

## Werk

**Jahr:** 1929

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:5

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0005

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0005](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0005)

**LOG Id:** LOG\_0015

**LOG Titel:** Die Registrierung der Schwingungen eines Schwerkraftpendels mittels hochfrequenter elektrischer Schwingungen und ihre Rückwirkung auf das Pendel

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN101433392X

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

**OPAC:** <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

## Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Die Registrierung der Schwingungen eines Schwerkraftpendels mittels hochfrequenter elektrischer Schwingungen und ihre Rückwirkung auf das Pendel.

Von H. Schmehl, Potsdam.

Durch umfassende Beobachtungen eines Schwerkraftpendels wird der Einfluß einer neuen Registriereinrichtung, die mit hochfrequenten elektrischen Schwingungen und mit kapazitiven Kontakten arbeitet, auf die Schwingungszeit des Schwerkraftpendels untersucht. Es wird experimentell nachgewiesen, daß eine solche Registrierung bei relativen Schwerkraftmessungen gut<sup>a</sup> verwendbar ist. Die Rückwirkung der Registriereinrichtung auf die Pendelschwingungen erweist sich als verschwindend klein.

Bereits im Oktober des Jahres 1928 waren von mir im Geodätischen Institute Pendelbeobachtungen in der Absicht ausgeführt worden, die Rückwirkung einer Pendelregistrierung mittels hochfrequenter elektrischer Schwingungen auf die Pendelbewegung zu studieren. Die von P. Lejay<sup>1)</sup> zu dem gleichen Zweck vorgenommenen Beobachtungen sind zur Klärung der vorliegenden Frage im Hinblick auf die heute verlangte Genauigkeit der relativen Schwerkraftmessungen keineswegs ausreichend; seine letzten Beobachtungen ergaben für ein 0,7-Sekundenpendel eine Änderung der Schwingungszeit des Pendels von  $1^s \cdot 10^{-6}$ ; diesem Werte entspricht eine Änderung der Schwerebeschleunigung von 3 mgal<sup>2)</sup>. Die vorhin erwähnten, im Geodätischen Institut ausgeführten Messungen hatten zum Ergebnis, daß die eingeschaltete Registriereinrichtung die Schwingungszeit eines Halbsekundenpendels um weniger als  $3^s \cdot 10^{-7}$  änderte, d. h. um einen Betrag, der einer Änderung der Schwerebeschleunigung von 1 mgal gleichkommt.

Um zu einem schärferen Ergebnis zu gelangen, setzte ich die Pendelbeobachtungen nach Vornahme einiger instrumenteller Verbesserungen in umfassenderer systematischer Weise im Januar 1929 fort.

**1. Die Apparatur.** Zur Beobachtung diente das neu vergoldete Nickelstahl-Halbsekundenpendel F 3 (Hersteller M. Fechner) in einem Dreipendel-Haubenapparat. Das Pendel besitzt eine gabelförmige Aufhängung und ist mit einer Achatschneide versehen.

Am äußeren Rande der horizontalen Pendellinse wurden zwei kleine Messingwinkel mittels einer sehr dünnen Wachsschicht einander gegenüber befestigt; durch diese Art der Verbindung wurde das Pendel nicht beschädigt. Der erste Messingwinkel trug einen kleinen horizontalen Messingstift, der zweite ein horizontales Messingplättchen.

Zur Registrierung der Pendelschwingungen diente die im Prinzip von P. Lejay konstruierte Einrichtung<sup>1) 2)</sup>. Nach Angabe von H. Mahnkopf<sup>3)</sup> wurde jedoch der Heterodynapparat, den P. Lejay als Sender benutzte, durch einen Audion-Rückkopplungsempfänger ersetzt; statt des von P. Lejay verwendeten Oszillographen wurde ein Telephonrelais eingeschaltet.

Die Antennen der Registriereinrichtung wurden an den Messingstift bzw. an das Messingplättchen in der Weise hingeführt, daß sie durch zwei Durchbohrungen eines Holzringes geleitet wurden, der zwischen Pendelstativ und Pendelhaube eingelegt worden war. Die Enden der Antennen waren mit Justiereinrichtungen versehen, um sie der Pendellinse beliebig nähern zu können.

Der Beobachtungspfeiler im Mittelkeller (Nordkeller) des Geodätischen Institutes war gut stabil. Die Elastizität des gesamten Pendelstativs erzeugte eine Änderung in der Koinzidenzzeit des Pendels von  $10,1^{ms}$ ; dieser Wert wurde aus Amplitudenbeobachtungen mit Hilfe eines zweiten Pendels vor und nach den Koinzidenzzeitbeobachtungen abgeleitet. Eine häufigere Bestimmung des Mitschwingens des Stativs ist absichtlich unterblieben; wie aus der Art des Beobachtungsprogramms hervorgeht, hätte eine solche das Endergebnis der Beobachtungen nicht beeinflussen können, da bei dessen Ableitung lediglich die Annahme zugrunde gelegt wurde, daß sich die Stabilität des Stativs während der Dauer von je fünf Stunden nicht oder linear mit der Zeit änderte.

Als Beobachtungsuhr diente die Sekundenpendeluhr Riefler Nr. 96 mit Nickelstahlpendel und elektrisch betriebenen Aufzug; sie befindet sich in dem Keller des Uhrenhauses des Geodätischen Institutes. Der Stand der Uhr wurde täglich automatisch verglichen mit den Ständen von fünf weiteren Präzisions-Sekundenpendeluhren. Die folgende Tabelle gibt die Stände der Uhr Riefler Nr. 96 um 12<sup>h</sup> M. E. Z.

Tabelle 1. Uhrstände Riefler Nr. 96.

1929	$\Delta u$	1929	$\Delta u$
5. Januar . . . .	+ 57.352 <sup>s</sup>	19. Januar . . . .	+ 51.842 <sup>s</sup>
6. " . . . .	56.971	20. " . . . .	51.475
7. " . . . .	56.599	21. " . . . .	51.062
8. " . . . .	56.188	22. " . . . .	50.702
9. " . . . .	55.810	23. " . . . .	50.317
10. " . . . .	55.397	24. " . . . .	49.928
11. " . . . .	55.014	25. " . . . .	49.547
12. " . . . .	54.582	26. " . . . .	49.169
13. " . . . .	54.186	27. " . . . .	48.792
14. " . . . .	53.789	28. " . . . .	48.433
15. " . . . .	53.398	29. " . . . .	48.098
16. " . . . .	53.028	30. " . . . .	47.757
17. " . . . .	52.642	31. " . . . .	47.418
18. " . . . .	52.264	1. Februar . . . .	47.073

Aus der Tabelle geht hervor, daß der mittlere tägliche Gang der Uhr Riefler Nr. 96 nur geringen Schwankungen unterworfen gewesen ist.

Die Temperatur des Pendels zeigte ein Präzisionsthermometer mit  $\frac{1}{5}$ -Gradeinteilung an, der Luftdruck wurde an einem Quecksilberbarometer abgelesen; die Luftfeuchtigkeit wurde aus den Ablesungen an einem Psychrometer ermittelt.

**2. Die Pendelbeobachtungen.** Die Beobachtungen des Pendels F3 wurden im Nordkeller (Mittelkeller) des Geodätischen Institutes ausgeführt. Das Koinzidenzintervall  $c$  des Pendels wurde 40 mal bestimmt. Das Pendel wurde jedesmal mit einer Amplitude von möglichst 20' losgelassen. Nach etwa 2 bis 3 Minuten wurden 10 aufeinanderfolgende Koinzidenzen mit Hilfe des Koinzidenzapparates beobachtet und nach 60 bis 70 Minuten 10 weitere Koinzidenzen. Aus diesen 20 Koinzidenzmomenten wurde das Koinzidenzintervall  $c$  abgeleitet. Zu Beginn und am Ende jeder Beobachtung wurden die Pendeltemperatur, der Luftdruck, die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit ermittelt.

Von den somit skizzierten Beobachtungen wurden stets vier unmittelbar hintereinander ausgeführt in der Art, daß sich Beobachtungen mit eingeschalteter Registriereinrichtung ( $m$ ) in symmetrischer Weise mit Beobachtungen bei ausgeschalteter Registriereinrichtung ( $o$ ) abwechselten. Im einzelnen ist das Beobachtungsprogramm aus der Tabelle 2 ersichtlich.

In der Tabelle bedeuten:

- $c$  das beobachtete Koinzidenzintervall,
  - $a$  die mittlere Amplitude des Pendels,
  - $t$  die Pendeltemperatur,
  - $d$  die relative Luftdichte,
  - $\mathcal{A}(a)$  die Reduktion von  $c$  auf die Amplitude 17,0',
  - $\mathcal{A}(t)$  " " "  $c$  " " Temperatur 4,00° C,
  - $\mathcal{A}(d)$  " " "  $c$  " " relative Luftdichte 1,0000,
  - $\mathcal{A}(\mathcal{A}^2 u)$  " " "  $c$  " den täglichen Uhgang — 0,400° ,
  - $c_0$  das reduzierte Koinzidenzintervall;
- $$c_0 = c + \mathcal{A}(a) + \mathcal{A}(t) + \mathcal{A}(d) + \mathcal{A}(\mathcal{A}^2 u).$$

In der letzten Spalte sind die Mittelwerte der bei eingeschalteter Registriereinrichtung ( $m$ ) gewonnenen  $c_0$  und die Mittelwerte der bei ausgeschalteter Registriereinrichtung ( $o$ ) ermittelten  $c_0$  angegeben und je die Differenz dieser Werte im Sinne ( $m$ ) — ( $o$ ).

Die Berechnung der einzelnen Reduktionsgrößen ist in bekannter Weise geschehen <sup>4)</sup>.

Die Reduktionen auf konstante Temperatur und auf konstante relative Luftdichte wurden mittels der Temperaturkonstanten 1,24<sup>ms</sup> und mittels der Luftdichtekonstanten 235,8<sup>ms</sup> ausgeführt <sup>4)</sup>. Diese Konstanten <sup>5)</sup> gelten zwar nur für das Pendel ohne die oben erwähnten für die Registrierung notwendigen kleinen Messingwinkel. Mit Rücksicht auf den Zweck der hier dargestellten Beobachtungen war indessen die Verwendung der gleichen Konstanten

Tabelle 2.

Beobachtungen des Nickelstahl-Halbsekundenpendels F3.

Nr.	Datum 1929 Jan.	Reg.	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>t</i>	<i>d</i>	$\Delta(a)$	$\Delta(t)$	$\Delta(d)$	$\Delta(\Delta^2 u)$	<i>c</i> <sub>0</sub>	$\frac{m, o}{m-o}$ 29.9 <sup>s</sup>
			29.9 <sup>s</sup>	+								
			29.9 <sup>s</sup>	+								
1	9 a	<i>o</i>	-6.5 <sup>ms</sup>	16.9'	4.32 <sup>0</sup>	1.0019	-0.1 <sup>ms</sup>	+0.4 <sup>ms</sup>	+0.4 <sup>ms</sup>	-0.1 <sup>ms</sup>	- 5.9 <sup>ms</sup>	-6.8 <sup>ms</sup>
2		<i>m</i>	-8.8	16.2	4.28	1.0016	-0.2	+0.3	+0.4	-0.1	- 8.4	-6.2.
3		<i>m</i>	-5.9	17.4	4.22	1.0015	+0.1	+0.3	+0.4	-0.1	- 5.2	—
4		<i>o</i>	-7.4	17.9	4.20	1.0016	+0.3	+0.2	+0.4	-0.1	- 6.6	-0.5.
5	11 a	<i>m</i>	-6.4	16.6	3.34	0.9980	-0.1	-0.8	-0.5	+0.1	- 7.7	-7.3.
6		<i>o</i>	-5.8	17.1	3.34	0.9982	0.0	-0.8	-0.4	+0.1	- 6.9	-6.8.
7		<i>o</i>	-5.6	17.1	3.32	0.9973	0.0	-0.8	-0.6	+0.2	- 6.8	—
8		<i>m</i>	-5.9	17.8	3.30	0.9969	+0.3	-0.9	-0.7	+0.2	- 7.0	-0.5
9	12 a	<i>o</i>	-5.1	16.7	3.22	0.9957	-0.1	-1.0	-1.0	+0.3	- 6.9	-6.3.
10		<i>m</i>	-4.1	17.7	3.28	0.9949	+0.2	-0.9	-1.2	+0.3	- 5.7	-5.3.
11		<i>m</i>	-5.1	16.8	3.40	0.9942	-0.1	-0.7	-1.4	+0.3	- 7.0	—
12		<i>o</i>	-2.4	18.3	3.48	0.9938	+0.4	-0.6	-1.5	+0.3	- 3.8	-1.0
13	17 p	<i>m</i>	+3.8	16.8	3.80	0.9660	-0.1	-0.2	-8.0	-0.4	- 4.9	-4.2
14		<i>o</i>	+4.7	17.0	3.80	0.9666	0.0	-0.2	-7.9	-0.4	- 3.8	-4.0
15		<i>o</i>	+3.8	17.2	3.80	0.9682	+0.1	-0.2	-7.5	-0.4	- 4.2	—
16		<i>m</i>	+4.3	17.1	3.80	0.9693	0.0	-0.2	-7.2	-0.4	- 3.5	-0.2
17	19 a	<i>o</i>	+0.3	16.7	4.36	0.9739	-0.1	+0.4	-6.2	0.0	- 5.6	-2.5
18		<i>m</i>	+2.3	16.8	4.40	0.9736	-0.1	+0.5	-6.2	-0.1	- 3.6	-2.5
19		<i>m</i>	+4.5	16.6	4.42	0.9736	-0.1	+0.5	-6.2	-0.1	- 1.4	—
20		<i>o</i>	+6.3	17.7	4.48	0.9734	+0.2	+0.6	-6.3	-0.2	+ 0.6	0.0
21	22 a	<i>m</i>	+2.9	15.7	4.40	0.9837	-0.4	+0.5	-3.8	-0.6	- 1.4	-0.4
22		<i>o</i>	+4.2	15.9	4.40	0.9830	-0.3	+0.5	-4.0	-0.6	- 0.2	-0.1
23		<i>o</i>	+4.6	16.1	4.40	0.9821	-0.3	+0.5	-4.2	-0.6	+ 0.0	—
24		<i>m</i>	+5.2	16.4	4.40	0.9817	-0.2	+0.5	-4.3	-0.6	+ 0.6	-0.3
25	23 p	<i>o</i>	+3.6	16.4	4.59	0.9745	-0.2	+0.7	-6.0	-0.3	- 2.2	-0.8.
26		<i>m</i>	+4.9	16.6	4.60	0.9755	-0.1	+0.7	-5.8	-0.3	- 0.6	-1.3
27		<i>m</i>	+4.2	17.3	4.60	0.9756	+0.1	+0.7	-5.8	-0.3	- 1.1	—
28		<i>o</i>	+5.2	17.1	4.61	0.9741	0.0	+0.8	-6.1	-0.3	- 0.4	+0.4.
29	24 p	<i>m</i>	+3.6	16.7	4.60	0.9738	-0.1	+0.7	-6.2	-0.3	- 2.3	-1.2
30		<i>o</i>	+4.7	16.7	4.60	0.9738	-0.1	+0.7	-6.2	-0.3	- 1.2	-1.0.
31		<i>o</i>	+5.0	16.7	4.60	0.9738	-0.1	+0.7	-6.2	-0.3	- 0.9	—
32		<i>m</i>	+5.8	16.8	4.60	0.9738	-0.1	+0.7	-6.2	-0.3	- 0.1	-0.1.
33	25 a	<i>o</i>	+2.0	16.7	4.52	0.9741	-0.1	+0.6	-6.1	-0.4	- 4.0	-1.6
34		<i>m</i>	+4.6	16.9	4.51	0.9741	0.0	+0.6	-6.1	-0.4	- 1.3	-2.3
35		<i>m</i>	+4.1	17.1	4.50	0.9739	0.0	+0.6	-6.2	-0.4	- 1.9	—
36		<i>o</i>	+5.4	17.1	4.50	0.9736	0.0	+0.6	-6.2	-0.4	- 0.6	+0.7
37	29 p	<i>m</i>	-5.7	16.8	4.24	0.9887	-0.1	+0.3	-2.7	-1.2	- 9.4	-9.8.
38		<i>o</i>	-3.8	16.7	4.24	0.9895	-0.1	+0.3	-2.5	-1.2	- 7.3	-8.9
39		<i>o</i>	-7.4	16.9	4.23	0.9905	0.0	+0.3	-2.2	-1.2	-10.5	—
40		<i>m</i>	-7.1	16.7	4.23	0.9908	-0.1	+0.3	-2.2	-1.2	-10.3	-0.9.
Mittel			+0.18 <sup>ms</sup>	16.9'	4.15 <sup>0</sup>	0.9830	-0.04 <sup>ms</sup>	+0.18 <sup>ms</sup>	-4.00 <sup>ms</sup>	-0.30 <sup>ms</sup>	- 3.98 <sup>ms</sup>	-0.25 <sup>ms</sup>

zur Reduktion der Koinzidenzzeiten des wenig veränderten Pendels auf gleiche Verhältnisse durchaus statthaft.

Die Beobachtungen waren von äußeren Verhältnissen sehr begünstigt. Die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit im Beobachtungsraum sind hervorragend unveränderlich geblieben. Der Luftdruck ist nur zeitweise etwas größeren Schwankungen unterworfen gewesen. Wie aber aus den Barometerablesungen und aus den Barographenaufzeichnungen hervorgeht, hat sich der Luftdruck während der einzelnen Beobachtungssätze fast linear mit der Zeit geändert.

Daß die in der letzten Tabellenspalte je an erster und je an zweiter Stelle angegebenen reduzierten Koinzidenzzeiten nicht so gut untereinander übereinstimmen, ist neben zufälligen Beobachtungsfehlern auch systematischen Fehlern zuzuschreiben; als Ursachen dieser Fehler kommen unter anderen in Frage: Veränderungen der Elastizität des Pendelstativs, Verwendung ungenauer Temperatur- und Luftdichtekonstanten und ungenauer momentaner Uhgänge zur Reduktion der beobachteten Koinzidenzintervalle auf gleiche Verhältnisse, Veränderungen in dem Aufliegen des Pendels, da dieses nach jedem Beobachtungssatz auf eine Hilfslagerfläche gehoben wurde.

**3. Das Ergebnis der Pendelbeobachtungen.** Das Programm der Pendelbeobachtungen war so angelegt worden, daß die in der letzten Tabellenspalte je an dritter Stelle angegebenen Endwerte als von systematischen Fehlern möglichst weitgehend befreit gelten können. Hierauf deutet auch die zahlenmäßig gute Übereinstimmung der einzelnen Differenzen hin. Der Mittelwert dieser Differenzen ist  $-0,25^{\text{ms}}$ , der mit einem aus der inneren Übereinstimmung der Einzelwerte abgeleiteten mittleren Fehler von  $\pm 0,17^{\text{ms}}$  behaftet ist.

Ist  $g$  die Beschleunigung der Schwere, so gilt allgemein

$$dg = \frac{2g}{c_0(2c_0 - 1)} dc$$

und hier im besonderen

$$dg = 1,12 dc.$$

Auf Grund der mitgeteilten Beobachtungen vermindert also die Registrierung das Koinzidenzintervall um einen Betrag, dem eine Änderung der Schwerebeschleunigung von  $-0,3 \pm 0,2$  mgal entspricht.

Bei den mit  $m$  bezeichneten Beobachtungen ist die Registriereinrichtung dauernd eingeschaltet gewesen; außerdem ist sie absichtlich mit einer weit größeren als notwendigen Energie betrieben worden. Bei der praktischen Verwendung der Registriereinrichtung liegen die Verhältnisse wesentlich günstiger, da dieselbe zu Beginn und am Ende der Pendelbeobachtung jeweils nur kurze Zeit eingeschaltet zu werden braucht.

Es dürfte mithin der Nachweis erbracht sein, daß die Registrierung von Pendeln mittels hochfrequenter Ströme bei relativen Schweremessungen gut verwendbar ist.

**Literatur.**

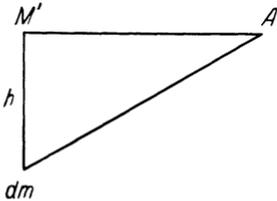
- 1) P. Lejay: Ein Schritt zur Beseitigung der Kontakte in den Präzisions-Pendeluhren. Deutsche Uhrmacher-Zeitung **52**, Heft 2, S. 23—25; Heft 3, S. 43—44 (1928).
- 2) Derselbe: Die genaue Bestimmung der Schwingungsdauer eines Pendels. Neue Registriermethoden und Uhrvergleiche größter Genauigkeit ohne Chronographen. Ebenda **52**, Heft 48, S. 899—901; Heft 52, S. 981—982 (1928).
- 3) H. Mahnkopf: Die Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte. Zeitschr. f. Geophys. **5**, Heft 2, S. 49—52 (1929).
- 4) H. Schmehl: Die Reduktion der Koizidenzenzeiten von Pendeln zur Berechnung von Schweredifferenzen. Ebenda **5**, Heft 1, S. 1—15 (1929).
- 5) Jahresbericht des Direktors des Kgl. Geodätischen Institutes. Potsdam 1917, S. 24; 1918, S. 26.

Potsdam, Geodätisches Institut, den 15. März 1929.

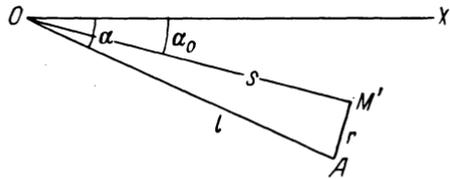
**Interrelation between local gravity anomalies and the derivatives of the potential.**

By **B. Numerov**. — (With 3 Illustrations.)

Let us consider a portion of the Earth's surface as a level plane where the distribution of gravity, or its deviation  $\Delta g$  from a certain normal law of distribution, is supposed to be known. The anomalies  $\Delta g$  may be naturally explained by the unhomogeneity of structure of the nearest layers and depend on the geological structure of the region. Let the element  $dm$  of the disturbing mass lie at a depth  $h$  from the Earth's surface and project on the horizontal



Diag. 1.



Diag. 2.

plane at point  $M'$  (see diagram 1). The gravity anomaly  $\Delta g$  at point  $A$  depending on the element  $dm$  will be equal to:

$$\Delta g = \frac{k^2 h dm}{(h^2 + r^2)^{3/2}} \dots \dots \dots (1)$$

where  $k^2 = 667 \cdot 10^{-10}$  is the gravitational constant and  $r = AM'$ .

We shall consider now (diagram 2) in a horizontal plane a system of polar coordinates with the pole at point  $O$  and the axis  $x$ , directed, e.g., south-