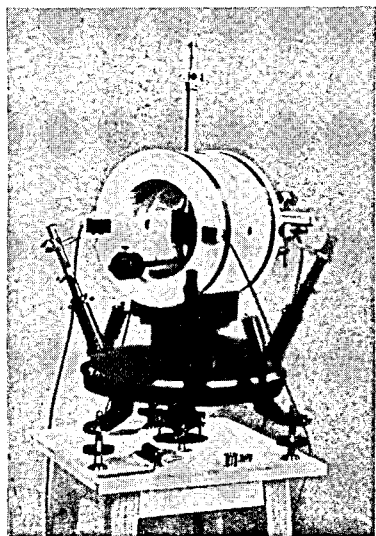


Abb. 1.

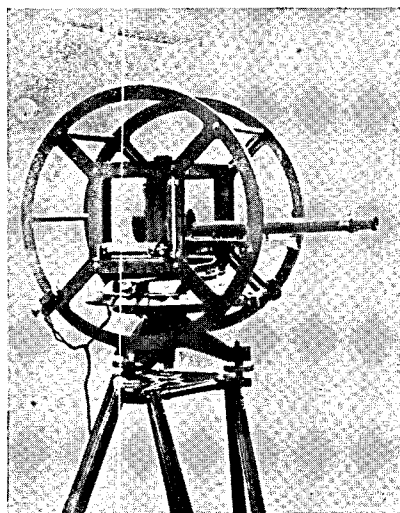


Abb. 2.

wichtig, in denen man es mit schnellen Änderungen der Horizontalintensität zu tun hat. Die Möglichkeit einer solchen viel rascheren Bestimmung der Horizontalintensität liefert uns die altbekannte Sinusbussole; wir verdanken aber erst A. Schuster¹⁾ sowohl die Initiative der Verbreitung dieser Idee unter Fachleute, wie die Ausarbeitung der praktischen Konstruktionsbedingungen, bei deren Realisierung man wirklich die gewünschte Präzision erhalten kann.

In „The National Physical Laboratory“ wurde das Instrument nach den Angaben von A. Schuster konstruiert²⁾ und die mittels dieses Instrumentes ausgeführten Messungen von H entsprachen allen Erwartungen. Doch war das Instrument in dieser Ausführung den weiteren

¹⁾ Terrestrial Magnetism, XIX, March 1914.

²⁾ K. Glazebrook, A Dictionary of applied Physics, Vol. II, p. 528.

Kreisen der Beobachter unzugänglich und erforderte gewisse technische Verbesserungen, die tatsächlich später realisiert wurden.

In der Abb. 1 sehen wir das Normalinstrument dieser Art des Carnegie Institutes, in Abb. 2 das F. E. Smithsche Magnetometer in der Ausführung von „The Cambridge Instrument Co“.

Das letztgenannte Instrument wird seit dem Jahre 1930 im Erdmagnetischen Observatorium in Świder für laufende Beobachtungen benutzt. Die nötigen Geldmittel zur Erwerbung des Instrumentes erhielt das Observatorium aus dem Fonds der Nationalen Kultur (Fundusz Kultury Narodowej).

Das Smithsche Magnetometer besteht aus einem Azimutalkreise von 25 cm Durchmesser, auf welchem die Winkel mittels Nonien und Mikroskope mit der Genauigkeit von $\pm 10''$ abgelesen werden können. Über dem Kreise befindet sich der um die vertikale, durch die Mitte des Azimutalkreises gehende, Achse drehbare Teil. Hier haben wir zwei parallel aufgestellte, vertikale, aus je 40 Windungen bestehende Spulen, deren mittlerer Durchmesser 40 cm, die gegenseitige Entfernung 20 cm beträgt. Die Spulen sind in Reihe geschaltet und bilden folglich ein Helmholtzsches System, in dessen Mitte das von einem durch die Spulen fließenden Strom erzeugte magnetische Feld als homogen betrachtet werden kann. Zwischen den Spulen sieht man ein metallisches, mit Petroleum gefülltes Gefäß, in dem auf einem sich unter hydrostatischem Druck befindenden und sich infolgedessen mit sehr kleiner Reibung auf einer Spitze drehenden System zwei kleine parallele Magnetstäbe von den Dimensionen $1,5 \times 1,5 \times 12$ mm horizontal befestigt sind und im homogenen Teile des durch den Strom verursachten magnetischen Feldes freie Bewegungen in horizontaler Richtung ausführen können. Mit dem im Petroleum schwebenden System sind vier kleine ($1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$) vertikale, unter rechten Winkeln gegeneinander aufgestellte Spiegel verbunden, welche dazu dienen, um mittels des Fernrohres auf das Magnetsystem durch das im Metallgefäß sich befindende Fenster zu visieren und auf diese Weise durch Autokollimation das Fernrohr auf das Magnetsystem einzustellen. Selbstverständlich sind alle Teile des Instrumentes ausser den kleinen Magneten vollkommen unmagnetisch.

Bleiben die Helmholtzsch Spulen ohne elektrischen Strom, so befinden sich die Magnete im magnetischen Meridian. Wird dann der elektrische Strom durch die Spulen durchgelassen, dessen Stärke mittels eines Potentiometers gemessen wird, so werden die Magnete abgelenkt und der ganze drehbare Teil mit dem Fernrohre muss gedreht werden, um wieder das Fernrohr auf das Magnetsystem einzustellen. Die Methode der Einstellung ist also dieselbe, wie bei den gewöhnlichen magnetischen Theodoliten. Wenn man die Richtung des Stromes wech-

selt, ohne seine Stärke zu ändern, so erhält man eine Ablenkung von entgegengesetzter Richtung. Zwei Ablesungen, von denen eine der Ablenkung nach einer Richtung, die zweite nach der entgegengesetzten, entsprechen (bei derselben Stromstärke), geben also den doppelten Ablenkungswinkel, dessen Hälfte den gesuchten Ablenkungswinkel unter Berücksichtigung der vom registrierenden Variometer notierten Änderung der Horizontalintensität gibt. Die Einstellung auf das Magnetsystem beim Fehlen des Stromes ist also gar nicht nötig¹⁾.

Bezeichnen wir durch F die Intensität des durch den Strom erzeugten magnetischen Feldes, durch α den erhaltenen Ablenkungswinkel durch i die Stromstärke, so haben wir

$$\sin \alpha = \frac{F}{H} \quad (1)$$

$$F = Ci \quad (2)$$

wo C ein Koeffizient ist, der von Dimensionen der Spulen, deren Abstand, der Zahl der Windungen abhängt und mit der Temperatur variiert.

Von 1) und 2) gehen wir zu der endgültigen Formel über:

$$H = C \frac{i}{\sin \alpha} \quad (3)$$

welche zur Berechnung der Horizontalintensität dient.

Die Ausführung der beschriebenen Beobachtung, wobei man α und i abzulesen hat, dauert etwa 5 Minuten. Für die Berechnung von H nach der Formel (3), wenn C bekannt ist, braucht man auch etwa 5 Minuten. Wir sind infolgedessen bei Benützung dieser Methode in etwa 10 Minuten mit der Bestimmung der Horizontalintensität vollkommen fertig, reduzieren also die dazu nötige Zeit im Vergleich mit der G a u s s schen Methode auf beinahe $\frac{1}{20}$.

Was den Koeffizienten C betrifft, kann er entweder in absoluter Weise nach dem genauen Ausmessen des Instrumentes bestimmt werden — dann ist das Instrument als absolutes zu betrachten, oder durch den Vergleich mit einem anderen Instrumente (dem G a u s s schen Magnetometer oder den mittels des G a u s s schen Magnetometers kalibrierten Registrierapparaten) — dann ist die Messung in relativer Weise ausgeführt. Das Modell des C a r n e g i e Institutes ist als ein absolutes gedacht, das S m i t h sche Magnetometer vielmehr als relatives.

Die Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers belehrt uns, dass die Bestimmung der Horizontalintensität nach dieser elektrischen Methode

¹⁾ A. S c h u s t e r benutzt eine etwas andere Art der Einstellung, damit aber wird im Prinzip nichts geändert.

im besten Falle mit der Genauigkeit auf $\pm 2 \gamma$ ($1 \gamma = 10^{-5}$ Gauss) ausgeführt werden kann. Im Vergleich mit den mittels der grösstenteils benutzten Magnetometer erhaltenen Resultaten, ist diese Genauigkeit ziemlich gross, doch wird sie von der Genauigkeit ($\pm 1 \gamma$), die uns die besten neuen Magnetometer vom klassischen Typus (Magnetometer nach Ad. Schmidt) geben, übertroffen.

Wie gesagt, ist seit dem Jahre 1930 im Erdmagnetischen Observatorium in Świder das Smithsche Magnetometer im laufenden Betrieb. Auf Grund dieser Praxis möchte ich einige Bemerkungen über die Konstruktion und das Funktionieren des Instrumentes hinzufügen.

Die Idee, den hydrostatischen Druck zur Verminderung der Reibung im beweglichen Teile auszunutzen ist zweifellos sehr glücklich. Besonders ist diese Einrichtung im Falle der Feldbeobachtungen, wo jede Manipulation mit feiner Aufhängung sehr schwierig ist, sehr geschickt. Doch muss ich betonen, dass auf diese Weise die Reibung nicht in solchem Grade vermindert wird, wie es man bei präzisen Observatoriumsbeobachtungen zu wünschen hätte. Meiner Meinung nach würde man bessere Resultate mit der Quarzaufhängung erhalten. Ausserdem ist es nicht möglich, das Verdampfen des Petroleums zu verhindern; das verursacht aber eine Änderung des hydrostatischen Drucks. Diese Tatsache und die Entstehung der Strömungen in der Flüssigkeit infolge Temperaturdifferenzen wirken zuweilen störend und vermindern die Präzision der Beobachtungen.

Ferner ist es von grösster Wichtigkeit, während der Beobachtungen keine — selbst nicht die kleinsten — Änderungen in den Kontaktstellen zu haben. Da es sich hier um eine Bestimmung der Stromstärke (in Ampère) mit einer Genauigkeit bis auf die Einheit in der fünften Dezimale handelt, so macht eine Schwankung der Kontaktvollkommenheit, was besonders auf der Reise vorkommen kann, die ganze Messungspräzision illusorisch. Deshalb ist es ratsam, auf diesen Detail eine besondere Aufmerksamkeit zu richten.

Noch wichtiger aber ist der Umstand, dass man es hier, wie üblich bei Potentiometern, mit einem Normalelemente zu tun hat. Wenn man keine Gelegenheit hat, das Normalelement einer ständigen Kontrolle zu unterwerfen, kann man Opfer einer unerwarteten Änderung dessen elektromotorischer Kraft werden. So war ich z. B. im Stande zu konstatieren, dass unsere Messungen der Horizontalintensität mittels des Smithschen Magnetometers zuerst bis auf $\pm 2 \gamma$ mit den Angaben unserer Registrierapparate, die nach der Gauss'schen Methode kalibriert werden, stimmten. Später aber wurde die Übereinstimmung immer schlechter und es zeigte sich, dass die Ursache dieser immer grösser

werdenden Divergenz im Normalelement zu suchen war. Das ist auch der Grund, weshalb ich behaupte, dass die absoluten Messungen nach der klassischen Methode sowohl jetzt wie früher das Fundament aller erdmagnetischen Untersuchungen bilden. Nichtdestoweniger ist die elektrische Methode in gewissen Fällen sehr fruchtbar; es ist daher sehr wünschenswert, dass jedes erdmagnetische Observatorium einen dieser Methode dienenden Apparat als Hilfsinstrument besitze.

Świder, Erdmagnetisches Observatorium.

Eingegangen am 17. November 1932.
