

**Académie impériale des sciences.
Comptes rendus des séances
de la
Commission sismique permanente.
Tome 4, 1911-1912, Saint-Pétersbourg.**

SOMMAIRE

Livraison I, 1911

Comptes-rendus des séances de la Commission Centrale Sismique Permanente :	
Séance du 29 janvier 1910	I
Résumé du rapport de Mr. Polescjuk : « Détermination de la stabilité des édifices pendant les oscillations du sol durant un tremblement de terre »	VIII
Séance du 30 janvier 1910	XIII
Extrait du rapport de Mr. Voznesenskij, directeur de l'observatoire magnétique et météorologique d'Irkoutsk	XIX
Rapport de Mr. Glasek, directeur de l'observatoire physique de Tiflis	XXII
Rapport de Mr. G. Levickij sur les stations sismiques de deuxième ordre	XXVII
Séance du 5 mars 1910	XXX
Résumé du rapport de Mr. J. Wilip : « Sur l'influence des mouvements de l'air sur les pendules sensibles »	XXXVII
Compte-rendu de la séance de la Sous -Commission pour l'étude des sources intermittentes	XL
Copie de la communication du Comité Géologique	XLII
Séance du 9 avril 1910	XLIV
Resumé du rapport de Mr. N. Cinger : « Sur la détermination de l'heure d'après les observations des différentes paires d'étoiles sur un même almicantharat	XLIX
Séance du 12 mai 1910.....	LVI
» » 8 octobre 1910.....	LXIII
» » 19 novembre 1910.....	LXXIV
Compte-rendu de la séance de la Sous-Commission pour la réorganisation des observations sismiques en Russie	LXXXIV

Fürst B. Galitzin. Ueber die Bestimmung des Dampfungsverhältnisses stark gedämpfter Horizontalpendel	1
Mr. J. Wilip. Sur la marche de différentes horloges à contact.....	23
Fürst B. Galitzin. Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung	30

Livraison II, 1911

Fürst B. Galitzin. Ueber einen neuen Seismographen für die Vertikalkomponente der Bodenbewegung	1
Mr. J. Vilip. Ueber die Einwirkung von Luftströmungen auf empfindliche Horizontalpendel	35
Prince B. Galitzine. Sur la détermination de l'heure exacte aux stations sismiques de deuxième ordre	48
Mr. A. Gerasimov. Sur l'article de Mr. le Prof. Ralph. S. Tarr. The Theory of Advance of Glaciers in response to Earthquake shaking	78
Mr. A. Gerasimov. Sur l'article de Mr. le prof. Dr. Rudolf Hoernes : Der Einfluss der Erderschütterungen auf Quellen	82
Mr. E. Rozental. Note concernant le tremblement de terre à Semirecie du 3-4 janv. 1911	85

Livraison III, 1912

Prince B. Galitzine (Golicyn). Compte-rendu des séances de l'Association Internationale de Sismologie, tenues à Manchester en 1911.....	1
Fürst B. Galitzin (Golicyn). Die neue Organisation des seismischen Dienstes in Russland	33
Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ueber eine dynamische Skala zur Schätzung von makroseismischen Bewegungen	50
J. Vilip. Compte-rendu d'une mission à l'étranger en hiver 1911	75
J. Vilip. La station sismique de Makeevka	82
K. Matveev. Rapport concernant les stations sismiques de M. Nobel en 1908	86
K. Matveev. Sur quelques particularités des mouvements de l'écorce terrestre à l'Apseron (Caucase)	96
C. Matveeff. <i>Particular motions of the earth's crust on the Apsheron (Caucasus)</i>	106
K. Matveev. Enregistrement par les appareils sismographiques des mouvements d'origine thermique dans l'écorce terrestre	110

ИМПЕРАТОРСКАЯ АКАДЕМІЯ НАУКЪ.

ИЗВѢСТІЯ
ПОСТОЯННОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ
КОМИССИИ.

—
ТОМЪ 4.

—
Выпускъ II.

—
ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES.

COMPTES RENDUS DES SÉANCES
DE
LA COMMISSION SISMIQUE PERMANENTE.

—
Tome 4.

—
Livraison II.

—
С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1911. ST.-PÉTERSBOURG.

Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.
С.-Петербургъ, Іюль 1911 года. Непремѣнный Секретарь, Академикъ *С. Олденбургъ*.

ТИПОГРАФІА ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.

Вас. Остр., 9 лин., № 12.

Оглавление. — Sommaire.

	Стр.		Pag.
Князь Б. Б. Голицынъ. Новый сейсмографъ для вертикальной составляющей движения поверхности земли . . .	1	Fürst B. Galitzin. Ueber einen neuen Seismographen für die Vertikalkomponente der Bodenbewegung.	1
И. И. Вилипъ. Вліяніе потоковъ воздуха на чувствительные горизонтальные маятники	35	Mr. J. Wilip. Ueber die Einwirkung von Luftströmungen auf empfindliche Horizontalpendel	35
Князь Б. Б. Голицынъ. Къ вопросу объ опредѣленіи времени на сейсмическихъ станціяхъ второго разряда .	48	Prince B. Galitzine. Sur la détermination de l'heure exacte aux stations sismiques de deuxième ordre.	48
А. П. Герасимовъ. О статьѣ: Prof. Ralph. S. Tarr. The Theory of Advance of Glaciers in response to Earthquake shaking.	78	Mr. A. Gerasimov. Sur l'article de Mr. le Prof. Ralph. S. Tarr. The Theory of Advance of Glaciers in response to Earthquake shaking	78
А. П. Герасимовъ. О статьѣ: Der Einfluss der Erderschütterungen auf Quellen. Von Professor Dr. Rudolf Hoernes.	82	Mr. A. Gerasimov. Sur l'article de Mr. le prof. Dr. Rudolf Hoernes: Der Einfluss der Erderschütterungen auf Quellen.	82
Э. Г. Розенталь. По поводу семирѣченскаго землетрясенія 3—4 янв. 1911 г.	85	Mr. E. Rozental. Note concernant le tremblement de terre à Semirečie du 3—4 janv. 1911	85

Ueber einen neuen Seismographen für die Vertikalkomponente der Bodenbewegung.

VON FÜRST B. GALITZIN (GOLICYN).

Einleitung.

Bei der Erforschung der absoluten Werte der Bodenbewegungen, die von Erdbeben verursacht werden, genügt es zur Zeit nicht, nur die Horizontalkomponenten derselben zu studieren. Es ist unbedingt notwendig, um ein vollständigeres Bild der Bodenverschiebungen zu gewinnen, auch die Vertikalkomponente in Betracht zu ziehen. Dieses Element ist von besonders grosser Wichtigkeit, da durch sein näheres Studium wohl die Möglichkeit geboten werden kann, den Emergenzwinkel der seismischen Strahlen beim Austritt aus der Erdoberfläche zu bestimmen und dadurch gewisse Aufschlüsse bezüglich des Ganges der seismischen Wellen im Erdinneren zu gewinnen. Mit der Zeit wird man durch derartige Studien wohl imstande sein, Näheres über die Konstitution des Erdinneren und über die Verteilung der verschiedenen Erdschichten zu erfahren. Gerade wie die optischen Strahlen uns über die Konstitution der entferntesten Himmelskörper Auskunft geben, so können auch, wenn richtig behandelt, die seismischen Strahlen uns über die Eigenschaften der tieferliegenden und ganz unzugänglichen inneren Erdschichten etwas belehren. Dieses Problem ist nicht nur für die Physik der Erde im engeren Sinne des Wortes, sondern auch für die Astronomie, Geodäsie und Geologie von besonderer Wichtigkeit.

Allein ist die Bestimmung des Emergenzwinkels mit gewissen Schwierigkeiten, infolge einer etwaigen Reflexion der seismischen Strahlen an der Erdoberfläche, verknüpft, worauf Prof. Schuster neulich aufmerksam gemacht hat. Diese Schwierigkeiten sind jedoch meines Erachtens nicht solcher Natur, dass sie sich nicht überwinden liessen.

Für sehr entfernte Beben ist der Einsatz der ersten Vorläufer viel ausgeprägter für die Vertikalkomponente, was für die richtige Bestimmung der Epizentralentfernung von grosser Bedeutung ist. Aber auch in der Maximalphase bietet das Studium der Vertikalkomponente manches sehr wichtige und interessante dar.

Eine moderne seismische Station müsste unbedingt nicht nur mit Instrumenten für die horizontalen Bodenverschiebungen, sondern auch mit einem Vertikalseismographen ausgerüstet werden. Leider sind zur Zeit sehr wenige Stationen vorhanden, wo die Erforschung der Vertikalkomponente in Angriff genommen wird.

Infolgedessen habe ich mir die Aufgabe gestellt einen Vertikalseismographen von sehr hoher Empfindlichkeit zu konstruieren, welcher zugleich auch die *absoluten* Werte der vertikalen Bodenverschiebungen zu liefern imstande wäre.

Ich stützte mich bei der Herstellung dieses Apparates auf dieselben Grundprinzipien, wie bei meinen Horizontalseismographen, welche sich in der Praxis äusserst gut bewährt haben, nämlich es sollte, damit der Einfluss der Eigenbewegung des Apparates möglichst eliminiert würde, eine sehr starke magnetische Dämpfung bis zur Aperiodizitätsgrenze eingeführt und ausserdem die galvanometrische Registrierung angebracht werden. Die Vorteile dieser Methode bestehen nicht nur in ihrer sehr hohen Empfindlichkeit und in der unmittelbaren Zulassung einer Fernregistrierung, sondern auch darin, dass man bei ihrer Anwendung gewissermaassen von der etwaigen Nulllage des Seismographen unabhängig ist, denn mit dem Galvanometer werden nicht etwa die Winkelausschläge, sondern die *Winkelgeschwindigkeiten* gemessen. Diese letztere Tatsache ist von besonderer Wichtigkeit für Apparate, welche wie dieser Vertikalseismograph auf einer Federwirkung beruhen, da bekanntlich die elastischen Eigenschaften von Stahlfedern durch Temperaturänderungen sehr beeinflusst werden und, um dieselben möglichst zu eliminieren, gewöhnlich umständliche Kompensationsvorrichtungen für die Temperatureinwirkung notwendig sind.

Bei diesem Vertikalseismographen fallen dieselben, infolge der Anwendung der galvanometrischen Registrierungsart, gänzlich weg, was die Konstruktion dieses Apparates in ganz erheblicher Weise vereinfacht.

Ich setze aber dabei voraus, dass die Abweichungen von der normalen Lage des Instrumentes nicht zu gross werden. Durch ein kleines Laufgewicht¹⁾ kann man aber immer von Zeit zu Zeit den Apparat auf die richtige

¹⁾ Siehe die Fig. 2. (L.).

anfängliche Ruhelage einstellen, falls die Räumlichkeiten gewissen Temperaturschwankungen unterworfen sein sollten.

Ein solcher Apparat wurde nach meinen Angaben vom Mechaniker an dem Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg Herrn Masing konstruiert. Derselbe wurde alsdann im Laboratorium selbst mit Hilfe einer beweglichen Plattform eingehend untersucht und alsdann auf der Pulkowaer seismischen Station aufgestellt, wo er schon einige Monate in Tätigkeit sich befindet und äusserst befriedigende Resultate gibt.

Eine kurze Beschreibung dieses Instruments befindet sich in T. 150 № 26 (1910) der Comptes Rendus der Pariser Akademie. In der vorliegenden Abhandlung beabsichtige ich aber eine ausführlichere Beschreibung dieses Seismographen zu geben und alsdann die Theorie desselben zu entwickeln.

Es sollen weiter die Laboratoriumsversuche beschrieben werden, welche zur Prüfung dieser Theorie vorgenommen wurden, und alsdann einige Angaben über die mit diesem Vertikalseismographen erhaltenen Erdbeben-diagramme folgen.

§ 1.

Beschreibung des Instruments.

Die folgende Fig. 1 gibt eine allgemeine photographische Aufnahme dieses Vertikalseismographen, die Fig. 2 eine schematische Zeichnung desselben von der Seite und die Fig. 3 von oben. Die Figuren 2 und 3 sind in $\frac{1}{4}$ natürlicher Grösse gezeichnet.

Auf einer starken, 95. cm. langen und 26 cm. breiten gusseisernen Platte *P*, welche von drei Regulierschrauben getragen wird, ist ein massives, gebogenes, teilweise ausgeschnittenes, 55 cm. hohes Doppelgestell *G* fest angeschraubt.

Beide Teile desselben sind oben durch eine Platte *K* verbunden, durch welche eine Schraube *R* hindurchgeht. Diese Schraube geht in einen Stab über, der an seinem unteren Ende in *Q* eine sehr kurze flache Stahlfeder trägt. Diese Stelle *Q* bildet den oberen Befestigungspunkt der sehr starken Spiralfeder *F*. Der Durchmesser des Drahtes dieser Spirale beträgt 0,6 cm.; die Feder selbst hat 10 Windungen von 8 cm. äusserem Durchmesser. Im gestreckten Zustande bei normaler Lage des Instruments ist diese Feder sehr stark gespannt. Der entsprechende Zug kommt einem Gewicht von etwa $57\frac{1}{2}$ Kilogramm gleich.

Mit Hilfe der Mutter *U* kann der obere Befestigungspunkt *Q* dieser Feder gehoben oder gesenkt und mittelst der Schrauben *NN* nach rechts oder links verschoben werden.

Den beweglichen Teil dieses Seismographen bildet der Doppelrahmen aus Messing *AAA*, welcher ein grosses zylindrisches Gewicht *M* trägt. Die Axe dieses Gewichtes geht durch zwei Schlitz *I—J* hindurch und wird durch zwei Muttern festgeklemmt. Man kann also das Gewicht etwas nach rechts oder links verschieben, um den oberen Balken dieses Doppelrahmens in horizontale Lage zu bringen. Die genaue Einstellung erfolgt mit Hilfe des kleinen Laufgewichts *L*.

Die Drehungsaxe dieses Doppelrahmens befindet sich in O und wird durch zwei Paare sehr kurzer, senkrecht zu einander stehender, flacher Stahlfedern gebildet. Dieselben werden an einem Querstäbchen, welches beide Teile des Doppelgestells G mit einander verbindet, befestigt.

Am unteren Teile des Doppelrahmens AAA befindet sich eine Platte, welche mit dem unteren Ende der Spiralfeder verbunden ist. Die Art und Weise dieser Verbindung ist eine ähnliche wie oben in Q , d. h. mittelst einer sehr kurzen und flachen Stahlfeder.

Die unteren Schrauben $N_1 N_1$ gestatten ebenfalls diesen unteren Befestigungspunkt nach rechts oder links zu verschieben.

Auf der Verlängerung des Doppelrahmens befindet sich ein Zelluloidrahmen S mit 4 Induktionsspulen und ganz am Ende zwei dämpfende Kupferplatten D von je 14 cm. Länge, 4 cm. Breite und 0,55 cm. Dicke. Die ganze Länge des beweglichen Teils dieses Seismographen von O bis zum äusseren Rande von D beträgt 76 cm. und das Gesamtgewicht desselben mit der Masse M 23,901 Klgr.

Die Induktionsspulen S bewegen sich zwischen den zu einander gekehrten, entgegengesetzten Polen zweier horizontalliegender, hufeisenförmiger Magnete T (siehe Fig. 3) und die dämpfenden Kupferplatten zwischen zwei Paaren solcher Magnete T_1 und T_2 (Fig. 3)¹⁾.

Diese sechs Magnete werden von dem Gestell B (Fig. 2) getragen. Im oberen Teile desselben in C befinden sich Schlittenvorrichtungen mit Mikrometerschrauben W (Fig. 3), mit welchen man die Magnetenpole näher oder weiter von einander stellen kann. Spezielle, horizontal liegende Teilungen mit Nonien gestatten die Magnete auf eine bestimmte Entfernung bis auf $0,1 \text{ mm}$ genau einzustellen.

Die Induktionsspulen sind so mit einander verbunden, dass die durch die Bewegung des Doppelrahmens AAA in denselben induzierten Ströme sich im äusseren Stromkreise gegenseitig verstärken.

E ist eine besondere Vorrichtung, welche zwei Regulierschrauben H trägt, die ein Umkippen des schwingenden Teils des Apparates verhindern und die Grösse der Ausschläge desselben begrenzen.

Auf einem der äusseren dämpfenden Magnete befindet sich ein Zeiger, welcher zur Einhaltung der richtigen Ruhelage nach der auf der dämpfenden Kupferplatte aufgetragenen Teilung dient. Man kann also durch Drehung des Laufgewichts L , welches sich dabei längst einer horizontalen Schraube

¹⁾ Auf der Fig. 2 sind die Magnete nicht gezeichnet. Auf der photographischen Aufnahme der Fig. 1 ist nur ein Paar dämpfender Magnete sichtbar. Später wurde ein zweites Paar zur Verstärkung der Dämpfung hinzugefügt.

fortbewegt, diesen Zeiger auf eine beliebige Teilung der Skala einstellen. Man wähle dazu immer denjenigen Teilstrich, welcher der horizontalen Lage des oberen Balkens des beweglichen Doppelrahmens entspricht.

In der Nähe der Drehungsaxe des Apparates, auf einer Querstange, welche beide Teile des Doppelrahmens verbindet, befindet sich ein vertikaler, nach oben gehender Stab mit einem verschiebbaren zylindrischen Gewicht¹⁾. Dasselbe dient dazu, um den Schwerpunkt des beweglichen Systems in dieselbe Höhe wie die Drehungsaxe des Apparates O zu bringen. Dies ist dazu nötig, damit die horizontalen Verschiebungen des Bodens den Apparat nicht in Bewegung versetzen.

Bei vertikalen Verschiebungen des Bodens wird der Apparat in Schwingungen geraten, welche von einem sehr empfindlichen Galvanometer vom Deprez-D'Arsonval'schen Typus, welches in einer beliebigen Entfernung vom Seismographen selbst aufgestellt werden kann, angezeigt werden. Zu diesem Zweck gehen zwei dünne, isolierte Drähte dem oberen Balken des Doppelrahmens entlang bis zu zwei Klemmen, welche in der Nähe der Drehungsaxe des Apparates sich befinden. Von dort werden die Enden mittelst dünner Silberfolien mit den am Gestell befestigten isolierten Schrauben verbunden, die mit den Klemmen des Galvanometers durch eine äussere, induktionsfreie Leitung geschlossen sind. Das Galvanometer soll dabei durch passende Auswahl des Widerstandes der Induktionsspulen und Verbindungsdrähte genau auf die Grenze der Aperiodizität eingestellt werden. Die Pole der Magnete T (Fig. 3) bei den Induktionsspulen müssen möglichst nah aneinander gebracht, um eine möglichst grosse Empfindlichkeit der Registrierung zu erzielen, und die dämpfenden Magnete T_1 und T_2 so eingestellt werden, dass der Seismograph ebenfalls möglichst nah bei der Grenze der Aperiodizität sich befindet.

Bezüglich der verschiedenen Einzelheiten der Einstellung des Galvanometers und Apparates auf die Aperiodizitätsgrenze, so wie überhaupt bezüglich der Anwendung der galvanometrischen Registriermethode, sei auf meine Abhandlung «Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung»²⁾, wo diese Fragen eingehend besprochen sind, verwiesen.

Die Registrierung der Galvanometerbewegung erfolgt auf rein optischem Wege mit Hilfe eines sehr feinen, ebenfalls vom Mechaniker Masing konstruierten Registrierapparates, dessen rotierender Zylinder mit lichtempfind-

1) Nur auf der Fig. 1. sichtbar.

2) Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente T. IV. Livr. 1.

lichem Papier bekleidet wird. Dieser Apparat ist ebenfalls in meiner eben zitierten Abhandlung ausführlich beschrieben.

Die Registriergeschwindigkeit der Trommel entspricht etwa $30 \frac{m}{m}$ pro Minute, somit können die sehr kurzen seismischen Wellen sehr gut studiert werden; die Entfernung zwischen den benachbarten Linien auf einem Seismogramm beträgt $10 \frac{m}{m}$.

Der Vertikalseismograph selber wird von einem grossen Blechkasten bedeckt. In der vorderen Seite desselben befindet sich ein Glasfenster, durch welches man nachsehen kann, ob der früher erwähnte Zeiger bei der dämpfenden Kupferplatte auf der richtigen Teilung der kleinen vertikalen Skala einspielt. Auf der Seite dieses Kastens befindet sich eine Öffnung, welche durch eine verschiebbare Platte verdeckt wird. Schiebt man diese Platte zur Seite, so kann man mit der Hand durch diese Öffnung, wenn nötig, das Laufgewicht L etwas verstellen.

Das Wirkungsprinzip dieses Seismographen ist das folgende.

Bei ruhendem Boden hält das Moment der Federspannung bezüglich der Drehungsaxe O der Summe der Momente sämtlicher Gewichte der verschiedenen Teile des beweglichen Systems das Gleichgewicht.

Erfolgen nun vertikale Bodenverschiebungen, so gerät der Apparat in Bewegung, aber, infolge der Anwendung einer sehr starken magnetischen Dämpfung bis zur Aperiodizitätsgrenze, wird der Einfluss der Eigenbewegung des Apparates fast sofort eliminiert und die wirkliche Bewegung wird fast ausschliesslich durch die vertikalen Bodenbewegungen allein bedingt. Die durch die Bewegung des Apparates induzierten Ströme verursachen die Bewegung des Galvanometers, welche unmittelbar registriert wird.

Für harmonische Bebenwellen kann man in sehr einfacher Weise, ganz genau so, wie bei Beobachtungen mit Horizontalpendeln, aus einem so erhaltenen Galvanometerseismogramm die wahren Elemente der vertikalen Bodenbewegungen, d. h. die Periode T_p und maximale Amplitude z_m der entsprechenden Bebenwellen, bestimmen.

Wie dieses zu erzielen ist, werden wir im nächsten Paragraphen sehen, wo die Theorie dieses Vertikalseismographen dargelegt ist¹⁾.

¹⁾ Dieser Vertikalseismograph mit Schutzkasten wird vom Mechaniker des Physikalischen Laboratoriums der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg Herrn Masing zum Preise von 450 Rubel, jedoch ohne Galvanometer und Registrierapparat, geliefert.

A ist der obere und B der untere Befestigungspunkt der Spiralfeder. Bei normaler Lage des Instruments ist AB parallel zu Oz . Die Länge AB sei mit L_0 bezeichnet.

Die Entfernung von B bis zu der Drehungsaxe sei c , also

$$O_1 B = c.$$

Den Winkel zwischen $O_1 B$ und $O_1 H$ wollen wir mit α und die Entfernungen $O_1 D$ und DB resp. durch a und h bezeichnen.

Es ist also

$$a = c \cos \alpha \dots \dots \dots (1)$$

$$h = c \sin \alpha \dots \dots \dots (2)$$

m sei ein beliebiger Massenpunkt des beweglichen Systems, welcher sich in der Entfernung $O_1 m = r$ von der Drehungsaxe befindet. Der entsprechende Winkel $m O_1 H$ sei ω .

O_1 und A sind zwei feste Punkte des Systems.

Es soll nun der Apparat um den Winkel θ nach oben gedreht werden, wo wir θ immer als klein voraussetzen werden.

Dann verlegt sich die Linie $O_1 H$ nach $O_1 H_1$, B nach C und m nach m_1 .

Wollen wir nun ein zweites rechtwinkliges Koordinatensystem $\zeta O \xi$ nehmen, welches im Raume eine feste Lage hat, aber, wenn die Erdoberfläche in Ruhe ist, mit dem ersten System zOx zusammenfällt.

Es soll nun derjenige Teil der Erdoberfläche, auf welchem der Apparat aufgestellt ist, eine vertikale Verschiebung z nach oben erfahren; zugleich soll auch der Apparat um den Winkel θ gedreht werden. θ sei positiv, wenn die grosse zylindrische Masse M (siehe die Fig. 2) sich nach oben bewegt.

In diesem Fall werden die Koordinaten ξ und ζ des Massenpunktes m in bezug auf das im Raume feste Koordinatensystem die folgenden sein:

$$\xi = r \cos(\omega - \theta)$$

und

$$\zeta = z + d - r \sin(\omega - \theta).$$

Den Winkel θ wollen wir so klein voraussetzen, sodass

$$\cos \theta = 1$$

und

$$\sin \theta = \theta$$

gesetzt werden darf.

In der Praxis bei seismometrischen Beobachtungen hat man in der Tat fast ausschliesslich mit sehr kleinen Winkeln zu tun.

Dann wird

$$\xi = r \cos \omega + r \sin \omega \cdot \theta \dots \dots \dots (3)$$

$$\zeta = z + d - r \sin \omega + r \cos \omega \cdot \theta \dots \dots \dots (4)$$

Die mit der Zeit veränderlichen Grössen sind dabei z und θ .

Wollen wir nun die gesamte kinetische Energie T des Systems aufsuchen und dabei die Masse M_1 der Feder, welche nur einen kleinen Bruchteil der Masse M bildet, für's Erste vernachlässigen.

Zu dem Zweck differenzieren wir die Ausdrücke (3) und (4) nach der Zeit.

Es folgt

$$\xi' = r \sin \omega \cdot \theta'$$

$$\zeta' = z' + r \cos \omega \cdot \theta'$$

Bedeute v die Geschwindigkeit des Massenteilchens m , so ist

$$v^2 = z'^2 + r^2 \theta'^2 + 2r \cos \omega \cdot z' \theta'$$

und die gesamte kinetische Energie des Systems

$$T = \frac{1}{2} \sum m v^2 = \frac{1}{2} \left[z'^2 \sum m + \theta'^2 \sum m r^2 + 2z' \theta' \sum m r \cos \omega \right] \dots (5)$$

Die Summierung muss auf alle beweglichen Massen des Doppelrahmens des Seismographen etc. ausgedehnt werden.

Bedeute nun dA die Arbeit aller auf das System wirkenden Kräfte, wenn θ um $d\theta$ vermehrt wird.

Dann muss nach dem Langrange'schen Prinzip folgende Gleichung bestehen

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \theta'} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} = \frac{\partial A}{\partial \theta} \dots \dots \dots (6)$$

aus welcher die Grunddifferentialgleichung der Bewegung dieses Vertikal-seismographen sich unmittelbar ergibt.

Aus der Gleichung (5) folgt nun

$$\frac{\partial T}{\partial \theta'} = z' \sum m r \cos \omega + \theta' \sum m r^2,$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \theta'} \right) = z'' \sum m r \cos \omega + \theta'' \sum m r^2$$

und

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = 0.$$

Folglich wird nach der Gleichung (6)

$$\sum mr \cos \omega + \theta'' \sum mr^2 = \frac{\partial A}{\partial \theta} \dots \dots \dots (7)$$

Wollen wir nun die Arbeit dA ausrechnen, welche geleistet wird, wenn θ um $d\theta$ vermehrt wird.

Es wirken auf das System zweierlei Art Kräfte, nämlich die Schwerkraft und die Spannung der Feder.

Die Arbeit der Schwerkraft wird

$$- \sum mg \frac{\partial \zeta}{\partial \theta} d\theta,$$

also nach der Formel (4)

$$- g d\theta \sum mr \cos \omega.$$

Wollen wir jetzt die Arbeit der Federspannung ausrechnen.

Bei normaler Lage des Instruments ($\theta = 0$) ist die Länge der ausgestreckten Feder L_0 und der entsprechende Zug P_0 .

Vermehrt sich aber die Federlänge von L_0 bis L , so wird der entsprechende Zug gleich P sein, wobei nach den Grundprinzipien der Elastizitätstheorie

$$P - P_0 = \beta(L - L_0) \dots \dots \dots (8)$$

gesetzt werden kann.

β ist ein Koeffizient, welcher von den elastischen Eigenschaften der betreffenden Feder unmittelbar abhängt.

Im jetzigen Fall, wo der Apparat um den Winkel θ gedreht ist, wird L kleiner als L_0 und folglich P kleiner als P_0 ausfallen.

Aus dem Dreieck ABC der Fig. 4 ergibt sich

$$L_0 - L = BC \cdot \cos \alpha = c\theta \cos \alpha,$$

oder nach der Formel (1)

$$L_0 - L = a\theta \dots \dots \dots (9)$$

Folglich nach der Formel (8) wird

$$P = P_0 - \beta a\theta \dots \dots \dots (10)$$

Aus demselben Dreieck ABC erhält man für den Winkel $BAC = \gamma$

$$L \sin \gamma = BC \cdot \sin \alpha = c \theta \sin \alpha,$$

also nach den Formeln (2) und (9)

$$\sin \gamma = \frac{h\theta}{L_0 - a\theta},$$

oder bis auf Glieder von der Ordnung von θ^2 ,

$$\gamma = \frac{h}{L_0} \cdot \theta \dots \dots \dots (11)$$

Der Zug P erfolgt in der Richtung von C nach A und die entsprechende Verschiebung des Angriffspunktes C der Kraft P in einer Richtung senkrecht zu $O_1 C$.

Die Projektion F der Kraft P auf diese Richtung wird

$$F = P \cos(\alpha - \theta + \gamma),$$

und die entsprechende Arbeit (siehe die Formeln (10) und (11))

$$Fcd\theta = c [P_0 - \beta a\theta] \cos \left\{ \alpha - \left(1 - \frac{h}{L_0} \right) \theta \right\} d\theta.$$

Vernachlässigt man dabei wiederum die Glieder von der Ordnung von θ^2 , so ergibt sich daraus mit Rücksicht auf die Beziehungen (1) und (2)

$$Fcd\theta = \left[aP_0 + hP_0 \left(1 - \frac{h}{L_0} \right) \theta - \beta a^2 \theta \right] d\theta.$$

Die Gesamtarbeit dA wird also

$$dA = \left[-g \sum mr \cos \omega + aP_0 + hP_0 \left(1 - \frac{h}{L_0} \right) \theta - \beta a^2 \theta \right] d\theta \dots (12)$$

Im Gleichgewichtszustand ($\theta = 0$) hält die Spannung der Feder P_0 der Schwerkraft das Gleichgewicht.

Die entsprechenden Momente dieser Kräfte in bezug auf die Drehungsaxe müssen also einander gleich sein.

Es wird also

$$P_0 a = g \sum mr \cos \omega \dots \dots \dots (13)$$

Folglich ergibt sich aus der Gleichung (12)

$$\frac{\partial A}{\partial \theta} = - \left[\beta a^2 - P_0 h \left(1 - \frac{h}{L_0} \right) \right] \theta.$$

Bringen wir jetzt diesen Ausdruck in die Formel (7) ein, so folgt

$$z'' \sum mr \cos \omega + \theta'' \sum mr^2 + \left[\beta a^2 - P_0 h \left(1 - \frac{h}{L_0} \right) \right] \theta = 0 \dots (14)$$

$\sum mr^2$ ist das Trägheitsmoment des beweglichen Systems in bezug auf die Drehungsaxe O_1 . Dasselbe sei mit K bezeichnet.

Also

$$K = \sum mr^2 \dots \dots \dots (15)$$

Wollen wir jetzt den Ausdruck (14) durch K dividieren.

Das Verhältnis $\frac{\sum mr^2}{\sum mr \cos \omega}$ sei dabei durch l bezeichnet, also

$$l = \frac{\sum mr^2}{\sum mr \cos \omega} \dots \dots \dots (16)$$

l ist eine gewisse Länge, welche, wie leicht einzusehen ist, nichts anderes ist, als die Länge eines mathematischen Pendels von derselben Periode, wie die des Systems, wenn dasselbe um 90° gedreht wird und der Schwerpunkt unter der Axe O_1 liegt.

Es ergibt sich also mit Rücksicht auf die Beziehung (13)

$$\theta'' + \left[\frac{\beta}{K} a^2 - \frac{g}{a} \cdot \frac{h}{l} \left(1 - \frac{h}{L_0} \right) \right] \theta + \frac{z''}{l} = 0 \dots \dots \dots (17)$$

Wollen wir den Faktor von θ im vorigen Ausdruck durch n^2 bezeichnen, also

$$n^2 = \frac{\beta}{K} a^2 - \frac{g}{a} \cdot \frac{h}{l} \left(1 - \frac{h}{L_0} \right) \dots \dots \dots (18)$$

und ausserdem in der Gleichung (17) ein Dämpfungsglied $2\epsilon\theta'$ einführen.

Dann folgt

$$\theta'' + 2\epsilon\theta' + n^2\theta + \frac{z''}{l} = 0 \dots \dots \dots (19)$$

Dies ist die Grunddifferentialgleichung der Bewegung dieses Vertikal-seismographen.

Sie ist also auf dieselbe kanonische Form, wie die entsprechende Gleichung eines Horizontalseismographen gebracht.

Die Eigenperiode T dieses Seismographen ohne Dämpfung wird

$$T = \frac{2\pi}{n} \dots \dots \dots (20)$$

sein.

Für die Empfindlichkeit der Registrierung ist es zweckmässig, T möglichst gross zu wählen, so weit es noch der Apparat verträgt.

Die Formel (18) lehrt, dass dies durch Verlegung des unteren Befestigungspunktes B der Feder unter die horizontale Linie O_1H erzielt werden kann.

Das zweite, negative Glied im Ausdrucke von n^2 wird Maximum, wenn $h = \frac{L_0}{2}$ wird.

Ausserdem steht uns die Grösse a zur Verfügung.

Durch Verminderung derselben kann theoretisch n^2 beliebig klein, folglich T beliebig gross gemacht werden, aber man darf nicht in der Praxis T zu gross wählen, sonst wird der Apparat unstabil und kippt leicht um. Es lässt sich aber eine Eigenperiode $T = 14^s$ bei vollständig genügender Stabilität mit diesem Apparat sehr leicht erzielen, was zur Erforschung der Vertikalkomponente der Bodenbewegung vollständig ausreicht.

Wäre der anfängliche Winkel bei der Ruhelage des Instruments θ nicht gleich Null, so würde die Eigenperiode des Seismographen ein klein wenig anders ausfallen, da a einen etwas anderen Wert annehmen würde, aber für eine und dieselbe anfängliche Ruhelage des Instruments erweist sich, wie die Beobachtungen es gezeigt haben, die Eigenperiode des Apparats für kleine Ausschläge als sehr konstant. Man muss nur bei seismometrischen Beobachtungen darauf achten, dass der Zeiger bei der Dämpfungsplatte immer auf einem und demselben Teilstrich der betreffenden Skala einspielt und die diesem Teilstrich entsprechende Periode für die Eigenperiode T des Apparates wählen.

Es muss noch folgendes bemerkt werden. T hängt etwas von den Amplituden der Ausschläge θ ab (Veränderlichkeit von a), und die halbe Periode nach der unteren Seite ist ein klein wenig verschieden von der halben Periode nach oben, aber für kleine Werte von θ , wie dieselben bei seismometrischen Beobachtungen vorkommen, ist dieser Umstand von keiner praktischen Bedeutung.

Die Spiralfeder hat sich sehr gut erhalten und zeigte nach einiger Zeit Gebrauch keine elastischen Nachwirkungen.

Die vorigen Formeln (16), (18) und (19) bedürfen noch kleiner Korrekturen wegen der Masse M_1 der Spiralfeder. Dieselben lassen sich ohne Schwierigkeit ableiten wiederum unter Anwendung des Lagrange'schen Prinzips; sie haben jedoch fast gar keine praktische Bedeutung.

Bedeute nun M die Masse des beweglichen Teils des Seismographen (ohne die Federmasse) und sei

$$r_0 = \frac{P_0}{g} \cdot \frac{a}{M} \dots \dots \dots (21)$$

und

$$\rho^2 = r_0 l^1), \dots \dots \dots (22)$$

so müssen in der Formel (19), statt l und n^2 , folgende Grössen l' und n'^2 eingeführt werden, nämlich

$$l' = l \left[1 - \frac{M_1}{M} \left\{ \frac{1}{2} \frac{a}{r_0} - \frac{1}{3} \frac{c^2}{\rho^2} \right\} \right] \dots \dots \dots (23)$$

und

$$n'^2 = n^2 \left[1 - \frac{1}{3} \frac{c^2}{\rho^2} \frac{M_1}{M} \right] \dots \dots \dots (24)$$

Der Unterschied zwischen l' und l ist in der Tat sehr klein.

Es ergab sich aus den Beobachtungen

$$l = 378,6 \text{ m/m,}$$

während

$$l' = 377,6 \text{ m/m}$$

beträgt.

Der Unterschied beträgt also nur etwa $1/4\%$.

Was nun n'^2 anbelangt, so ergab sich bei diesem Seismographen

$$M = 23901 \text{ Gr}$$

$$M_1 = 601 \text{ —,}$$

also

$$\frac{M_1}{M} = 0,0251$$

$$c^2 = 343,8$$

$$\rho^2 = 1113,5,$$

also

$$\frac{1}{3} \frac{c^2}{\rho^2} \frac{M_1}{M} = 0,00258.$$

Der Unterschied in dem entsprechenden Wert von T beträgt also nur etwa $0,1\%$.

Dies ist ganz und gar ohne Bedeutung, umdestomehr, da T direkt aus den Beobachtungen entnommen wird.

¹⁾ Das Trägheitsmoment K des Systems ist gleich $M\rho^2$.

Wir werden im Folgenden die Indizes bei n' und l' fallen lassen und die Differentialgleichung für diesen Seismographen in der Form der Formel (19) behalten. Dabei muss man sich aber nur merken, dass der Faktor bei z'' nach der Formel (23) berechnet werden soll.

Der Wert von l (siehe die Formel (16)) kann direkt aus den Beobachtungen entnommen werden.

Dazu schiebe man die Magnete weit auseinander, um eine sehr kleine Dämpfung zu haben, drehe den Apparat um 90° um und lasse ihn schwingen, wie ein einfaches Vertikalpendel. Die entsprechende Periode sei T_0 .

Dann wird

$$l = \frac{T_0^2}{4\pi^2} \cdot g, \dots \dots \dots (25)$$

wo g die Beschleunigung der Schwere bedeutet.

Auf diese Weise ergab sich $l = 378,6^m/m$.

Bevor man zu der Bestimmung von T_0 übergeht, stelle man das früher erwähnte, kleinere, zylindrische Gewicht, welches in der Nähe der Drehungsaxe des Seismographen sich befindet, auf die passende Stelle, damit der obere Balken des Doppelrahmens bei umgekippter Stellung des Apparats wirklich vertikal sei. Dann wird bei normaler Lage des Apparates der Schwerpunkt des Systems wirklich auf derselben Höhe wie die Drehungsaxe des Instruments sich befinden.

Wollen wir jetzt zu der Frage der Registrierung der Bewegungen dieses Seismographen übergehen.

Ich werde dieselbe hier ganz kurz behandeln, da diese Registrierung vollständig identisch mit der galvanometrischen Registrierung eines aperiodischen Horizontalpendels ist, welche Frage ich schon sehr eingehend in meinem Aufsatz «Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung» besprochen habe¹⁾.

Man wende zur Registrierung ein D'Arsonval'sches Drehspulgalvanometer an, welches man durch passende Auswahl des äusseren Widerstandes (Induktionsspulen + Zuleitungsdrähte)²⁾ genau auf die Grenze der Aperiodizität einstellt. (Man siehe den § 3 der eben zitierten Abhandlung).

Bedeute T_1 die Eigenperiode dieses Galvanometers ohne Dämpfung und sei

$$n_1 = \frac{2\pi}{T_1}, \dots \dots \dots (26)$$

1) Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente, T. IV, Livr. 1.

2) Dieselben müssen induktionsfrei um einander gewickelt werden.

so lautet die Differentialgleichung der Bewegung des Galvanometers, wenn es vollkommen frei ist, bekanntlich wie folgt:

$$\varphi'' + 2n_1 \varphi' + n_1^2 \varphi = 0, \dots\dots\dots(27)$$

wo φ den betreffenden Winkelausschlag bedeutet.

Ist aber das Galvanometer mit dem Seismographen durch eine Leitung verbunden, so muss die Differentialgleichung (27) durch die folgende ersetzt werden:

$$\varphi'' + 2n_1 \varphi' + n_1^2 \varphi + k\theta' = 0 \dots\dots\dots(28)$$

k ist eine Konstante, welche von den konstruktiven Eigenschaften der Apparate abhängt und die Empfindlichkeit der Registrierung charakterisiert. Ich habe dieselbe Uebertragungsfaktor genannt.

Setzen wir nun voraus, dass eine Bebenwelle unseren Apparat trifft, wobei die vertikale Komponente der Bodenbewegung sich durch folgende Formel darstellen lässt:

$$z = z_m \sin(pt + \delta), \dots\dots\dots(29)$$

wo

$$p = \frac{2\pi}{T_p} \dots\dots\dots(30)$$

wird.

T_p ist die Periode der entsprechenden Bebenwelle, z_m die wahre Amplitude der Bodenbewegung und δ die anfängliche Phase, welche keine weitere Bedeutung hat.

Differentiiert man die Gleichung (29) zwei Mal nach t , bringt den erhaltenen Ausdruck in die Gleichung (19) ein und integriert dieselbe, so erhält man θ als Funktion von t .

Man bestimme alsdann θ' , bringe es in die Galvanometergleichung (28) ein und gehe dann zur Integration derselben über.

Dann erhält man schon φ als Funktion von t .

Diese Bewegung wird direkt aufgenommen und registriert. Dazu wende man die optische Registrierungsmethode auf lichtempfindlichem Papier an.

Der entsprechende Registrierapparat muss aber ein recht guter sein, und eine genügend grosse Drehgeschwindigkeit haben, um ein genaues Studium der kurzen seismischen Wellen zu ermöglichen. Ich wende dazu einen neuen vom Herrn Mechaniker Masing konstruierten Apparat an, welcher vortrefflich arbeitet und bei welchem die Länge einer Minute etwa 30 m/m beträgt. Die Entfernung benachbarter Linien ist gleich 10 m/m .

Bedeute nun y_1 die Entfernung des Lichtpunktes von seiner Ruhelage

und A_1 die Entfernung des Spiegels am Galvanometer von der Trommeloberfläche des Registrierapparates in der Richtung des normal einfallenden Strahles, so wird

$$\varphi = \frac{y_1}{2A_1} \dots \dots \dots (31)$$

sein.

Die Eigenschaften des Seismographen selbst werden durch die Konstanten T , l und ε charakterisiert.

$T = \frac{2\pi}{n}$ (Formel (20)) ist die Eigenperiode desselben ohne Dämpfung, l eine gewisse Länge und ε eine Konstante, welche die Stärke der Dämpfung charakterisiert.

Wollen wir, wie ich es für die Theorie eines sehr stark gedämpften Horizontalpendels schon früher getan habe, statt ε die Konstante

$$\mu^2 = 1 - \left(\frac{\varepsilon}{n}\right)^2 \dots \dots \dots (32)$$

einführen.

Diese Grösse ist für die Stärke der Dämpfung besonders maassgebend. Durch ihre Einführung nehmen die Formeln eine viel bequemere und elegantere Gestalt an.

Ist der Apparat völlig ungedämpft, so wird $\mu^2 = 1$ sein, für die Grenze der Aperiodizität dagegen $\mu^2 = 0$.

Die Beziehung zwischen μ^2 und dem gewöhnlichen Dämpfungsverhältnis v , d. h. dem Verhältnis zweier nach einander folgender maximaler Ausschläge des Apparates (unabhängig vom Vorzeichen derselben) wird durch die folgende Formel gegeben:

$$v = e^{\frac{\pi \sqrt{1-\mu^2}}{\mu}} \dots \dots \dots (33)$$

In den von mir veröffentlichten «Seismometrischen Tabellen» (Tabelle I) sind die einander entsprechenden Werte von μ^2 und v tabellarisch zusammengestellt.

Wollen wir noch folgende Bezeichnungen einführen:

$$u = \frac{T_p}{T}, \dots \dots \dots (34)$$

$$u_1 = \frac{T_p}{T_1}$$

und

$$f(u) = \left(\frac{2u}{1+u^2}\right)^2 \dots \dots \dots (35)$$

Man findet durch Integrierung der Gleichung (28) bei Zugrundelegung der Formel (29) folgenden Ausdruck für y_1 :

$$y_1 = \frac{kA_1}{\pi l} \cdot \frac{T_p}{(1 + u_1^2)(1 + u^2)\sqrt{1 - \mu^2 f(u)}} z_m \sin \{p(t - \tau - \tau_1) + \delta\} \dots (36)$$

Es ist hier vorausgesetzt worden, dass die Zeit t nicht zu klein ist, sodass die Exponentialglieder des allgemeinen Ausdrucks für y_1 , welche die Konstanten, die von den Anfangsbedingungen der Bewegung unmittelbar abhängen, enthalten, infolge der sehr starken Dämpfung schon verschwunden sind.

τ und τ_1 sind gewisse Zeitintervalle, welche nach den folgenden Formeln sich berechnen lassen¹⁾:

$$\tau = \frac{T_p}{2\pi} \operatorname{arctg} \left\{ \sqrt{1 - \mu^2} \cdot \frac{2u}{u^2 - 1} \right\} \dots \dots \dots (37)$$

und

$$\tau_1 = T_p \left[\frac{\operatorname{arctg} \left\{ \frac{2u_1}{u_1^2 - 1} \right\}}{2\pi} + \frac{1}{4} \right] \dots \dots \dots (38)$$

Die Formel (36) lehrt uns, dass, wenn die Bodenbewegung einem harmonischen Bewegungsgesetz entspricht, die zugehörige Galvanometerkurve ebenfalls eine einfache Sinusoide darstellt mit genau derselben Periode T_p wie bei der betreffenden Erdbebenwelle. Dieselbe ist also aus der Galvanometerkurve sofort zu entnehmen.

Misst man noch die maximale Amplitude y_m (von der Ruhelage aus gerechnet) auf der Galvanometerkurve, so kann die wahre Amplitude der entsprechenden vertikalen Bodenbewegung z_m nach folgender Formel sehr leicht berechnet werden.

Es ist nämlich

$$z_m = \frac{\pi l}{kA_1} (1 + u_1^2)(1 + u^2)\sqrt{1 - \mu^2 f(u)} \cdot \frac{y_m}{T_p} \dots \dots \dots (39)$$

Dies ist die Grundformel zur Auswertung der verschiedenen Maximen auf Erdbebendiagrammen bei Anwendung der galvanometrischen Registriermethode.

Die Gleichung (36) zeigt ausserdem, dass das Maximum auf einem Galvanometerseismogramm immer später als das Maximum der entsprechenden

¹⁾ Siehe meinen Aufsatz «Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung». L. c. § 2.

Bodenbewegung auftritt. Diese Zeitverspätung beträgt $\tau + \tau_1$ Sekunden. Sie muss immer in Betracht gezogen werden und dementsprechend muss man in den seismischen Berichten nicht die Momente der Maximen auf den Seismogrammen, sondern die Momente der Maximen der wahren Bodenbewegung angeben, da nur dann ein rationeller Vergleich zwischen den Zeitangaben verschiedener seismischer Stationen möglich ist.

Zur Erleichterung der Bestimmung von z_m und $\tau + \tau_1$, habe ich in meinen «Seismometrischen Tabellen» spezielle Tabellen gegeben, die nicht nur für Horizontalpendelbeobachtungen, sondern auch für diesen vertikalen Seismographen ihre volle Anwendbarkeit behalten, da die Grunddifferentialgleichungen beider Arten Instrumente ihrer Form nach identisch ausfallen.

Die Tabelle II gibt die Werte von u für verschiedene Werte von T_p von $T_p = 1^s$ bis $T_p = 40^s$ und zwar für verschiedene Seismographenperioden von $T = 10,1$ Sek. bis $T = 30,0$ Sek.

Die Tabelle III gibt die Werte von $\text{Log}(1 + u^2)$ und die Tabelle IV die von $\text{Log } f(u)$ für Werte von u zwischen $u = 0,01$ und $u = 4,00$.

Zur weiteren Erleichterung der Rechnungen ist noch die Tabelle V beigegeben, die schon dirckt die Werte von

$$\text{Log } U = \text{Log} \{(1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)}\}$$

enthält und zwar für die am häufigsten vorkommenden Werte von μ^2 ¹⁾ und für Werte von u zwischen $u = 0,01$ und $u = 2,00$.

Die Tabelle VI enthält die Werte von $\frac{\tau}{T_p}$ und die Tabelle VII die von $\frac{\tau_1}{T_p}$.

Bei Benutzung dieser Tabellen wird man sich immer auch der Tabelle XVII der proportionalen Teile bedienen.

Die vorläufigen mit diesem Seismographen ausgeführten Versuche haben gezeigt, dass man bei Anwendung von zwei Paaren Magnete bei der dämpfenden Kupferplatte bei einer Eigenperiode T des Instruments von etwa 13—14 Sekunden dasselbe genau auf die Grenze der Aperiodizität ($\mu^2 = 0$) einstellen kann.

Dies ist aber gar nicht nötig, da z. B.; wenn $\mu^2 = 0,10$ ist, das Dämpfungsverhältnis v schon 12400 beträgt! Selbst für $\mu^2 = 0,15$ wird

1) Für schwach gedämpfte Pendel von $\mu^2 = 0,90$ bis $\mu^2 = 0,60$, d. h. von $v = 2,85$ bis $v = 13,0$ und für sehr stark gedämpfte Pendel von $\mu^2 = 0,20$ ($v = 536$) bis $\mu^2 = 0,10$ ($v = \infty$).

$v = 1770$. Ein Apparat aber, welcher so stark gedämpft ist, kann in der Praxis wohl als ein fast aperiodisches Instrument betrachtet werden.

Bei den weiter zu besprechenden Versuchen mit diesem Seismographen auf meiner Untersuchungsplattform war $\mu^2 = 0,07$, also $v = 94000$.

Die Periode T_1 des Galvanometers lässt sich sehr leicht aus Schwingungsbeobachtungen bei sehr schwacher Dämpfung (offener Stromkreis) bestimmen.

Was nun die Seismographenkonstanten μ^2 , k und T (wenn die Magnete schon nah an einander gerückt sind) anbelangt, so habe ich zur Bestimmung derselben schon früher eine spezielle Methode angegeben, mit welcher man in aller einfachster Weise und so zu sagen mit einem Schlag diese drei Konstanten bestimmen kann¹⁾. Diese Methode hat sich in allerbefriedigendster Weise bewährt und wird stets bei der Bestimmung der Konstanten der verschiedenen Seismographen auf der seismischen Station zu Pulkowa angewandt.

Sie besteht der Hauptsache nach im Folgenden.

Man erteilt dem Seismographen mit Hilfe eines kleinen Elektromagneten einen kleinen anfänglichen Anstoss und misst mittelst Fernrohrs und Skala, indem man einen kleinen Spiegel in der Nähe der Drehungsaxe des Instruments anbringt, die entsprechende maximale Winkelablenkung θ_m .

Ein anderer Beobachter bestimmt, ebenfalls mittelst Fernrohrs und Skala, die zwei entsprechenden nach einander folgenden Winkelausschläge φ_1 und φ_2 am Galvanometer und zugleich auch mit Hilfe eines Sekundenzählers die Zeit t_0 , welche vom Anfang der Bewegung des Galvanometers bis zum erstmaligen Durchgang desselben durch seine Ruhelage verfliesst. Mit Hilfe dieser 4 Grössen θ_m , φ_1 , φ_2 und t_0 , die fast simultan aus den Beobachtungen entnommen werden, kann man die drei Seismographenkonstanten μ^2 , k und T in äusserst einfacher Weise und sehr schnell bestimmen.

In meinem früher zitierten Aufsatz «Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung» (L. c.) im § 5 ist diese Frage eingehend erörtert worden und zugleich auch ein Zahlenbeispiel angeführt. Zur Erleichterung der entsprechenden Rechnungen ist in meinen «Seismometrischen Tabellen» eine Anzahl Hilfstabellen angegeben. Ich brauche also nicht an dieser Stelle auf diese Frage weiter einzugehen und kann mich also mit einem Hinweis auf meine andere Abhandlung begnügen.

¹⁾ Siehe «Ueber die Bestimmung der Konstanten von stark gedämpften Horizontalpendeln». Bulletin de l'Académie Impériale des sciences de St. Pétersbourg. № 9. (1908) p. 743.

Für diesen Seismographen ergab sich z. B.

$$T = 13,2$$

$$T_1 = 12,8$$

$$\mu^2 = 0,07$$

$$k = 229.$$

Wollen wir noch das Vergrößerungsverhältnis \mathfrak{B} dieses Instruments etwas näher verfolgen.

Unter Vergrößerungsverhältnis wollen wir das Verhältnis der maximalen Amplitude y_m auf der Galvanometerkurve zur entsprechenden maximalen Amplitude z_m der wahren Bodenbewegung verstehen.

Nach der Formel (39) wird also

$$\mathfrak{B} = \frac{y_m}{z_m} = \frac{kA_1}{\pi l} \cdot \frac{T_p}{(1 + u_1^2)(1 + u^2)\sqrt{1 - \mu^2 f(u)}} \dots \dots \dots (40)$$

In der Praxis wird man immer darnach streben T möglichst gleich T_1 zu machen, da in diesem Fall die verschiedenen Formeln eine viel einfachere Gestalt annehmen.

Wollen wir also, um den Gang der Funktion \mathfrak{B} zu untersuchen, $T = T_1$, also $u = u_1$ voraussetzen und ausserdem zur Vereinfachung annehmen, dass der Vertikalseismograph genau auf die Grenze der Aperiodizität eingestellt, also $\mu^2 = 0$ ist.

Dann wird mit Bezugnahme auf die Formel (34)

$$\mathfrak{B} = \frac{kA_1}{\pi l} \cdot T \left[\frac{u}{(1 + u^2)^2} \right] \dots \dots \dots (41)$$

Die vor den Klammern stehenden Grössen sind konstant; die einzige Variable ist u .

Wir sehen also, dass das Vergrößerungsverhältnis \mathfrak{B} wie immer von der Periode T_p der entsprechenden Bebenwelle unmittelbar abhängt.

Obgleich der Seismograph und das Galvanometer beide aperiodisch sind, hat die Funktion $\frac{u}{(1 + u^2)^2}$ immer ein Maximum für $u = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577$. Der Wert dieses Maximums ist $\frac{3\sqrt{3}}{16} = 0,325$.

Wollen wir nun die Werte von \mathfrak{B} für einige ausgewählte Wellenperioden T_p ausrechnen.

Dazu wollen wir $T = 13$ Sek. nehmen, $k = 229$ und l etwa $378,6 \text{ m}^1$).

Für A_1 wollen wir nur $1000 \text{ m}^2/\text{m}$ voraussetzen, also das Galvanometer ziemlich nah bei dem Registrierapparat aufstellen.

Bei Zugrundelegung dieser Zahlen ergeben sich folgende Werte für \mathfrak{B} .

Tabelle I.

T_p	\mathfrak{B}
1 Sek.	190
2,5	468
5	730
7,5	813
10	760
12,5	649
15	531
17,5	425
20	340

Das Maximum von \mathfrak{B} tritt bei $T_p = 0,577 \times 13,0 = 7,5$ ein.

Die Zahlen dieser Tabelle lehren uns, dass die Empfindlichkeit dieses Vertikalseismographen eine sehr grosse ist. Das Maximum von \mathfrak{B} geht bis 813 hinauf und dies nur bei *einem* Meter Entfernung zwischen Galvanometer und Registriertrommel. Hätte man A_1 z. B. gleich 2 oder 3 Meter gewählt, so würde die Empfindlichkeit des Instruments um das zweifache, resp. dreifache gesteigert.

Ausserdem sieht man, dass mit wachsendem T_p , nachdem das Maximum (bei $T_p = 7,5$ Sek.) überschritten wird, \mathfrak{B} garnicht so schnell abnimmt, wie bei einigen anderen Vertikalseismographen. Für $T_p = 20^s$ ist \mathfrak{B} nur etwa 2,4 Mal kleiner als der maximale Wert desselben.

Zum Vergleich wollen wir das Vergrösserungsverhältnis \mathfrak{B} für dieselben Wellenperioden T_p für den schweren Vertikalseismographen von

¹⁾ Das wahre l wäre eigentlich $377,6 \text{ m}^2/\text{m}$, was \mathfrak{B} noch etwas grösser machen würde.

1300 klgr. Gewicht, welcher in Göttingen aufgestellt ist und auf 8 starken Federn hängt, ausrechnen.

Aus den von Dr. Angenheister herausgegebenen «Seismischen Registrierungen in Göttingen im Jahre 1905»¹⁾ lassen sich die Konstanten dieses Seismographen entnehmen.

Es ist nämlich:

Eigenperiode ohne Dämpfung

$$T = 7^s,$$

Dämpfungsverhältnis $v = 6$, also etwa $\mu^2 = 0,75$,

Vergrößerungsverhältnis für sehr rasche Schwingungen

$$V = 160.$$

Dann lässt sich \mathfrak{B} nach der folgenden Formel berechnen.

$$\mathfrak{B} = \frac{V}{(1 + u^2)\sqrt{1 - \mu^2 f(u)}} \dots \dots \dots (42)$$

Die entsprechenden Zahlenwerte befinden sich in der folgenden Tabelle II.

Tabelle II.

T_p	\mathfrak{B}
1 Sek.	162
2,5	170
5	185
7,5	148
10	90
12,5	57
15	38
17,5	28
20	21

1) Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse. 1906.

Vergleicht man die Zahlen der Tabellen I und II mit einander, so ersieht man, dass der Göttingener Apparat, welcher sehr schwer und kompendiös ist, bedeutend unempfindlicher ist. Ausserdem nimmt bei demselben mit wachsenden T_p von etwa $T_p = 5$ Sek. an, \mathfrak{B} sehr rasch ab, sodass für $T_p = 20$ Sek. \mathfrak{B} nur gleich 21 ist, also 8,8 Mal kleiner als der entsprechende Wert für $T_p = 5$ Sek. Für diesen neuen Seismographen dagegen wird für $T_p = 20$ Sek. \mathfrak{B} noch gleich 340, also etwa 16 Mal empfindlicher.

Zum Schluss möchte ich noch folgendes bemerken.

Bei der Koppelung des Galvanometers mit dem Vertikalseismographen ist es zweckmässig, die Verbindungsdrähte in der Weise anzubringen, dass, wenn der Seismographenbalken einen plötzlichen Anstoss nach unten bekommt, der Lichtpunkt auf dem Seismogramm nach oben sich verschiebt. Dann wird bei Erdbebenbeobachtungen eine solche Verschiebung des Lichtpunktes nach oben einer vertikalen Bodenbewegung entsprechen, die von unten nach oben gerichtet ist.

Wir sehen also, dass dieser neue Seismograph zu seismometrischen Beobachtungen über die Vertikalkomponente der Bodenbewegung sich vollkommen eignet. Seine Eigenperiode (ohne Dämpfung) für dieselbe Lage des Balkens bleibt sehr konstant. Durch Verlegung des unteren Befestigungspunktes der Spiralfeder kann man diesem Apparat eine ziemlich lange Eigenperiode geben und mit Hilfe von zwei Paaren dämpfender Magnete ihn in ein vollkommen aperiodisches Instrument verwandeln, wodurch der störende Einfluss der Eigenbewegung des Seismographen selbst auf das Minimum reduziert wird.

Trotz der vollkommenen Aperiodizität des Seismographen besitzt er, infolge der Anwendung der galvanometrischen Registriermethode, eine sehr hohe Empfindlichkeit, wobei alle Temperaturkompensationen für die Feder vollständig wegfallen. Zugleich wird auch eine Fernregistrierung in sehr einfacher Weise erzielt.

§ 3.

Laboratoriumsversuche.

Bevor dieser neue Vertikalseismograph für seismometrische Beobachtungen zur Verwendung kam, schien es mir wünschenswert die Theorie desselben zunächst einer experimentellen Prüfung zu unterziehen, speziell sich zu überzeugen, ob dieser Apparat imstande ist, auf Grund der For-

mel (39) wirklich zuverlässige Werte für die wahren Amplituden z_m der vertikalen Bodenbewegung zu liefern.

Zu dem Zweck wurde eine spezielle Untersuchung vorgenommen.

In den Kellerräumen des Physikalischen Laboratoriums der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg wurden in speziell gemachten Vertiefungen in zwei einander gegenüber stehenden Wänden zwei starke Schienen gelegt. Auf diesen Schienen wurde die obere schwere Platte meiner Untersuchungsplattform¹⁾ niedergelegt und zwar so, dass sie von 4 Holzklötzen getragen wurde.

An dieser Plattform wurden zwei Drähte angeschraubt, die nach oben durch eine Rolle gingen und an einem Exzenter befestigt wurden. Das entsprechende Rad konnte mittelst eines kleinen Elektromotors in Bewegung versetzt werden. Bei der Drehung dieses Rades konnte die Plattform sehr kleine, ganz regelmässige, sinusartige, vertikale Bewegungen ausführen.

Wegen der grossen Drehgeschwindigkeit des Motors wurde eine spezielle Uebertragung angebracht, um die vertikalen Bewegungen der Plattform zu verlangsamen.

Durch Einschaltung von Vorschaltwiderständen konnte man die Periode T_p dieser vertikalen Bewegungen zwischen ziemlich weiten Grenzen, nämlich zwischen 2,72 und 14,52 Sekunden, variieren.

Die Registrierung der Plattformbewegung erfolgte auf folgende Weise.

Auf der Plattformoberfläche P (siehe die schematische Fig. 5.) ruhte in A ein gelenkartiger Hebel AOB mit einer horizontalen Drehungsaxe O , die nicht mit der Plattform verbunden war.

Wenn dieselbe vertikale Bewegungen ausführte, so wurde diese Bewegung mittelst des Gelenkes BD auf den kleinen Spiegel S übertragen, welcher um eine vertikale Axe EF sich drehen konnte.

In einer gewissen Entfernung A vom Spiegel befand sich die Trommel R des Registrierapparates, welche mit lichtempfindlichem Papier bekleidet war.

Die drehende Bewegung des Spiegels wurde auf gewöhnlichem optischem Wege, mittelst eines auf denselben fallenden Lichtstrahls, aufgenommen.

Die betreffenden Längen waren die folgenden:

$$l_1 = 29,6 \text{ m/m}$$

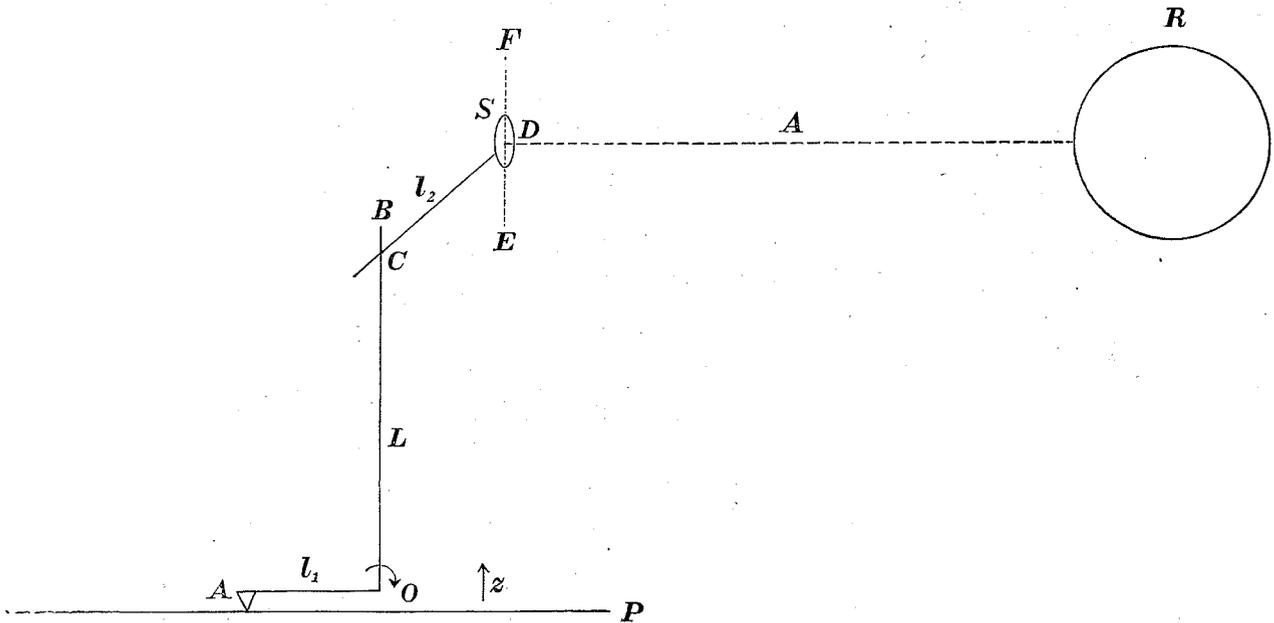
$$L = 115,3$$

$$l_2 = 44,0$$

$$A = 3122$$

¹⁾ Siehe «Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen». Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. I. Livr. 3, § 9.

Fig. 5.



Somit war die totale Vergrößerung gleich 553.

Man bekam auf diese Weise recht schöne, sinusartige Kurven, aus welchen man die Periode T_p und wahre Amplitude z_m der vertikalen Plattformbewegung bestimmen konnte. z_m zeigte sich dabei als sehr konstant und unabhängig von der Periode der Plattformbewegung.

Es ergab sich im Mittel

$$z_m = 0,101 \text{ m/m.}$$

Zu gleicher Zeit wurde auf der Plattform der Vertikalseismograph aufgestellt und die entsprechende Bewegung des Galvanometers auf demselben Papierbogen aufgenommen, sodass man auf diese Weise neben einander zwei Kurven erhielt; die eine derselben entsprach der Bewegung der Plattform und die andere der des Galvanometers. Zugleich wurde eine Minuten-Zeitmarkierung angebracht, um jedesmal die Perioden bestimmen zu können.

Man bekam auf diese Weise für die Galvanometerkurven ebenfalls sehr schöne Sinusoiden, aus welchen man die Periode und Maximalamplitude y_m entnehmen konnte.

Es ergab sich erstens, wie aus der Theorie dieses Instruments zu erwarten war, dass die Periode der Galvanometerkurve genau mit der Periode T_p der Plattformbewegung zusammenfiel.

Wurde nun die Amplitude y_m und Periode T_p der Galvanometerkurve ausgemessen, so konnte man schon die wahren Amplituden z_m der Plattformbewegung nach der Formel (39)

$$z_m = \frac{\pi l}{k A_1} (1 + u_1^2)(1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)} \frac{y_m}{T_p} \dots \dots \dots (39)$$

berechnen.

Ein Vergleich zwischen den direkt bestimmten und aus den Aufzeichnungen des Galvanometers abgeleiteten Werten von z_m gibt sofort ein Urteil über die Leistungsfähigkeit dieses Vertikalseismographen.

Die Beobachtungen können selbstverständlich nicht auf eine völlige Genauigkeit Anspruch erheben, da erstens z_m sehr klein und infolgedessen schwer ganz genau zu bestimmen war; dann konnten die Schienen nicht ganz gleiche elastische Eigenschaften haben, somit auch die Plattformbewegung nicht eine ganz regelmässige sein; drittens war bei den grössten Werten von T_p die Bewegung des Motors nicht eine ganz regelmässige.

Trotz alledem haben sich, wie aus der folgenden Tabelle III zu ersehen ist, im grossen und ganzen vollkommen genügend übereinstimmende Werte für z_m ergeben.

Die Konstanten des Seismographen waren die folgenden:

$$T = 13,2$$

$$T_1 = 12,8,$$

$$\mu^2 = 0,07$$

$$l = 377,6 \text{ m/m}$$

$$k = 229,5$$

$$A_1 = 742,8 \text{ m/m}$$

Die Beobachtungen wurden für 10 verschiedene Werte von T_p zwischen $T_p = 2,72$ und $T_p = 14,52$ vorgenommen.

Es wurde für jede Galvanometerkurve immer eine Anzahl Amplituden gemessen und aus den erhaltenen Zahlen, die recht wenig von einander sich unterschieden, das Mittel genommen.

In der folgenden Tabelle III sind die Zahlen nach wachsenden Werten von T_p geordnet.

In der ersten Kolumne dieser Tabelle befinden sich die Perioden T_p der Plattformbewegung, in der zweiten die gemessenen Doppelamplituden $2y_m$ der Galvanometerkurven, in der dritten die aus den Angaben des Seismo-

graphen abgeleiteten Werte von z_m ¹⁾, in der vierten der wahre Wert von z_m und in der fünften die Differenz Δ beider, d. h. $\Delta = z_m$ (berechnet) — z_m (wahr).

Tabelle III.

T_p	$2y_m$	z_m		Δ
		Berechnet.	Wahr.	
2,72 Sek.	74,36 ^m / _m	0,103 ^m / _m	0,101 ^m / _m	+ 0,002 ^m / _m
3,04	80,65	0,102	—	+ 0,001
3,61	91,34	0,101	—	0
3,66	92,96	0,102	—	+ 0,001
5,82	123,1	0,104	—	+ 0,003
6,24	127,3	0,105	—	+ 0,004
10,33	128,6	0,112	—	+ 0,011
12,85	107,7	0,110	—	+ 0,009
13,86	91,20	0,101	—	0
14,52	91,92	0,108	—	+ 0,007

Aus dieser Tabelle ersieht man, dass die Uebereinstimmung zwischen den aus den Aufzeichnungen des Seismographen abgeleiteten und den wahren Werten von z_m in Anbetracht gewisser möglicher Unregelmässigkeiten in der Plattformbewegung und der Schwierigkeit den wahren Wert von z_m mit Hilfe von Hebelvorrichtungen ganz genau zu bestimmen, als eine recht befriedigende betrachtet werden kann.

Der Unterschied zwischen beiden beträgt höchstens nur einige Mikronen, die auch ohne Zweifel auf unvermeidliche Versuchsfehler zurückzuführen sind.

Die Werte von $2y_m$ in dieser Tabelle, je nach dem Wert von T_p ,

¹⁾ Einige von diesen Werten von z_m unterscheiden sich um einen ganz unbedeutenden Betrag von denen, welche in meiner vorläufigen Notiz (C. R. T. 150. № 26 (1910)) gegeben sind, weil ich jetzt etwas genauere Werte der Seismographenkonstanten zugrunde gelegt habe.

schwanken zwischen $74,36 \text{ m/m}$ und $128,6 \text{ m/m}$ und trotzdem ergaben sich in allen Fällen ziemlich gleiche Werte von z_m .

Ausserdem ersieht man aus den Zahlen der zweiten Kolumne, dass zwischen $T_p = 6,24$ und $T_p = 10,33$ ein Maximum von y_m vorliegt, wie es auch nach der Theorie sein soll (Maximum des Vergrößerungsverhältnisses \mathfrak{B}).

Eine weitere Prüfung der Theorie bezieht sich auf die Bestimmung der Zeitverspätung $\tau + \tau_1$ zwischen dem Auftreten des Maximums der Plattformbewegung und dem entsprechenden Maximum auf der Galvanometerkurve. Da beide Kurven auf einem und demselben Papierbogen aufgenommen wurden, so konnte diese Zeitdifferenz zwischen beiden Maximen direkt ermittelt werden. Andererseits konnte man $\tau + \tau_1$ nach den Formeln (37) und (38) berechnen.

In der folgenden Tabelle IV sind die berechneten und direkt beobachteten Werte von $\tau + \tau_1$ zusammengestellt und zwar für grössere Werte von T_p , da für sehr kleine Werte von T_p eine genaue Ermittlung von $\tau + \tau_1$ aus den Kurven recht schwierig ist.

Tabelle IV.

T_p	$\tau + \tau_1$	
	Berechnet.	Beobachtet.
5,8	5,7	5,3
6,2	6,0	6,2
10,3	8,5	8,6
12,9	9,7	9,8
13,9	10,2	10,4
14,5	10,4	10,6

Die Unterschiede zwischen den berechneten und beobachteten Werten von $\tau + \tau_1$ sind ungemein klein: im ungünstigsten Fall nur 0,4 Sekunde. Eine solche Genauigkeit ist für die praktische Seismometrie mehr als ausreichend, da die Momente verschiedener Bebenphasen höchstens bis 1 Sekunde genau angegeben werden.

Diese gute Uebereinstimmung zwischen den berechneten und beobachteten Werten von z_m und $\tau \rightarrow \tau_1$ ist ein wichtiger Beleg für die Richtigkeit der früher entwickelten Theorie dieses Seismographen, welcher also die volle Möglichkeit bietet, die wahren, absoluten Amplituden der vertikalen Bodenbewegungen zu bestimmen.

Eine dritte Prüfung der Theorie bezieht sich auf die Bestimmung der Konstante β , die in der Formel (18), resp. (24) auftritt.

Aus der bekannten Eigenperiode des Apparates T lässt sich β nach der folgenden Formel berechnen ($n' = \frac{2\pi}{T}$):

$$\beta = \frac{K}{a^2} \left[\frac{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}{1 - \frac{1}{3} \frac{c^2}{\rho^2} \frac{M_1}{M}} + \frac{g}{a} \cdot \frac{h}{l} \left(1 - \frac{h}{L_0}\right) \right] \dots \dots \dots (43)$$

Die zur Berechnung von β zugrunde gelegten Zahlen waren die folgenden (siehe auch die Fig. 4):

- $a = 12,25 \text{ cm.}$
- $h = 13,92 \text{ »}$
- $L_0 = 37,50 \text{ »}$
- $l = 37,86 \text{ »}$
- $M = 23901 \text{ gr.}$
- $M_1 = 601 \text{ »}$
- $c^2 = a^2 + h^2 = 343,84$
- $g = 981,85 \text{ cm./sec.}^2$

Normale Spannung der Feder $P_0 = 57384 \times g$ Dynen.

$$r_0 = \frac{P_0}{g} \cdot \frac{a}{M} = 29,41 \text{ cm.} \dots \dots \text{(siehe Formel (21)).}$$

$$\rho^2 = r_0 l \dots \dots \dots \text{(siehe Formel (22)).}$$

K ist das Trägheitsmoment des Systems und gleich $M\rho^2$.

Auf Grund dieser Zahlenwerte, welche aus direkten Ausmessungen erhalten wurden, ergab sich aus der theoretischen Formel (43) folgender Wert von β , nämlich

$$\underline{\beta = 33.10^5 \text{ C. G. S.}}$$

Nun kann aber β auf eine ganz andere Weise bestimmt werden.
Dazu wollen wir zu der Formel (8) zurückgreifen, nach welcher

$$P - P_0 = \beta(L - L_0) \dots \dots \dots (8)$$

wird.

Um β direkt zu bekommen, braucht man nur die Spiralfeder frei aufzuhängen, mit verschiedenen Gewichten P zu belasten und die entsprechenden Aenderungen der Federlänge L mit einem Kathetometer genau auszumessen.

Aus den Beobachtungen ergaben sich folgende Werte.

P	L	ΔP	ΔL	$\beta = \frac{\Delta P}{\Delta L}$
49227 gr.	34,998 cm.			
		8190 gr.	2,512 cm.	3260 gr./cm.
57417 »	37,510 »			
		7943 »	2,422 »	3280 »
65360 »	39,932 »			

Die Zahlen der letzten Kolumne zeigen, dass β zwischen ziemlich weiten Grenzen von P wirklich als eine konstante Grösse betrachtet werden darf.

Im Mittel wird $\beta = 3270 \text{ gr./cm.}$ sein. Um diese Grösse im C. G. S. — System auszudrücken, muss man sie mit g multiplizieren.

Es ergibt sich also

$$\beta = 32.10^5 \text{ C. G. S.,}$$

was mit dem früher aus der Formel (43) abgeleiteten Wert von β in sehr guter Uebereinstimmung steht.

Bei der normalen Lage des Apparates beträgt die Federlänge $L_0 = 37,50 \text{ cm.}$

Auf Grund der eben angeführten Zahlen ergibt sich durch einfache Interpolation für den entsprechenden Zug der Feder

$$P_0 = 57384 \times g \text{ Dynen.}$$

Von dieser Zahl haben wir schon früher Gebrauch gemacht.

Die hier beschriebenen Laboratoriumsversuche, bei deren Ausführung mein Assistent Herr Wilip mir äusserst behülflich war und dem ich an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen möchte, haben also die

Richtigkeit der früher entwickelten Theorie dieses Vertikalseismographen völlig bestätigt. Somit unterliegt es keinem Zweifel, dass derselbe für seismometrische Zwecke ein vollkommen geeignetes Instrument ist.

§ 4.

Erdbebendiagramme.

Obgleich dieser neue Vertikalseismograph im Laboratorium selbst einer sehr strengen Prüfung unterzogen wurde und sich dabei in allerbefriedigendster Weise bewährt hat, war es noch sehr wichtig, um ein endgültiges Urteil über die Leistungsfähigkeit dieses Apparates zu gewinnen, denselben bei wirklichen seismometrischen Beobachtungen in Betrieb zu sehen.

Zu dem Zweck wurde der Seismograph im Juni dieses Jahres (1910) auf der seismischen Station zu Pulkowa aufgestellt. Seitdem befindet sich derselbe fortwährend in Tätigkeit und arbeitet ausserordentlich gut und regelmässig.

Obgleich am Anfang kleine Nullpunktsänderungen sich bemerkbar machten und ein öfteres Nachkorrigieren des Apparats durch Verschiebung des Laufgewichtes L (siehe die Fig. 2) nötig war, so machten sich dieselben mit der Zeit immer weniger und weniger geltend, sodass der Apparat schliesslich eine sehr konstante Ruhelage annahm.

Die von demselben gelieferten Seismogramme zeichnen sich durch eine besondere Präzision und Uebersichtlichkeit aus und, wegen der grossen Empfindlichkeit des Instruments, werden auch ganz schwache Beben in sehr schöner Weise wiedergegeben. Die Kurven haben, infolge der angewandten Registrierungsart, keine Verzerrungen, die bei der mechanischen Registrierung, infolge der Kreisbewegung des Schreibstifts, für eine genaue Verarbeitung von Erdbebendiagrammen so lästig sind.

Gewöhnlich besonders schön und ausgeprägt ist der Einsatz der ersten Vorläufer P .

Es kommt zuweilen bei einigen Beben vor, dass dieser Einsatz bei einem sehr empfindlichen Horizontalpendel (galvanometrische Registrierung) nicht so deutlich zu erkennen ist, während bei dem Vertikalseismographen derselbe sehr scharf auftritt.

Zur Illustrierung dieser Eigenschaft des Seismographen ist auf der folgenden Figur 6 der anfängliche Teil zweier Beben vom 29/VI 1910 in

natürlicher Grösse wiedergegeben und zwar für die N—S und Vertikalkomponente Z.

Man ersieht aus dieser Figur, wie scharf der Einsatz von *P* von dem Vertikalseismographen gezeichnet wird¹⁾. Infolgedessen ist ein empfindlicher Vertikalseismograph ein schätzbares Instrument zur genauen Bestimmung des Anfanges der ersten Phase eines Bebens.

Dieser Vertikalseismograph zeichnet auch in der Maximalphase eines Bebens recht schöne und interessante Kurven, die zuweilen einen sehr regelmässigen Charakter aufweisen.

Als Beispiel dafür ist auf der folgenden Fig. 7 ein Teil des von diesem Apparat gelieferten Seismogrammes für das Beben vom 9/IX 1910 *in natürlicher Grösse* reproduziert. Das entsprechende Epizentrum befand sich in der Nähe der Aleutischen Inseln.

Die unteren Kurven bilden die Fortsetzung der oberen. Die kurzen Unterbrechungen der Kurve entsprechen vollen Minuten.

Dieses Seismogramm zeichnet sich durch eine besondere Anschaulichkeit aus, wobei die verschiedenen Arten der Bebenwellen sehr deutlich zum Vorschein treten. Besonders interessant ist der Verlauf der Kurve in der Maximalphase und, obgleich das Epizentrum dieses Bebens etwa 7500 km. von Pulkowa entfernt war, sind die Ausschläge auf dem Seismogramm sehr gross, woraus auf die sehr hohe Empfindlichkeit dieses Instrumentes geschlossen werden kann.

Die folgende Fig. 8 gibt ein sehr interessantes Beispiel von mikro-seismischen Bewegungen am 18/IX 1910, wie sie von diesem Vertikal-seismographen wiedergegeben wurden. Es befindet sich nebenbei eine Nulllinie mit Minutenmarken.

Auf dieser Reproduktion ist nur ein Teil des entsprechenden Seismogramms wiedergegeben.

Wir sehen also, dass die verschiedenen vorgenommenen Laboratoriumsversuche die Richtigkeit der Theorie dieses Instrumentes vollkommen bewiesen haben und dass auch in der Praxis, bei wirklichen seismometrischen Beobachtungen, dasselbe sich völlig bewährt hat. Infolgedessen glaube ich, dass dieser neue Vertikalseismograph zum Zweck der Erforschung der vertikalen Komponente der Bodenbewegung ein ganz geeignetes Instrument ist.

¹⁾ Es ist dabei zu bemerken, dass die Länge einer Minute auf der Registriertrommel bei der Z—Komponente um etwa 30% kürzer ist als bei der N—S Komponente. Die kurzen Unterbrechungen der Kurven, welche die Minutenmarken angeben, sind auf dieser Figur nicht wiedergegeben worden.

Ueber die Einwirkung von Luftströmungen auf empfindliche Horizontalpendel.

VON J. WILIP.

Die Frage über die Einwirkung von Luftströmungen auf empfindliche Seismographen hat lange noch nicht eine entscheidende Erklärung gefunden. Man hat nur als Faktum konstatiert, dass an den meisten Stationen, auf welchen empfindlichere Seismographen funktionieren, an windigen Tagen gewisse Bewegungen durch die Pendel angezeigt werden, die gewöhnlich mit dem eigentlichen Charakter eines Bebens nichts gemein haben. Fürst Galitzin hat für diese Art von Bewegungen die Bezeichnung «mikroseismische Bewegungen zweiter Art» eingeführt, zum Unterschiede von den mikroseismischen erster Art, die gewöhnlich einen sehr regelmässigen Charakter aufweisen und nicht von lokalen Winden abhängen¹⁾.

Wenn man die Pulkowaer Seismogramme von einer Jahreszeit, in der besonders starke Winde aufzutreten pflegen, durchblättert, so findet man bisweilen sehr unregelmässige Registrierungen, sodass es schwer ist, reine sinusoidale Stellen ausfindig zu machen; bisweilen treten regelmässiger Stellen auf, die etwas Ähnlichkeit mit entfernten Beben besitzen.

Die Periode dieser Wellen beträgt gewöhnlich 10^5 — 60^5 und mehr.

Es hat sich herausgestellt, dass das Erscheinen dieser sogenannten mikroseismischen Bewegungen II Art vollständig mit der Stärke des Lokalwindes parallel geht.

Solange in Pulkowa die Windgeschwindigkeit ca. 10 klm./St. beträgt, sind diese Bewegungen noch äusserst schwach und können bei einem oberflächlichen Betrachten kaum bemerkt werden.

¹⁾ Fürst B. Galitzin (Golicyn), Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mitteilung p. 104. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III, Livr. 2.

Erreicht aber die Windgeschwindigkeit schon eine Stärke von 25—40 km./St., so werden diese mikroseismischen Bewegungen sehr auffallend und geben den Registrierungen ein sehr unangenehmes, hässliches Aussehen. Ganz besonders fühlbar macht sich dieser üble Umstand, falls zur Zeit ihres Vorkommens ein Erdbeben auftritt. Sie können das ganze Bebenbild vollständig entstellen. Fig. 1. zeigt ein von den mikroseismischen Bewegungen zerstörtes Beben (für beide Komponenten) (Siehe die Tafel).

Wie man sieht, ist infolge der sehr kurzen Perioden der erste Vorstoss noch zu entziffern, der zweite dagegen verschwindet ganz unter dem Einfluss der mikroseismischen Bewegungen.

Wenn man nach Pendeln, die in einem und demselben Raum auf verschiedenen Säulen einander parallel arbeiten, auf den Registrierungen die einander entsprechenden sinusoidalen Stellen aussucht und nach ihren Amplituden und Perioden die Grösse berechnet, die ähnlich einem Bebenmaximum einer horizontalen Verschiebung der Erdoberfläche entsprechen würde, so findet man nicht gleiche Grössen, sondern die Zahlen von dem einen überragen die von anderen um das doppelte und sogar bisweilen um das vierfache.

Die Pendel in der zu den anderen senkrechten Richtung zeichnen diese Bewegungen gewöhnlich anders, aber doch kommen bisweilen Fälle vor, wo zwei zu einander senkrechte Pendel fast parallele Kurven geben, wie wenn die Bewegungen der ersten Phase eines entfernten Bebens aus einem bestimmten Azimut angehört. Diese und jene Erscheinung mag wohl vielleicht mit der Beschaffenheit des Windes und seiner Richtung im Zusammenhang stehen, obgleich eine bestimmte Regel nicht festgestellt werden konnte.

Zur feineren Analysierung dieser Bewegungen hat Fürst Galitzin die sehr wichtigen Versuche mit den Pendeln im luftverdünnten Raum angestellt, doch auch dort gelang es nicht die mikroseismischen Bewegungen II Art zum Verschwinden zu bringen¹⁾.

Fragt man sich nach den eigentlichen Ursachen dieser Bewegungen, so liegt wohl der Gedanke am nächsten, dass diese Unruhe an windigen Tagen teilweise von Bewegungen der obersten Schichten der Erdrinde und höher herausragender Gegenstände, so des Observatoriumsgebäudes, herühren. Diese Ursache aber allein ist nicht hinreichend, um die ungleichmässigen Angaben der Pendel für die Verschiebung eines Punktes der Erdoberfläche zu erklären.

Es unterliegt also wohl keinem Zweifel, dass ein Teil dieser Bewe-

¹⁾ Fürst B. Galitzin. Über mikroseismische Bewegungen. Gerland's und Rudolph's Beiträge zur Geophysik, Bd. X., Heft 2. p. 90—91.

gungen auf Rechnung von Luftzügen, die durch den äusseren Wind im Pendelraum selbst erzeugt werden, zu setzen ist.

Wo die Stationsräume ganz auf der Erde sind, sodass der Wind direkt die Türen und Wände treffen kann, wäre ein direktes Hineinblasen von Luftströmungen denkbar, die dann das Gewicht der schlechter bedekten Pendel berühren und ablenken.

Bei solchen Bewegungen würden natürlich die individuellen Eigenschaften des Seismographen eine Rolle spielen, indem ein leichteres labileres System auf solche Luftzüge mehr reagieren würde, als ein starreres schweres. Doch ist gewöhnlich an ein direktes Hineinblasen nur in den seltensten Fällen zu denken, vielmehr mag die Hauptursache in einer Saugwirkung des Windes zu suchen sein, der an allen Öffnungen, Poren und Spalten des Gebäudes vorbeibläst und eine Verdünnung der Luft im Innern hervorbringt, wodurch dann selbstverständlich Strömungen als Folge sind. Gleichfalls können sich periodische Luftdruckschwankungen in der äusseren Atmosphäre geltend machen, in der Weise, dass sie eine Verdünnung oder Verdichtung der Luft im Pendelraume hervorrufen. Sind einmal im Pendelraum Luftströmungen vorhanden, so können diese ihrerseits wieder saugend einwirken auf die Luftmengen, die sich um die Pendel herum unter den Kappen befinden und man könnte sich vor dieser Einwirkung nur durch hermetisches Abschliessen schützen.

Wie nun die Versuche in Pulkowa mit den Pendeln im luftverdünnten Raum gezeigt haben, kommen die mikroseismischen Bewegungen II Art auch dann noch vor, wo die direkte Saugwirkung auf die bewegliche Masse des Pendels aufgehoben ist.

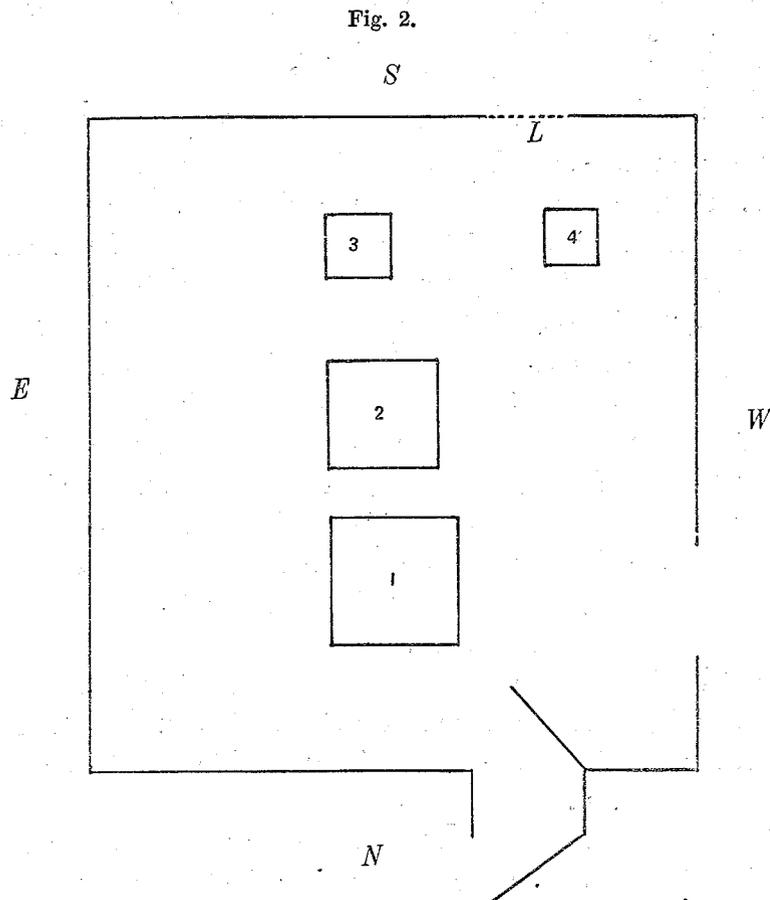
Diese Bewegungen können dann entweder von wirklichen Erschütterungen des Gebäudes über der Station oder des Bodens durch den Wind herrühren, oder es genügt schon der Druck, den die Luftströme im Kellerraum des Observatoriums auf die Kappen- und Säulenwände der Pendel ausüben und diesen geringe Neigungen erteilen.

Dass im Pendelraum während starker Winde Druckschwankungen vorkommen, zeigen die Kurven des Stoskopes, welches in Pulkowa oft zur Zeit eines starken Windes funktionierte¹⁾, und falls Druckschwankungen vorkommen, müssen auch Luftströmungen zustande kommen.

In dieser Arbeit sollen nun einige Versuche beschrieben werden, die mit künstlich hervorgerufenen Luftströmungen angestellt wurden.

¹⁾ Siehe meinen Aufsatz: Ueber die mikroseismischen Bewegungen nach den Aufzeichnungen der Pulkowaer seismischen Station, für die Zeit vom 20/VIII 1908 bis 27/I 1909 p. 17. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente, T. III, Livr. 3.

Bevor ich aber zur Beschreibung dieser Versuche übergehe, will ich zunächst einige Worte über die Lage der Pendel im Kellerraum des Observatoriums und ihr Verhalten in bezug auf die mikroseismischen Bewegungen II Art sagen.



Auf der Fig. 2 ist der Grundriss des Kellerraumes skizziert. Auf der nördlichen Seite ist der Eingang, der durch eine doppelte Tür verschlossen ist und in einen geräumigen ringförmigen Korridor mündet. Auf der westlichen Seite liegt noch ein Kellerraum ohne irgend welche Öffnung, der nur mit dem Pendelraum in Verbindung steht. Auf der Südseite bei *L* befindet sich in der Wand eine Öffnung, die mit Stroh und Brettern verschlossen ist. Diese Öffnung gestattet den Zutritt zu einer in die Erde gelassenen Säule, auf welcher oben über dem Kellerraum ein Passageinstrument aufgestellt ist. Für die Pendel sind im Kellerraum 4 Säulen errichtet, von denen die beiden grösseren von dem Boden isoliert sind.

Das Verhalten dieser Säulen in bezug auf die mikroseismischen Bewegungen II Art ist folgendes. Auf der ersten Säule sind die mikroseismischen

Bewegungen II Art für die NS-Komponente bedeutend grösser als auf der zweiten und dritten, auf der zweiten sogar im luftverdünnten Raum wiederum grösser als auf der dritten.

Für die EW-Komponente herrscht umgekehrte Reihenfolge: auf der ersten Säule sind die mikroseismischen sehr schwach, auf der dritten stark (auf der mittleren Säule wurde in dieser Richtung kein Versuch gemacht). Ferner zeigte das unempfindliche Rebeur-Paschwitz'sche Pendel auf der vierten Säule im luftverdünnten Raum überhaupt nicht die mikroseismischen II Art an, wo es aber Erdbeben von der Grössenordnung der mikroseismischen Bewegungen II Art wohl noch erkennen liess.

Da die Registrierungsart überall die galvanometrische war¹⁾, so könnte man einen Teil dieser Bewegungen auf Rechnung der Galvanometer setzen, die ausserhalb des Pendelraumes in dem ringförmigen Korridor aufgestellt waren und wo ein stärkerer Zug möglicherweise vorkommen kann.

Dieser Typus von Galvanometern ist aber sehr sorgfältig geschützt und in der Tat haben Versuche mit dem der ersten Säule zugehörigen Galvanometer gezeigt, dass das Galvanometer dann, wo das Pendel feststand, während eines starken Windes gerade Linien zeichnete.

Noch möge hier des Umstandes Erwähnung getan werden, dass die mikroseismischen Bewegungen II Art auf den ersten Registrierungen nach der Bestimmung der Konstanten stärker auftraten, als man der Windstärke gemäss hätte erwarten können. Dieses rührt sicherlich von ungleichmässiger Erwärmung der Luft, Wände und Teile der Pendel selbst während des Beobachtens her, wodurch nachher im Pendelraum und unter den Kappen Strömungen zustande kommen müssen.

Ferner standen unter den Kappen Schalen mit Chlorcalcium, sodass auch dieses durch Absorbieren der an verschiedenen Pendelteilen niedergeschlagenen Feuchtigkeit mitgewirkt haben mag.

Nun will ich zur Besprechung einiger Versuche mit künstlich hervorgerufenen Luftströmungen übergehen.

Zur Zeit dieser Versuche funktionierten 4 Pendel mit galvanometrischer Registrierung im Kellerraum, 3 Galitzin'sche und das kleine Rebeur-Paschwitz'sche Pendel, welche alle bis zur Aperiodizitätsgrenze magnetisch gedämpft waren²⁾.

Auf der ersten Säule stand in einem viereckigen Glaskäfig ein Galit-

¹⁾ Siehe die Arbeiten vom Fürsten B. Galitzin.

²⁾ Über die Empfindlichkeit der Pendel siehe: Fürst B. Galitzin (Golitsyn). Das Sicilianische Erdbeben am 28. Dec. 1908. p. 289. Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg 1909.

zin'sches Pendel I, welches speziell zur Untersuchung der mikroseismischen Bewegungen II Art diente und mit dem Rebeur-Paschwitz'schen Pendel, das auf der vierten Säule im luftverdünnten Raum aufgestellt war, auf dem kleinen Zimmermann'schen Apparat registrierte (Länge einer Minute ca. $28 \frac{m}{m}$, Entfernung der Linien von einander $5 \frac{m}{m}$). Auf der zweiten Säule stand die grosse Stahlglocke, mit der Fürst Galitzin seine Versuche mit dem Pendel im luftverdünnten Raum anstellte und unter welcher das Pendel III arbeitete. Alle diese drei Pendel registrierten die NS-Komponente.

Endlich auf der dritten Säule befand sich das Pendel II für die EW-Komponente. Pendel II und III zeichneten ihre Kurven galvanometrisch auf dem grossen Registrierapparat (Länge einer Minute ca. $30 \frac{m}{m}$, Entfernung der benachbarten Linien $13 \frac{m}{m}$).

Neben der ersten Säule auf einem speziellen Gestell aus Ziegelsteinen hatte das Statoskop seinen Platz.

Um nun im Pendelraum künstlich Luftströmungen hervorzurufen, bediente man sich eines kleinen tragbaren elektrischen Ventilators, wie man sie in inneren Räumlichkeiten zur Durchmischung der Luft benutzt.

Dieser Ventilator wurde am Eingang zwischen den beiden Türen ungefähr in der Höhe der Mitte der Pendelkappen aufgestellt und mit einem Kommutator ausgestattet, derart, dass man die Drehrichtung umkehren konnte.

Man wählte sich für die Versuche einen Tag, an dem der Lokalwind keine bemerkbaren mikroseismischen Bewegungen II Art hervorrief (9. Oktober 1909). Doch waren damals die mikroseismischen I Art ziemlich bemerkbar.

Man verfuhr bei den Versuchen folgendermaassen.

Während die Station in voller Funktion war, setzte man das Statoskop in Tätigkeit und begann mit dem Ventilator zu wirken, nachdem man ihm eine solche Lage gegeben hatte, dass der hineingestossene Luftstrom schräg die drei Pendelgehäuse streifen konnte.

Es wurden fünf verschiedene Versuchsreihen vorgenommen:

- 1) beide Türen offen,
- 2) die äussere Tür zu,
- 3) beide Türen zu,
- 4) die äussere Tür offen, die innere zu und
- 5) beide Türen offen, die ganze Türöffnung aber mit dickem Papier mittelst Heftzacken zugedeckt, wobei vor dem Ventilator ein Loch gemacht wurde.

Bei diesen Versuchen kommutierte man periodisch den Strom im Ven-

Fig. 1.



Fig. 3.

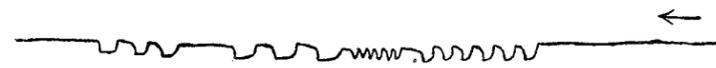


Fig. 4.

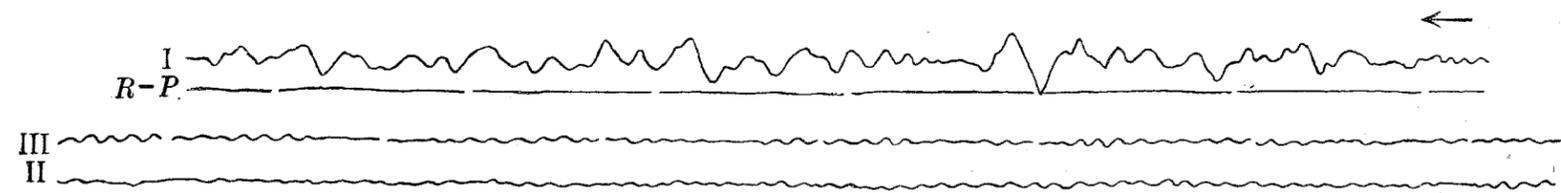


Fig. 5.

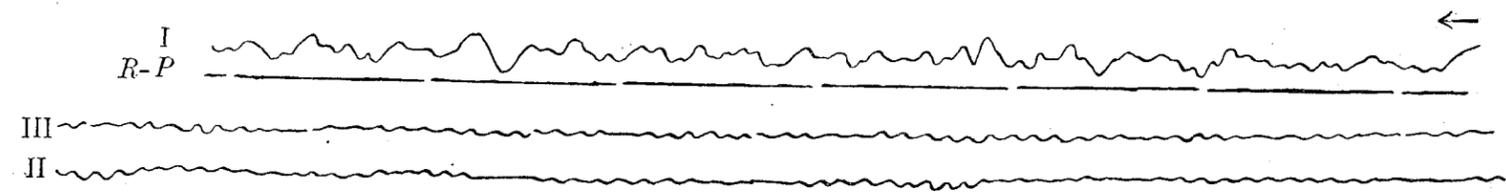


Fig. 6.

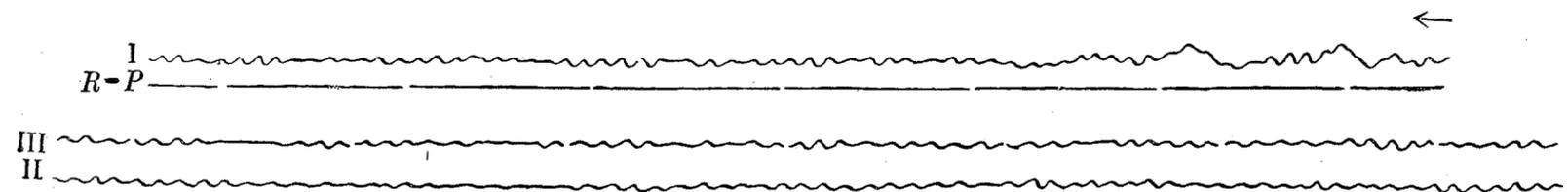


Fig. 7.

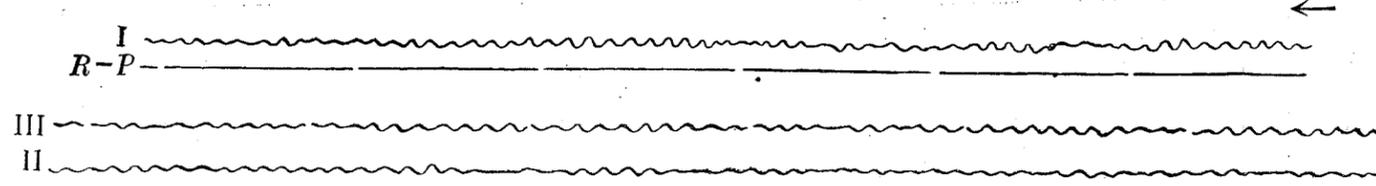


Fig. 8.

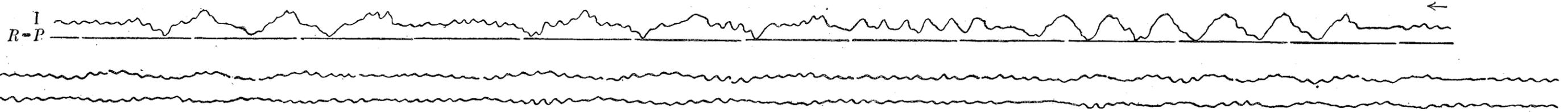


Fig 9.

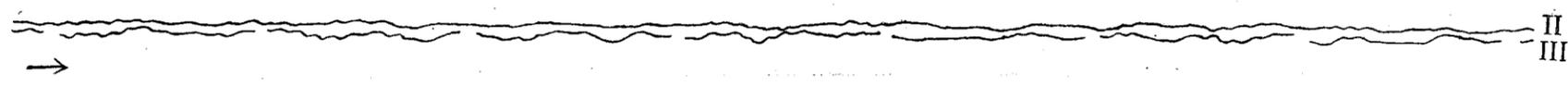
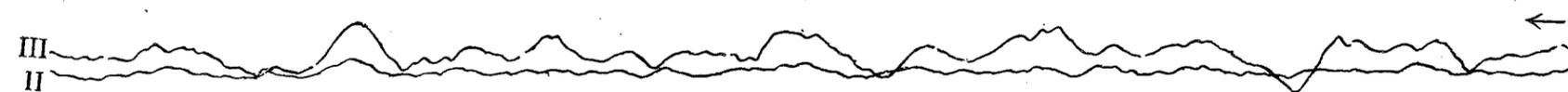


Fig. 10.



Fig. 11.



tilator, indem man ihn eine bestimmte Zeit in der einen Richtung laufen liess und dann ebensolange wieder in der umgekehrten.

In den vier ersten Versuchsreihen kommutierte man nach je ca. 15, 6—7 und 32 Sekunden, bei der fünften kam noch eine vierte Zeit nach je 23 Sekunden hinzu.

Während der 4 ersten Versuchsreihen hatte das Statoskop eine fast gerade Linie gezeichnet, nur im dritten Fall war ein sehr schwacher wellenförmiger Charakter zu erkennen.

Die Kurve des Statoskops für die fünfte Versuchsreihe zeigt die Fig. 3. (Siehe die Tafel).

Das Stück umfasst einen Zeitraum von 18 Minuten und lässt sehr gut die verschiedenen Periodenwechsel erkennen¹⁾.

Wie man nach den Ausschlägen urteilen kann, ist im Pendelraum während der Versuche nur eine Drucksteigerung zustande gekommen²⁾, da die Feder nach dem Kommutieren immer nur bis zur Nulllage zurückkehrt, was auch verständlich ist, wenn man bedenkt, dass der Ventilator ausserhalb des Raumes stand und daher keine saugende Wirkung ausüben konnte.

Auf der Tafel sind in Fig. 4, 5, 6, 7 und 8 die von den 4 Galvanometern während dieser fünf Versuchsreihen gezeichneten Kurven gruppenweise geordnet zusammengestellt, wobei jede Kurve das Zeichen des zugehörigen Pendels trägt.

Das Rebeur-Paschwitz'sche Pendel hat überall fast gerade Linien gegeben.

Wenn man von den mikroseismischen Bewegungen I Art absieht, so kann man wohl sagen, dass in den vier ersten Fällen auch Pendel II und III fast nichts angezeigt haben.

Im ersten und zweiten Fall gibt aber das Pendel I im Glaskäfig sehr unregelmässige Bewegungen, welche im dritten Fall sehr gering und im vierten fast gänzlich aufgehört haben.

Am interessantesten ist die Kurvengruppe Fig. 8, auf welcher die drei Pendel I, III und II ziemlich sinusoidale Bewegungen anzeigen.

Man erkennt aus den Kurven, wenn man über die Bewegungsrichtung der Lichtpunkte auf den Registriertrommeln orientiert ist, wohin sich das Pendelgewicht während des Hineinblasens bewegt hat.

Pendel I und III haben sich bei jeder Druckerhöhung nach Süden bewegt, während Pendel II nach Osten abgelenkt worden ist.

¹⁾ Die Kurve des Statoskops ist um 180° gedreht, da die Drehrichtung der der Registriertrommeln der Seismogramme entgegengesetzt war.

²⁾ 1^m/m entspricht einer Druckänderung von 0,01^m/m.

Es lassen sich aus diesen Kurven auch sehr gut die zwischen zwei Druckerhöhungen verstrichenen Zeiten bestimmen. Auf diese Weise erhält man dieselben als Perioden der sinusoidalen Stellen $T=30^{\circ}6$; $62^{\circ}5$ und $46^{\circ}2$, welche Zahlen das doppelte der Zeit zwischen 2 Richtungsänderungen im Laufe des Ventilators sind. Für den Wechsel der Drehrichtung nach je 6—7 Sekunden zeigen die Pendel II und III fast gar keine Schwingungen an. Dieses liegt teilweise daran, dass die mikroseismischen I Art diese Bewegungen stark überdecken, teilweise liegt die Ursache dazu in dem Experiment selbst, da die bewegendenden Kräfte zu kurze Zeit auf grosse Massen eingewirkt haben und daher nur sehr kleine Ausschläge hervorbringen konnten.

Sehen wir näher zu, auf welche Weise überhaupt jene Bewegungen an den drei Pendeln I, III und II zustande kommen können.

Das Pendel I ist von einem viereckigen Glaskäfig bekleidet, welcher aus fünf Fenstern zusammengesetzt ist.

Dieser Käfig besitzt eine beträchtliche Höhe und hat an allen Kanten Spalte.

Beim Vorbeiströmen der Luft können durch diese Spalte Saugwirkungen ausgeübt werden, die um so stärker ausfallen können, da diese Säule dem Ventilator am nächsten war.

Zu dieser Saugwirkung summiert sich hier noch eine andere, nämlich die des Druckes der strömenden Luft auf die Wand des Käfigs und vielleicht auch der Säule, wodurch eine einfache Neigung des Pendels zustande kommt.

Diese beiden Ursachen wirken in einer und derselben Richtung und lassen das Pendel die grössten Ausschläge beschreiben.

Das Pendel III arbeitete in verdünnter Luft und war folglich von jeder Saugwirkung vollständig ausgeschlossen. Die bewegendende Kraft wirkt in derselben Richtung, kann aber nur vom Druck der strömenden Luft auf die Glockenwand und die der Säule herrühren. Da die massive Glocke auf drei Schrauben ruhte, kann ihre Neigung noch teilweise dadurch zustande gekommen sein, dass bei jedem länger anhaltenden Seitendruck die Spitze der Schraube und die unter ihr befindliche Platte deformiert wurde.

Beim Pendel II verhält sich die Sache wiederum etwas anders. Dieses arbeitete für die EW-Komponente und befand sich unter einer im Vergleich zu den vorigen kleineren Blechkappe, wobei die Verbindung mit der äusseren Luft nur am unteren Rande der Kappe auf der Unterlage des Pendelgestells bestand.

Die Kurve zeigt, dass die bewegendende Kraft schräg von der Tür ge-

kommen ist, wo der Ventilator funktionierte, da das Pendel beim Hineinblasen nach Osten abgelenkt worden ist.

Hier ist die Wirkung wiederum von zwei Ursachen hervorgebracht zu denken, nämlich vom Druck und von der Saugwirkung.

Es fragt sich nun, warum bei der ersten und zweiten Versuchsreihe die Pendel III und II fast nichts angezeigt haben, während das Pendel I ziemlich starke unregelmässige Kurven beschreibt.

Wie früher erwähnt wurde, hat das Statoskop für diese Fälle auch keine Luftdruckänderung ergeben.

Wie die Kurven des Pendels I dartun, müssen die Luftbewegungen in diesen Fällen sehr unregelmässige gewesen sein, obgleich man das Kommütieren in gleichen Zeitintervallen vornahm, und es ist wohl anzunehmen, dass beim Pendel III und II die Strömungswirkungen sich kompensiert haben.

Bei der letzten Versuchsreihe musste zudem noch bei jeder Drucksteigerung ein Zug vom Norden nach Süden zustande kommen, da durch die schlecht gedeckte Öffnung in der Südwand jedesmal ein Teil der zusammengedrückten Luft leicht entweichen konnte, was besonders viel der Regelmässigkeit der Kurven auch des Pendels I beigetragen haben mag.

Die fünfte Versuchsreihe entspricht meiner Ansicht nach mehr oder weniger einem gewöhnlichen Fall beim windigen Wetter, wo die Station bei geschlossenen Türen funktioniert und durch den Wind durch Saugwirkung oder periodische Druckveränderungen von aussen im Pendelraum ein Zug hervorgerufen wird, denn die Kurven des Statoskopes zeigen in diesen Fällen Schwankungen, von denen die mit längeren Perioden den grösseren Ausschlägen der mikroseismischen Bewegungen entsprechen¹⁾.

Im natürlichen Fall kann sich zu diesen Bewegungen noch die Wirkung des Winddruckes auf das Gebäude und den umgebenden Boden hinzuaddieren.

Um eine Vorstellung von der Grösse der mikroseismischen Bewegungen II Art zu erhalten, sind einige Fälle auf der Tafel abgebildet.

Fig. 9 gibt ein Stück der Registrierungen vom $\frac{26}{XII}$ 1908 bei einer Windgeschwindigkeit von $\frac{48 \text{ Klm.}}{\text{St.}}$, wo die Kurve mit Unterbrechungen dem Pendel III unter der Stahlglocke im luftverdünnten Baum auf der zweiten Säule, die andere aber dem Pendel II auf der dritten Säule unter einer gewöhnlichen Blechkappe angehört, wobei beide Pendel die NS-Komponente registrierten.

Man erkennt hier deutlich die grösseren Ausschläge des Pendels III.

¹⁾ Siehe meinen Aufsatz L. c.

Im Allgemeinen sind aber die Bewegungen bei einem so starken Winde nicht sehr gross.

Fig. 10 zeigt eine Probe vom $\frac{13}{V}$ 1909 bei einer Windgeschwindigkeit von ca. $\frac{39 \text{ Klm.}}{\text{St.}}$ von denselben Pendeln und auf denselben Säulen, wie früher, mit dem Unterschiede, dass das Pendel II hier für die EW-Komponente eingerichtet war.

Man sieht die enorm grossen Ausschläge des Pendels II in dieser Richtung, während dieselben in der senkrechten sogar kleiner ausfielen, als im luftverdünnten Raum.

Fig. 11 enthält eine Kopie aus der Registrierung am $\frac{26}{I}$ 1910 bei einer Windgeschwindigkeit von $30-40 \frac{\text{Klm.}}{\text{St.}}$ von denselben Pendeln auf einer und derselben ersten Säule, wobei die Pendel vollständig in gleicher Weise durch Blechkappen gut geschützt sind, in der Weise, dass der untere Rand der sonst luftdichten Kappen in einer Rinne sitzt, die mit feinem Sande ausgefüllt ist. Die Pendel standen hier zu einander senkrecht.

Das Pendel III gibt auf dieser Säule für die NS-Komponente beträchtlich grössere mikroseismische Bewegungen, als Pendel II für die EW-Komponente.

Es sollen an dieser Stelle noch einige Versuche behandelt werden, derer schon in meinem früheren Aufsatz¹⁾ Erwähnung geschah und welche nach den Versuchen mit dem Ventilator nochmals wiederholt wurden. Es sind das visuelle Beobachtungen an dem Lichtpunkt auf der Registriertrommeloberfläche, während man auf die ca. 300 Kigr. schwere Stahlglocke, die im luftverdünnten Raum das Pendel beherbergte, aus dem Munde anhaltend blies.

Selbstverständlich wurden diese Versuche mit der grössten Vorsicht vorgenommen, da leicht ein etwas anderes Auftreten mit den Füssen auf dem Boden neben der Säule schon eine Bewegung hervorbringen kann.

Ein kurzes plötzliches Draufblasen brachte keine Bewegung des Lichtpunktes zustande. Verlängerte man aber die Zeit des Blasens bis 5—10 Sekunden oder noch mehr, so war jedesmal eine Bewegung des Lichtpunktes auf der Trommel zu erkennen, sodass der Ausschlag nicht kleiner, als der bei den mikroseismischen Bewegungen II Art war.

Es handelte sich nun weiter darum, zu bestimmen, welchen Druck ungefähr ein solches Blasen erzeugen kann.

Man bediente sich zu dem Zweck einer gewöhnlichen Wage mit breiten

¹⁾ Siehe L. c.

Schalen, die eine solche Fläche besaßen, dass sie ähnlich, wie die Glocke, von dem ausgestossenen Luftstrom getroffen werden konnten.

Indem man auf eine solche Wagschale anhaltend blies, ebensolange wie auf die Glocke, erhielt man im Mittel ca. 5 gr.¹⁾

Ein solches Gewicht ungefähr müsste sich also gegen die Glocke lehnen, um Bewegungen von der Grössenordnung der mikroseismischen II Art hervorzurufen.

Angenähert lässt sich die Grössenordnung der Geschwindigkeit der Luftbewegung berechnen, die im Pendelraum herrschen müsste, damit derartige Bewegungen zustande kämen.

Bedienen wir uns hierbei einer Formel, die bei dem Osler'schen Anemographen verwendet wird, nämlich

$$p = 0,125 v^2,$$

wo p den Druck in Kilogrammen pro Quadratmeter und v die Geschwindigkeit der Strömung in Metern pro Sekunde bedeuten.

Zugleich wollen wir der Einfachheit wegen die Annahme machen, dass die getroffene Fläche gerade ist und ein \square met. beträgt.

Dann ergibt sich für $V = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$

Dies ist eine sehr schwache Luftströmung, die in einem ähnlichen Raum, wie dieser Keller, zur Zeit eines starken Windes sehr wohl denkbar ist, wie dieses wohl auch die Kurven des Statoskopes klar bewiesen haben.

Alle diese Tatsachen sprechen dafür, dass wir in solchen Luftströmungen, die während starker Winde in geschlossenen Räumen auftreten können, einen gefährlichen Feind der Präzisionsseismometrie erkennen, den man aufs eifrigste bekämpfen muss.

Wir brauchen die reine Bewegung der Erdoberfläche, mag diese vom wirklichen Winde oder anderen kosmischen Ursachen herrühren und es ist klar, dass bei ungenügender Sicherstellung der Apparate vor solchen Strömungen so manches Interessante unserer Beobachtung ganz und gar entgeht, es sei denn dass wir uns nur auf die windstillen Tage beschränken.

Es fragt sich nun, auf welche Weise man sich gegen solche Strömungen schützen könnte.

Das beste wäre natürlich, dass man die Wände, die Lage und Diele des Pendelraumes ganz hermetisch baut und zugleich den Zutritt zum Inneren mit total hermetisch schliessenden Türen versieht.

¹⁾ Beim kürzen starken Blasen kann man auf der Wagschale natürlich beträchtlich mehr heben.

Ein derartiger Bau ist aber sehr schwer auszuführen und ohne Anwendung von ganz besonderen Hilfsmitteln würden immer Poren vorhanden sein, die der Luft den Durchgang gestatten würden.

Viel gewonnen wäre aber auch schon, wenn die Räumlichkeiten dermaassen dicht halten würden, dass die mit gewissen Perioden sich wiederholenden Windstösse ihre saugende Wirkung nicht vollständig geltend machen könnten.

Eine derartige Konstruktion der Räumlichkeiten wäre eher noch ausführbar.

Die Temperatur im Inneren muss selbstverständlich überall gleich sein oder eine solche Verteilung haben, dass keine Luftströmungen im Inneren zustande kommen können. Es dürfen z. B. nicht etwa die Wände an einzelnen Stellen mehr erwärmt werden, als an anderen, wie dieses in gewöhnlichen Wohnräumen der Fall ist.

Um aber für alle Fälle sicher zu sein, könnte man die Pendel selbst hermetisch von der äusseren Luft abschliessen.

Zudem dürfte man dann als Ort der Aufstellung keine Säulen bauen, sondern im Gegenteil, den hermetisch schliessenden Schrank zur Aufnahme des Pendels müsste man fest in die Erde mauern, wobei nur die vordere Seite, die aus dickem Spiegelglas bestehen muss, offen bleiben mag, damit man immer nachsehen kann, ob alles in Ordnung ist.

Auf diese Weise könnte eine Luftströmung gegen die Glasfläche nur eine geringe Deformation des Schrankes hervorrufen, die sich wohl kaum geltend machen würde, besonders, wenn man das Pendel so orientiert, dass das Gewicht nach der Glastür zeigt.

Man kann noch weiter gehen, indem man den hermetisch schliessenden Schrank selbst als Pendelgestell benutzt, wobei man die Magnete für die Dämpfung und galvanometrische Registrierung am Schrank befestigt, während die Reguliervorrichtung für die Periode und Nulllage des Pendels an der Oberlage des Schrankes angebracht wird.

Durch eine derartige Konstruktion hätte man ausserdem noch den Vorteil gewonnen, dass man unabhängig von einer möglichen Eigenbewegung des Pendelstatives wird, die die Aufzeichnungen von Erdbeben bei plötzlich eintreffenden Stössen, wie ganz besonders beim ersten Vorstoss, mehrfach modifizieren kann.

Eine derartige Konstruktion ist am bequemsten nur in Verbindung mit der galvanometrischen Registriermethode¹⁾ zu verwenden, da man dort

¹⁾ Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Die elektromagnetische Registriermethode. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III, Livr. 1.

die registrierenden Teile in beliebigen anderen Räumlichkeiten aufstellen kann und den Pendelraum selbst nicht zu betreten braucht.

In gewissen Fällen wäre eine solche Einrichtung noch von grossem Nutzen. Wo man z. B. nicht beständige seismometrische Beobachtungen führt, könnte man sich durch billige Mittel eine Station bauen, indem man einfach die Schränke mit den Pendeln in der Erde einmauert und die registrierenden Teile in gewöhnlichen Wohnräumen aufstellt.

Ob diese Vorsicht aber in einer wirklich plangemäss angelegten seismischen Station nötig sein wird, darüber hier zu entscheiden wäre zu verfrüht.

Dieses müssen erst in Zukunft Versuche klarlegen, wenn in Pulkowa die unterirdische Station gebaut sein wird und die Registrierungen in diesen Räumlichkeiten begonnen haben werden.



Къ вопросу объ опредѣленіи времени на сейсмическихъ станціяхъ второго разряда.

Князь В. В. Голицынъ.

При современномъ развитіи сейсмическихъ наблюденій представляется важнымъ, не только обладаніе надежными сейсмографами, дающими ясныя и отчетливыя записи во время землетрясеній, но также и знаніе точнаго средняго мѣстнаго времени для отмѣчанія вѣрныхъ моментовъ наступленія тѣхъ или иныхъ фазъ землетрясенія. Предѣльную точность, съ которой въ настоящее время надо знать поправку часовъ на современныхъ сейсмическихъ станціяхъ, можно принять равной *1 секунда*.

Однимъ изъ способовъ провѣрки часовъ на сейсмическихъ станціяхъ второго разряда являются телеграфныя сношенія съ какой-нибудь ближайшей центральной метеорологической или астрономической обсерваторіей, но этотъ телеграфный способъ самъ по себѣ довольно хлопотливъ и не всегда надеженъ, а для сейсмическихъ станцій, гдѣ нѣтъ телеграфа, даже и совершенно непримѣнимъ. Въ виду этого слѣдуетъ несомнѣнно предпочесть всякимъ телеграфнымъ сношеніямъ прямой, чисто астрономическій способъ опредѣленія времени на мѣстѣ. Если завѣдующій сейсмической станціей знакомъ съ теоріей и практикой астрономическихъ наблюденій, то опредѣленіе поправки часовъ не представитъ ровно никакихъ затрудненій, но важно было бы имѣть по возможности совершенно простой астрономическій способъ опредѣленія времени, который былъ бы доступенъ всякому обыкновенному, но аккуратному наблюдателю, знакомому лишь съ элементами математики, физики и космографіи.

Для означенной цѣли былъ предложенъ, между прочимъ, способъ соответствующихъ высотъ солнца, въ видѣ кольца проф. Глазенапа. Въ недавнее время членъ-корреспондентъ Императорской Академіи Наукъ

профессоръ Н. Я. Цингеръ представилъ Сейсмической Комиссiи новый, чрезвычайно изящный и превосходно разработанный способъ опредѣленія поправки часовъ по моментамъ прохожденія различныхъ звѣздъ черезъ одинъ и тотъ же альмукантаратъ. Несомнѣнно, что этотъ способъ, въ рукахъ опытнаго наблюдателя, можетъ дать прекрасные результаты, но мнѣ лично кажется, что мало опытный человѣкъ, при поворачиванiи инструмента съ неподвижной трубой, легко можетъ перепутать отдѣльныя звѣзды и пронаблюдать одну вмѣсто другой; кромѣ того этотъ способъ требуетъ довольно точнаго знанiя истиннаго меридiана для установки трубы въ опредѣленномъ азимутѣ, не говоря уже о томъ, что практическое и удобное примѣненiе этого способа требуетъ для каждаго мѣста наблюдений предварительнаго составленiя цѣлаго ряда вспомогательныхъ таблицъ. Но разъ, что при способѣ проф. Цингера требуется, такъ или иначе, знанiе меридiана, то спрашивается, не было ли бы цѣлесообразнѣе опредѣлять время просто по небольшому пассажному инструменту, установленному въ меридiанѣ? Противъ этого можно возразить, что примѣненiе пассажнаго инструмента требуетъ отдѣльнаго столба для инструмента и болѣе или менѣе удаленной меридiанной миры; кромѣ того на результаты наблюдений влiяютъ, какъ наклонность оси, такъ и коллимацiонная ошибка прибора. Но столбъ и миру можно на сейсмической станцiи установить разъ на всегда, причемъ точное положенiе меридiана можно всегда легко опредѣлить при помощи того-же самаго пассажнаго инструмента. Что-же касается наклонности оси и коллимацiонной ошибки, то ихъ можно каждый разъ передъ наблюденiями достаточно хорошо уничтожить. Тогда можно при самихъ наблюденiяхъ вовсе не перекладывать трубы, а также, при знанiи направленiя истиннаго меридiана, ограничиться наблюденiями звѣздъ въ одной лишь верхней кулминацiи. Въ этомъ случаѣ, какъ наблюденiя, такъ и вычисленiя дѣлаются чрезвычайно простыми и безусловно доступными всякому, причемъ самый способъ опредѣленiя поправки часовъ приобретаетъ значительную степень наглядности.

Конечно, такой упрощенный способъ пользованiя пассажнымъ инструментомъ совершенно не удовлетворитъ астрономовъ, но здѣсь надо имѣть въ виду не астрономическiя, а чисто сейсмическiя цѣли, а главное то, что поправка часовъ требуется лишь съ точностью до *1 секунды*, а при такой точности этотъ упрощенный способъ пользованiя пассажнымъ инструментомъ даетъ очень хорошия результаты, какъ это будетъ дальше видно изъ приводимаго ниже цифроваго матеріала.

Чтобы провѣрить на практикѣ этотъ упрощенный способъ опредѣленiя времени, я заказалъ фирмѣ Wanschaff въ Берлинѣ небольшой пассажный инструментъ, стоимостью, примѣрно, въ 180 рублей.

Увеличеніе трубы — 21,0; діаметръ объектива — $25,0^m/m$; фокусное разстояніе $188,0^m/m$. Сѣтка изъ 5 нитей, разстояніе между которыми (f) было опредѣлено въ Пулковѣ лейтенантомъ Давыдовымъ изъ прохожденія въ меридіанѣ 31 звѣзды. За первую нить принята та, съ которой начинается итти звѣзда въ верхней кульминаціи при кругѣ Ost, каковое положеніе инструмента слѣдуетъ считать нормальнымъ.

Разстояніе между нитями f .

	III — I	III — II	IV — III	V — III
$f =$	11,44	5,72	6,03	11,94

Разстояніе между двумя сосѣдними нитями въ этомъ приборѣ нѣсколько мало, такъ что, при пользованіи обыкновеннымъ слуховымъ методомъ наблюденій съ хронометромъ, отбивающимъ полу-секунды, при звѣздахъ съ малымъ склоненіемъ нѣсколько трудно пронаблюдати прохожденіе звѣздъ черезъ всѣ 5 нитей, такъ что при своихъ наблюденіяхъ съ этимъ приборомъ я пользовался только первой, третьей и пятой нитями¹⁾.

Вертикальный кругъ у прибора даетъ возможность отсчитывать минуты дуги. Уровень подвѣсный. Цѣна 1 дѣленія 5". Особые винты у одной изъ ножекъ прибора даютъ возможность передвигать немного приборъ по азимуту.

Наблюденія съ этимъ инструментомъ были произведены въ маѣ и іюнѣ 1910 года (всѣ числа даны по новому стилю) въ помѣщеніи Физической Лабораторіи Императорской Академіи Наукъ. Въ одномъ изъ оконъ, обращенныхъ въ сторону Университета, имѣется большой, каменный, нарочито сдѣланный, наружный подоконникъ, на которомъ приборъ и былъ установленъ. Приближенное положеніе меридіана было опредѣлено при помощи стараго универсальнаго прибора, принадлежащаго Физической Лабораторіи Академіи Наукъ, а точное при помощи самого пассажнаго инструмента. Направленіе меридіана изъ означеннаго окна зданія Академіи Наукъ очень удачно пришлось на крупную надпись «Святѣйшій Правительствующій Синодъ» на зданіи Синода, на противоположномъ берегу Невы, такъ что этими буквами можно было очень удобно воспользоваться, какъ близъ —

¹⁾ Въ новомъ экземплярѣ этого пассажнаго инструмента, заказаннаго для новой сейсмической станціи Общества Горнопромышленниковъ Юга Россіи въ Макѣвкѣ въ Области Войска Донскаго, разстояніе между сосѣдними нитями доведено уже, примѣрно, до 10^s .

меридіанними марками, и опредѣлить затѣмъ, на какую именно букву и на какую ея часть надо было установить среднюю нить прибора, чтобъ пассажнй инструментъ находился бы строго въ меридіанѣ. Для опредѣленія времени при этихъ наблюденіяхъ я воспользовался однимъ среднимъ хронометромъ Molуneux, принадлежащимъ Николаевской Морской Академіи.

Опредѣленіе поправки хронометра съ пассажнымъ инструментомъ въ меридіанѣ является столь обычнымъ и столь хорошо извѣстнымъ приѣмомъ, что я могъ бы ограничиться здѣсь приведеніемъ лишь однихъ результатовъ наблюденій. Тѣмъ не менѣе я всетаки изложу здѣсь теорію этого способа и остановлюсь нѣсколько на различныхъ подробностяхъ этихъ наблюденій съ тою цѣлью, чтобы настоящая моя статья могла бы одновременно служить до извѣстной степени и практическимъ руководствомъ для опредѣленія времени съ пассажнымъ инструментомъ на сейсмическихъ станціяхъ второго разряда.

Предположимъ, что данный инструментъ установленъ приблизительно вѣрно въ меридіанѣ, но что оптическая ось трубы, т. е. линія, соединяющая центръ объектива съ серединой перекрестныхъ нитей, составляетъ всетаки небольшой уголъ α съ истиннымъ направленіемъ на югъ, причѣмъ уголъ α мы будемъ считать положительнымъ, когда соответствующій азимутъ лежитъ, по отношенію къ направленію на югъ, къ востоку. Наклонность оси и коллимаціонную ошибку будемъ пока считать равными нулю.

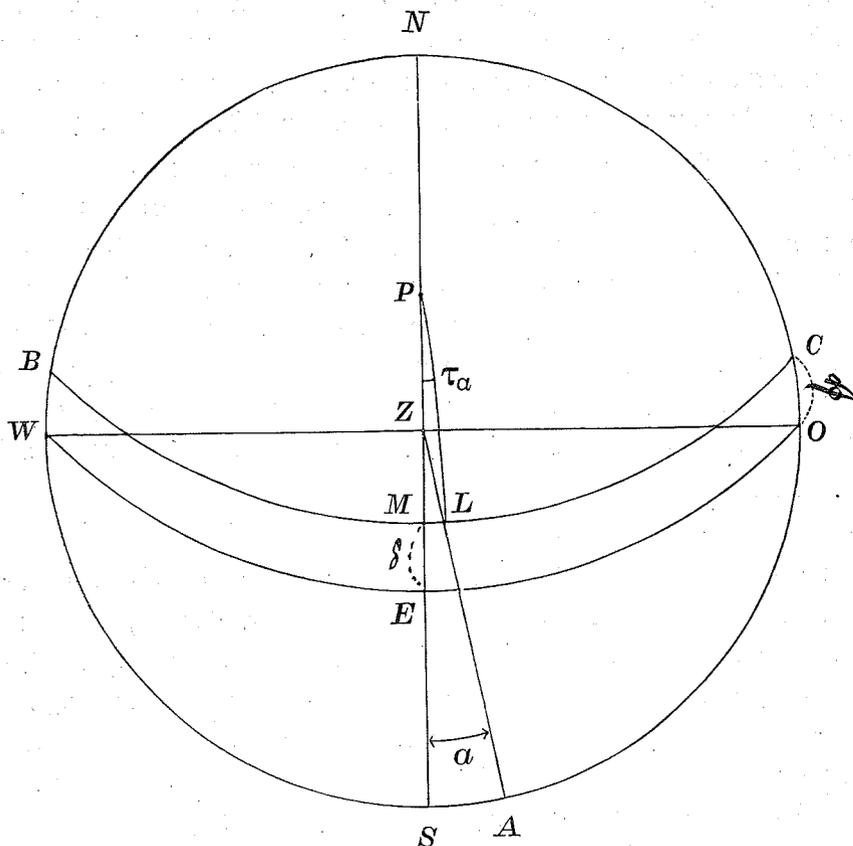
Возьмемъ какую нибудь звѣзду съ прямымъ восхожденіемъ α и со склоненіемъ δ и пусть T будетъ тотъ моментъ средняго мѣстнаго времени, когда данная звѣзда кульминируетъ въ верхнемъ прохожденіи, т. е. проходитъ черезъ истинный меридіанъ мѣста къ югу отъ наблюдателя. Вслѣдствіе того, что оптическая ось трубы составляетъ уголъ α съ меридіаномъ, звѣзда появится на средней нити трубы не въ моментъ T , а τ_α секундами раньше.

Поправку τ_α можно вычислить слѣдующимъ образомъ.

На прилагаемомъ чертежѣ I въ стереографической проэкции на плоскости горизонта кругъ $NOSW$ представляетъ собою горизонтъ, Z —зенитъ, линія ZS —направленіе меридіана на югъ, P —полюсъ міра, а кругъ OEW небесный экваторъ.

Кругъ $СМВ$ представляетъ собою кругъ склоненія, по которому движется свѣтило L . Склоненіе $\delta = \angle \infty = ME = \angle BV$ принято на чертежѣ положительнымъ, т. е. сѣвернымъ. Широта мѣста φ есть возвышеніе зенита надъ экваторомъ или полюса надъ горизонтомъ, а потому на чертежѣ широта φ представится дугой $ZE = PN$.

Черт. I.



Плоскость ZA представляет собою плоскость, въ которой вращается оптическая ось при отсутствіи другихъ инструментальныхъ ошибокъ прибора. Соответствующій азимуть a равенъ углу SZA , гдѣ a по условію очень маленькая величина.

Мы должны бы были наблюдать свѣтило въ меридіанѣ въ M , а на самомъ дѣлѣ мы наблюдаемъ его на средней нити въ L . Соответствующій часовой уголъ MPL и даетъ намъ искомую поправку на азимуть τ_α .

Въ виду малости угла a , можно принять дуги ZL и ZM равными между собою. Но ZM есть ничто иное, какъ зенитное разстояніе свѣтила въ меридіанѣ. Изъ чертежа видно, что

$$z = \varphi - \delta^1) \dots\dots\dots(1)$$

Изъ малаго сферическаго треугольника ZML мы имѣемъ

$$ML = a \sin z,$$

1) Если склоненіе звѣзды южное, то δ будетъ отрицательно.

а изъ треугольника MPL , т. к. $PL = 90^\circ - \delta$,

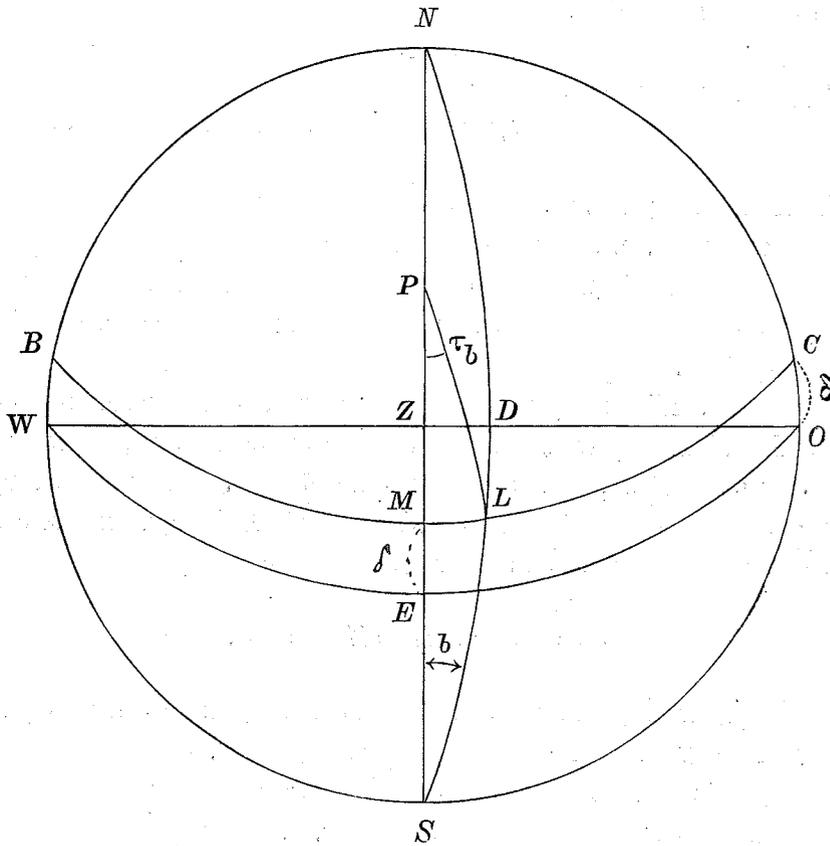
$$ML = \tau_a \cos \delta.$$

Сравнивая, находимъ окончательно

$$\tau_a = a \sin z \sec \delta \dots\dots\dots (2)$$

Такого поправка на азимуть.

Черт. II.



Другая инструментальная ошибка происходит оттого, что ось вращения инструмента можетъ быть не вполне горизонтальна. Обозначимъ соответствующій уголъ наклона оси къ горизонту черезъ b и будемъ считатьъ b положительнымъ, когда западная цапфа выше восточной. Коллимаціонную ошибку примемъ опять равной нулю.

Если бы b было равно нулю, то оптическая ось трубы двигалась бы въ плоскости SZN ; на самомъ-же дѣлѣ, при наличіи наклона, эта ось движется въ плоскости SDN (см. черт. II, который построенъ въ той-же

проекціи, что и черт. I), причемъ уголъ $ZSD =$ дугъ ZD и представитъ намъ величину наклона b . Вслѣдствіе существованія положительнаго наклона мы наблюдаемъ свѣтило на средней нити въ L раньше, чѣмъ оно придетъ дѣйствительно на меридіанъ въ M .

Соотвѣтствующая поправка τ_b представится часовымъ угломъ точки L , т. е. угломъ MPL .

Въ виду малости b мы имѣемъ изъ треугольника SML

$$ML = b \sin (90^\circ - z) = b \cos z,$$

а изъ треугольника MPL ,

$$ML = \tau_b \cos \delta.$$

Сравнивая, находимъ

$$\tau_b = b \cos z \sec \delta \dots \dots \dots (3)$$

Третья инструментальная ошибка происходитъ оттого, что оптическая ось трубы, т. е. линія, соединяющая центръ объектива съ серединой перекрестныхъ нитей, не строго перпендикулярна къ оси вращенія, а составляетъ съ ней нѣкоторый уголъ c , который и называется коллимаціонной ошибкой прибора.

Изъ черт. III, который построенъ на тѣхъ-же основаніяхъ, что и чертежи I и II, видно, что въ этомъ случаѣ, при отсутствіи другихъ инструментальныхъ ошибокъ, оптическая ось не будетъ при вращеніи трубы описывать болѣе большой кругъ SZN , а малый GDN , причемъ разстояніе между обоими кругами вездѣ одинаково и равно c .

$$c = SG = ML = ZD = NH.$$

Мы будемъ считать коллимаціонную ошибку положительной, когда малый кругъ GDN лежитъ къ востоку отъ меридіана.

Вслѣдствіе существованія положительной коллимаціонной ошибки, мы наблюдаемъ свѣтило на средней нити въ L , т. е. раньше, чѣмъ оно дѣйствительно придетъ на меридіанъ въ M . Соотвѣтствующая поправка τ_c равна часовому углу точки L , т. е. углу MPL .

Изъ треугольника MPL имѣемъ

$$ML = \tau_c \cos \delta,$$

но, такъ какъ $ML = c$, то получается просто

$$\tau_c = c \sec \delta \dots \dots \dots (4)$$

трубу на соответствующее зенитное разстояніе $z = \varphi - \delta$, причемъ приближенный отсчетъ на вертикальномъ кругѣ, соответствующій зениту, долженъ быть заранее опредѣленъ. Эту установку по зенитному разстоянію можно сдѣлать совершенно грубо, такъ какъ здѣсь важно только то, чтобы свѣтило попало гдѣ-нибудь въ поле зрѣнія трубы.

Когда звѣзда покажется въ трубѣ, то ее приводятъ, дѣйствуя на микрометричный винтъ у заранее закрѣпленнаго вертикальнаго круга, между двумя горизонтальными нитями, проведенными поперекъ системы вертикальныхъ нитей окуляра, и опредѣляютъ затѣмъ, прислушиваясь ухомъ къ бою хронометра, моменты прохожденія звѣзды черезъ отдѣльныя нити пассажнаго инструмента.

Если бы наблюдать прохожденіе звѣзды лишь только черезъ одну среднюю нить, то это было-бы не точно. Черезъ нити, лежащія къ востоку отъ средней нити, звѣзда проходитъ раньше, а черезъ западныя позднѣе, чѣмъ черезъ среднюю нить трубы, но, зная угловое разстояніе f отдѣльныхъ нитей отъ средней, можно всегда привести всѣ наблюденные моменты на среднюю нить прибора, и изъ полученныхъ такимъ образомъ чиселъ взять затѣмъ среднее, чѣмъ значительно увеличится точность результата.

Для опредѣленія поправки τ для приведенія наблюденнаго момента на среднюю нить, можно воспользоваться тѣми-же самыми соображеніями и чертежемъ III, что и при выводѣ поправки на коллимаціонную ошибку, съ тою только разницею, что теперь, вмѣсто c , надо поставить f .

Приведеніе на среднюю нить производится слѣдовательно по формулѣ

$$\tau = f \sec \delta, \dots\dots\dots (5)$$

причемъ для восточныхъ нитей τ положительно, а для западныхъ отрицательно.

Склоненіе звѣзды δ выбирается изъ астрономическихъ таблицъ, причемъ достаточно взять δ съ точностью до $1'$ и самыя вычисленія τ производить съ четырехъ-значными логарифмами.

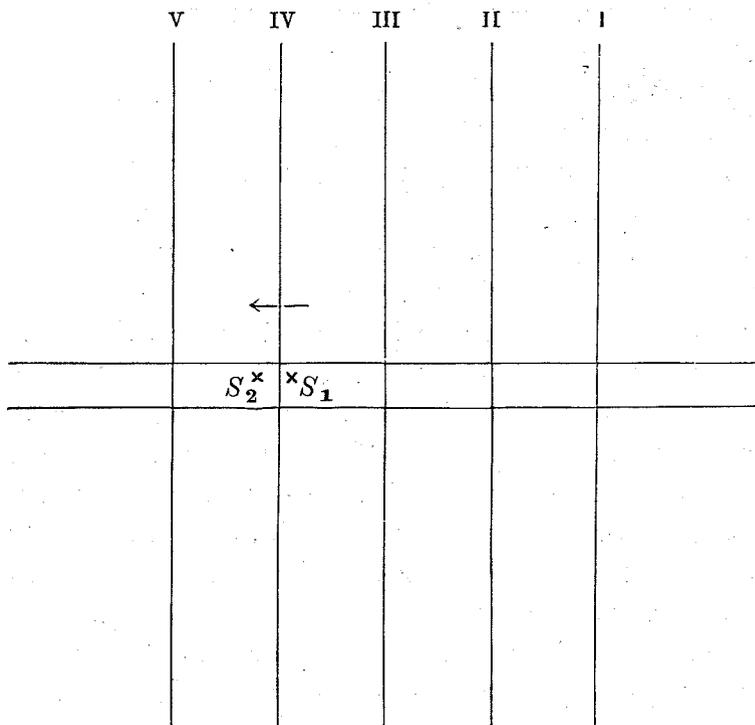
При опредѣленіи по хронометру моментовъ прохожденія звѣзды черезъ отдѣльныя нити, желательно по возможности отмѣчать десятые доли секунды.

При очень небольшомъ навыкѣ это легко удастся дѣлать.

Для этого поступаютъ слѣдующимъ образомъ.

За нѣсколько секундъ до прохожденія звѣзды черезъ какую-нибудь нить, напр. четвертую (см. черт. IV), смотрятъ на хронометръ, берутъ соответствующій моментъ (секунды) и продолжаютъ затѣмъ считать въ умѣ время, прислушиваясь къ ударамъ хронометра, который отбиваетъ полусекунды.

Черт. IV.



Слѣдя затѣмъ за движеніемъ звѣзды въ трубѣ, мы увидимъ, напри-
мѣръ, что въ моментъ 24,5 секунды звѣзда была въ S_1 , а въ 25,0 уже въ
 S_2 за нитью. Моментъ прохожденія звѣзды черезъ самую нить опредѣлится
интерполяціей. Онъ будетъ равенъ, примѣрно, 24,7 секунды. Здѣсь мы
имѣемъ дѣло не со слуховой интерполяціей, а съ глазомѣрной, что гораздо
точнѣе.

Пусть теперь t представляетъ собою окончательный средній выводъ
момента прохожденія звѣзды черезъ среднюю нить. Искомую поправку
хронометра мы обозначимъ черезъ u .

Поправкой хронометра называется та величина, которую надо *при-*
соединить со своимъ знакомъ къ наблюденному моменту по хронометру,
чтобы получить вѣрное мѣстное среднее время. Такъ какъ послѣднее равно
 $T - \tau_a - \tau_b - \tau_c$, то мы получимъ окончательно слѣдующее выраженіе
для искомой поправки хронометра u .

$$u = T - t - \{ \tau_a + \tau_b + \tau_c \} \dots \dots \dots (6)$$

Обратимся теперь къ опредѣленію T .

Въ Nautical Almanac въ отдѣлѣ «Apparent places of stars at upper
transit at Greenwich» (видимое положеніе звѣздъ при верхнемъ прохожденіи

въ Гринвичѣ) дано за каждый годъ, примѣрно черезъ каждые 10 дней, прямыя восхожденія α и склоненія δ отдѣльныхъ звѣздъ, а также и ихъ величины.

Прямое восхожденіе свѣтила есть разность часовыхъ угловъ точки весенняго равноденствія γ и звѣзды, или угловое разстояніе звѣзды отъ γ , считаемое по небесному экватору и всегда къ востоку. Звѣздное мѣстное время есть часовой уголъ точки весенняго равноденствія, а потому въ моментъ верхней кульминаціи звѣзды прямое ея восхожденіе представляетъ собою ничто иное, какъ мѣстное звѣздное время.

Найдемъ теперь изъ того-же Nautical Almanac звѣздное время въ моментъ верхней кульминаціи средняго солнца.

Въ первой части Nautical Almanac, для каждаго дня года по новому стилю, дано на правыхъ страницахъ «At mean noon» (въ средній полдень) въ послѣднемъ столбцѣ —, «Sidereal time», — звѣздное время въ средній Гринвичскій полдень. Обозначимъ его черезъ S . Это звѣздное время представляетъ собою вмѣстѣ съ тѣмъ и прямое восхожденіе средняго солнца въ моментъ его верхней кульминаціи въ Гринвичѣ. Намъ нужно, однако, знать прямое восхожденіе средняго солнца въ *мѣстный* средній полдень, а потому къ выбранному изъ астрономическихъ таблицъ числу S надо присоединить еще поправку ϵ на долготу мѣста λ .

Эта поправка вычисляется чрезвычайно просто.

Прямое восхожденіе средняго солнца, которое предполагается движущимся равномерно по экватору, увеличивается въ сутки на $3^m 56^s,56 = 236,56^s$.

Выразивъ долготу мѣста λ въ часахъ и доляхъ часа, искомая поправка ϵ опредѣлится по формулѣ:

$$\epsilon = \frac{\lambda}{24} \cdot 236,56 \dots \dots \dots (7)$$

Для восточныхъ долготъ эту поправку надо вычесть, а для западныхъ прибавить къ выбранному изъ Nautical Almanac «Sidereal time» S .

Такимъ образомъ, обозначивъ черезъ S_m звѣздное время въ средній *мѣстный* полдень, получимъ

$$S_m = S + \epsilon \dots \dots \dots (8)$$

Поправка ϵ для даннаго мѣста наблюдений вычисляется разъ навсегда.

Напримѣръ, для Академіи Наукъ въ Петербургѣ, долгота которой

$$\lambda = 2^h 1^m 13^s = 2,0203^h \text{ къ } 0^y \text{ отъ Гринвича,}$$

получится

$$\epsilon = -19^s,91.$$

Далѣ $\alpha - S_m$ представляет собою такъ называемый звѣздный промежутокъ, т. е. число звѣздныхъ часовъ, минутъ и секундъ, протекшихъ съ момента средняго мѣстнаго полдня до момента верхняго прохожденія звѣзды черезъ меридианъ.

Остается теперь только обратить этотъ звѣздный промежутокъ въ единицы средняго времени.

Такъ какъ среднія сутки *длиннѣе* звѣздныхъ на $3^m 55^s 91$, то число среднихъ единицъ времени, заключенныхъ въ промежутокъ $\alpha - S_m$, будетъ нѣсколько меньше, а потому изъ $\alpha - S_m$ надо вычесть нѣкоторую поправку Δ , которая будетъ равна $(\alpha - S_m) \frac{3^m 55^s 91}{24^h}$, или

$$\Delta = (\alpha - S_m) \frac{235^m 91}{1440^m} \dots \dots \dots (9)$$

Для вычисленія Δ по формулѣ (9) лучше обратить промежутокъ $\alpha - S_m$ въ минуты или секунды, но гораздо проще опредѣлять Δ по особой таблицѣ.

Для этой цѣли и приложена здѣсь таблица I, по которой можно очень просто и скоро найти соответствующую поправку для превращенія звѣздныхъ единицъ въ среднія.

Такимъ образомъ мы получимъ для момента средняго времени T , когда данная звѣзда будетъ на меридианѣ, слѣдующее окончательное выраженіе:

$$T = \alpha - S_m - \Delta \dots \dots \dots (10)$$

Если при этомъ всѣ инструментальныя ошибки a , b и c уничтожены, то поправка хронометра получится очень просто по формулѣ

$$u = T - t, \dots \dots \dots (11)$$

гдѣ t есть средній выводъ для момента по хронометру прохожденія данной звѣзды черезъ среднюю нить пассажнаго инструмента.

Чтобы пояснить на частномъ примѣрѣ способъ пользованія таблицами, возьмемъ наблюденія, произведенныя 17-го Мая 1910 г. (по новому стилю) въ Академіи Наукъ въ Петербургѣ надъ двумя звѣздами α Virginis (1,2 величины) и τ Bootis (4,5 величины).

Инструментальныя ошибки были предварительно всѣ уничтожены.

Изъ Nautical Almanac за 1910 годъ на стр. 359 и 360 находимъ для этихъ звѣздъ и для этого дня слѣдующія данныя:

Таблица I.

Для превращения звѣзднаго времени въ среднее солнечное.

Часы	Мин. Сек.	Мин.	Сек.	Сек.	Сек.
1	0 9,83	1	0,16	1	0,00
2	0 19,66	2	0,33	2	0,00
3	0 29,49	3	0,49	3	0,01
4	0 39,32	4	0,66	4	0,01
5	0 49,15	5	0,82	5	0,01
6	0 58,98	6	0,98	6	0,02
7	1 8,81	7	1,15	7	0,02
8	1 18,64	8	1,31	8	0,02
9	1 28,47	9	1,47	9	0,02
10	1 38,30	10	1,64	10	0,03
11	1 48,13	11	1,80	11	0,03
12	1 57,96	12	1,97	12	0,03
13	2 7,78	13	2,13	13	0,04
14	2 17,61	14	2,29	14	0,04
15	2 27,44	15	2,46	15	0,04
16	2 37,27	16	2,62	16	0,04
17	2 47,10	17	2,78	17	0,05
18	2 56,93	18	2,95	18	0,05
19	3 6,76	19	3,11	19	0,05
20	3 16,59	20	3,28	20	0,05
21	3 26,42	21	3,44	21	0,06
22	3 36,25	22	3,60	22	0,06
23	3 46,08	23	3,77	23	0,06
24	3 55,91	24	3,93	24	0,07
		25	4,10	25	0,07
		26	4,26	26	0,07
		27	4,42	27	0,07
		28	4,59	28	0,08
		29	4,75	29	0,08
		30	4,91	30	0,08
		31	5,08	31	0,08
		32	5,24	32	0,09
		33	5,41	33	0,09
		34	5,57	34	0,09
		35	5,73	35	0,10
		36	5,90	36	0,10
		37	6,06	37	0,10
		38	6,23	38	0,11
		39	6,39	39	0,11
		40	6,55	40	0,11
		41	6,72	41	0,11
		42	6,88	42	0,12
		43	7,04	43	0,12
		44	7,21	44	0,12
		45	7,37	45	0,12
		46	7,54	46	0,13
		47	7,70	47	0,13
		48	7,86	48	0,13
		49	8,03	49	0,14
		50	8,19	50	0,14
		51	8,36	51	0,14
		52	8,52	52	0,14
		53	8,68	53	0,15
		54	8,85	54	0,15
		55	9,01	55	0,15
		56	9,17	56	0,15
		57	9,34	57	0,16
		58	9,50	58	0,16
		59	9,67	59	0,16
		60	9,83	60	0,16

α <i>Virginis.</i>	τ <i>Bootis.</i>
$\alpha = 13^h 20^m 28^s,2$	$\alpha = 13^h 43^m 0^s,6$
$\delta = 10^\circ 42'$ къ <i>S.</i>	$\delta = 17^\circ 54'$ къ <i>N.</i>

Широта Петербурга $\varphi = 59^\circ 56' N$, а потому зенитныя разстоянія означенныхъ свѣтилъ въ меридианѣ, вычисленныя по формулѣ (1), получатся слѣдующія:

$$z = 70^\circ 38' \qquad z = 42^\circ 2'$$

По этимъ зенитнымъ разстояніямъ находимъ эти звѣзды въ трубѣ.

Далѣе на стр. 51 *Nautical Almanac* находимъ звѣздное время *S* 17-го Мая въ средній Гринвичскій полдень

$$S = 3^h 37^m 13^s,15$$

$$\varepsilon = \quad - 19^s,91$$

Звѣздное время въ мѣстный полдень

$$S_m = 3^h 36^m 53^s,2.$$

Опредѣлимъ теперь звѣздный промежутокъ

α <i>Virginis.</i>	τ <i>Bootis.</i>
$\alpha - S_m = 9^h 43^m 35^s,0$	$\alpha - S_m = 10^h 6^m 7^s,4$

Вычислимъ теперь по таблицѣ I поправки Δ :

На 9^h поправка $1^m 28^s,47$	На 10^h поправка $1^m 38^s,30$
» 43^m » 7,04	» 6^m » 0,98
» 35^s » 0,10	» 7^s » 0,02
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\Delta = 1^m 35^s,61$	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\Delta = 1^m 39^s,30$

Вычитая Δ изъ $\alpha - S_m$, получимъ слѣдующіе моменты средняго времени *T* для кульминаціи означенныхъ звѣздъ въ Петербургѣ.

α <i>Virginis.</i>	τ <i>Bootis.</i>
$T = 9^h 41^m 59^s,4$	$T = 10^h 4^m 28^s,1$

Обратимся теперь къ наблюдаемымъ моментамъ по хронометру.

Наблюдения были произведены на первой, третьей (средней) и пятой нити.

Мы имѣли раньше

$$f_{III-I} = 11,44 \qquad f_{V-III} = 11,94$$

$$\text{Lg } f_{III-I} = 1,0584 \qquad \text{Lg } f_{V-III} = 1,0770.$$

Для опредѣленія поправки τ для приведенія на среднюю нить мы должны воспользоваться формулой (5).

Мы имѣемъ для

α Virginis.		τ Bootis.	
$\text{Lg sec } \delta = 0,0076$	$\text{Lg sec } \delta = 0,0076$	$\text{Lg sec } \delta = 0,0216$	$\text{Lg sec } \delta = 0,0216$
$\text{Lg } f_{III-I} = 1,0584$	$\text{Lg } f_{V-III} = 1,0770$	$\text{Lg } f_{III-I} = 1,0584$	$\text{Lg } f_{V-III} = 1,0770$
$\text{Lg } \tau_I = 1,0660$	$\text{Lg } \tau_V = 1,0846$	$\text{Lg } \tau_I = 1,0800$	$\text{Lg } \tau_V = 1,0986$
$\tau_I = 11,6$	$\tau_V = 12,2$	$\tau_I = 12,0$	$\tau_V = 12,5$

Поправки τ_V надо вычесть изъ наблюдаемыхъ моментовъ.

Всѣ поправки τ для различныхъ звѣздъ, для приведенія наблюдений на среднюю нить, могутъ быть вычислены заранее и на очень долгій срокъ впередъ, такъ какъ склоненія звѣздъ подвержены чрезвычайно малымъ измѣненіямъ. Можно для этой цѣли взять среднюю величину склоненія за цѣлый годъ, данную въ томъ-же Nautical Almanac внизу столбцовъ, содержащихъ величины прямыхъ восхожденій и склоненій отдѣльныхъ звѣздъ (Mean Dec.).

Непосредственныя наблюдения дали слѣдующіе моменты по хронометру:

α Virginis.				τ Bootis.			
Нить.	Моментъ.	τ	Прив. мом. t .	Нить.	Моментъ.	τ	Прив. мом. t .
I	$9^h 42^m 28,1$	$+11,6$	$9^h 42^m 39,7$	I	$10^h 4^m 56,2$	$+12,0$	$10^h 5^m 8,2$
III	— — 39,9	0	— — 39,9	III	— 5 8,8	0	— — 8,8
V	— — 52,0	$-12,2$	— — 39,8	V	— — 21,0	$-12,5$	— — 8,5
$\text{Ср. мом. } t = 9^h 42^m 39,8$				$\text{Ср. мом. } t = 10^h 5^m 8,5$			

Искомая поправка хронометра u определится затѣмъ по формулѣ (11)
 $u = T - t$.

$T = 9^h 41^m 59^s,4$	$T = 10^h 4^m 28^s,1$
$t = 9 42 39,8$	$t = 10 5 8,5$
$u = - 0^h 0^m 40^s,4$	$u = - 0^h 0^m 40^s,4$

Согласіе между отдѣльными величинами u конечно не всегда бываетъ такое хорошее, какъ въ этомъ примѣрѣ, но, если только всѣ инструментальныя ошибки предварительно уничтожены, то разницы между отдѣльными величинами u не превышаютъ обыкновенно нѣсколькихъ десятыхъ долей секунды, что для сейсмическихъ цѣлей является болѣе чѣмъ достаточнымъ.

Слѣдуетъ, при опредѣленіи поправки хронометра, наблюдать прохожденія нѣсколькихъ звѣздъ и изъ полученныхъ такимъ образомъ величинъ u взять среднее.

Если мы предположимъ, что инструментальныя ошибки не вполне уничтожены, то можно, изъ подобныхъ наблюденій надъ прохожденіемъ звѣздъ въ меридіанѣ, опредѣлить, какъ самыя величины погрѣшностей инструмента a , b и c , такъ и истинную поправку хронометра u .

Для этой цѣли надо уже воспользоваться формулой (6), которая, на основаніи формулъ (2), (3) и (4), напишется въ слѣдующемъ видѣ:

$$u = T - t - a \sin z \sec \delta - b \cos z \sec \delta - c \sec \delta. \dots \dots (12)$$

Наблюдая цѣлый рядъ звѣздъ,—высокихъ и низкихъ, какъ въ верхней, такъ и въ нижней кульминаціи и при различныхъ положеніяхъ инструмента (кругъ Ost и кругъ West)—, можно получить рядъ уравненій вида уравненія (12), изъ которыхъ можно опредѣлить уже четыре неизвѣстныхъ u , a , b и c .

При астрономическихъ наблюденіяхъ a обыкновенно равно нулю, потому что положеніе меридіана точно извѣстно; коллимаціонная ошибка выводится изъ наблюденій при кругѣ Ost и кругѣ West. Что-же касается наклона b , то во время наблюденій слѣдятъ за уровнемъ и вводятъ соответствующую поправку на измененіе b .

Для сейсмическихъ цѣлей, гдѣ требуется знать поправку часовъ только съ точностью до одной секунды, можно значительно упростить самыя наблюденія и совершенно отказаться отъ перекладки трубы.

А именно до начала наблюденій можно уничтожить коллимаціонную ошибку c .

Для этой цѣли наводятъ среднюю нить трубы на какой нибудь отдаленный предметъ и затѣмъ перекладываютъ трубу въ своихъ цапфахъ. Перевернувъ трубу, смотрятъ опять по тому же направленію. Если въ этомъ случаѣ средняя нить опять проходитъ черезъ тотъ-же предметъ, то это означаетъ, что оптическая ось трубы перпендикулярна къ оси вращения, т. е. что коллимаціонная ошибка равна нулю.

Если обнаружится небольшое смѣщеніе средней нити, то половину ошибки исправляютъ винтомъ у ножки прибора, передвигая нѣсколько инструментъ по азимуту, а другую половину, боковымъ смѣщеніемъ всей окулярной сѣтки нитей, для каковой цѣли при каждомъ пассажномъ инструментѣ имѣются особые винтики. Эту операцію надо продолжать до тѣхъ поръ, пока при двухъ положеніяхъ трубы, кругъ Ost и кругъ West, средняя нить не останется на томъ-же самомъ предметѣ. Обыкновенно, при самомъ небольшомъ навыкѣ, коллимаціонную ошибку удается уничтожить очень скоро.

Уничтоженіе наклонности оси производится при помощи подвѣснаго уровня.

Отсчитываютъ положеніе праваго и лѣваго конца пузырька уровня и опредѣляютъ дѣленіе, соответствующее его серединѣ. Послѣ этого уровень осторожно перекладываютъ. Если новое положеніе середины пузырька отличается отъ прежняго, то половину ошибки исправляютъ, вращая упорный винтъ у подставки пассажнаго инструмента, чѣмъ измѣняется наклонъ оси, а половину исправляютъ винтикомъ у самого уровня. Эту операцію производятъ до тѣхъ поръ, пока, при двухъ положеніяхъ уровня, середина пузырька не будетъ приходиться, приблизительно, на то-же самое дѣленіе. Тогда и ось вращения будетъ горизонтальна, и самый уровень вѣренъ.

Если ошибка самого уровня невелика, то можно и не трогать вовсе его винтика, а пользоваться слѣдующимъ пріемомъ. Отсчитываютъ только положеніе одного конца пузырька, но непремѣнно всегда *одного и того-же*, и, дѣйствуя соответственно на упорный винтъ у подставки, добиваются того, чтобы при двухъ положеніяхъ уровня конецъ пузырька всегда приходился бы на одно и то-же дѣленіе. Въ этомъ случаѣ ось вращения будетъ также горизонтальна.

Мы видимъ такимъ образомъ, что уничтоженіе коллимаціонной ошибки и наклонности оси не представляетъ никакихъ практическихъ затрудненій, а вмѣстѣ съ тѣмъ, когда b и c равны нулю, то самыя астрономическія наблюденія выигрываютъ очень много въ простотѣ.

Что-же касается вліянія азимута a , то можно разъ на всегда установить вѣрную меридіанную марку и, наведя среднюю нить на эту марку (при b и c равными нулю), вовсе не считаться съ азимутомъ.

Можно между прочим воспользоваться самим пассажным инструментом для определения точного положения меридиана, если только приближенное его положение известно, хотя бы по азимуту полярной звезды.

Для этой цели к югу от пассажного инструмента, если возможно, то приблизительно в расстоянии одного километра от послѣдняго, надо установить небольшой кирпичный столбъ, выкрашенный въ бѣлую краску, на которомъ слѣдуетъ нанести черной краской нѣсколько равноотстоящихъ черныхъ вертикальныхъ штриховъ. Наводятъ, по уничтоженіи коллимаціонной ошибки и наклонности оси трубы, среднюю нить трубы на одинъ изъ этихъ штриховъ, и опредѣляютъ затѣмъ моменты кульминаціи двухъ звѣздъ, одной высокой и одной низкой.

Тогда мы будемъ имѣть два уравненія вида

$$\left. \begin{aligned} u &= T - t - a \sin z \sec \delta \\ u &= T_1 - t_1 - a \sin z_1 \sec \delta_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

изъ которыхъ можно опредѣлить, какъ u , такъ и азимутъ прибора a , который будетъ выраженъ въ секундахъ времени.

Такъ какъ приближенное угловое разстояніе между штрихами можетъ считаться известнымъ, или по линейному разстоянію между штрихами и разстоянію послѣднихъ отъ пассажного инструмента, или же по известному угловому разстоянію нитей самого прибора, то всегда можно легко оцѣнить, на какой штрихъ или на какое мѣсто между двумя сосѣдними штрихами надо поставить среднюю нить пассажного инструмента, чтобы оптическая его ось находилась строго въ меридіанѣ.

Когда положеніе меридіана точно опредѣлится, то можно въ соответствующемъ мѣстѣ на столбѣ провести красную черту. Другіе-же черные штрихи могутъ служить пособіемъ при уничтоженіи коллимаціонной ошибки прибора.

Выгодно устанавливать меридіанную марку по возможности далеко отъ самого инструмента; тогда можно, въ случаѣ надобности, снимать пассажный инструментъ со своего столба, такъ какъ, при новой его установкѣ на столбѣ, небольшое его смѣщеніе вправо или влево не повліяетъ на величину азимута. Лучше, конечно, ставить приборъ въ точности на то-же мѣсто, для чего на столбѣ можно сдѣлать соответственныя отмѣтки.

Изъ вышеизложеннаго слѣдуетъ, что опредѣленіе поправки хронометра съ пассажнымъ инструментомъ сводится къ нѣсколькимъ чрезвычайно простымъ операціямъ, которыя нужно выполнить въ нижеслѣдующемъ порядкѣ:

- 1) Уничтожить коллимаціонную ошибку.
- 2) Уничтожить наклонность оси вращенія.
- 3) Проверить положеніе инструмента по меридіанной маркѣ.
- 4) Выбрать изъ Nautical Almanac звѣздное время S въ средній Гринвичскій полдень на данный день (Sidereal time).
- 5) Присоединить со своимъ знакомъ къ S поправку ϵ на долготу¹⁾.

Получится звѣздное время S_m въ мѣстный средній полдень.

- 6) Выбрать изъ Nautical Almanac въ отдѣлѣ «Apparent places of stars» прямыя восхожденія α и склоненія δ звѣздъ, которыя кульминируютъ около выбраннаго для наблюденія времени, ограничиваясь при этомъ звѣздами до пятой величины включительно²⁾.
- 7) Определить приближенныя зенитныя разстоянія звѣздъ въ меридіанѣ по формулѣ $z = \varphi - \delta$, гдѣ φ широта мѣста, а также соотвѣтственные звѣздные промежутки $\alpha - S_m$.
- 8) Определить при помощи таблицы I поправки Δ для приведенія звѣзднаго времени въ среднее и вычесть Δ изъ $\alpha - S_m$.

Соотвѣтствующая величина $T = \alpha - S_m - \Delta$ представитъ собою мѣстное среднее время кульминаціи звѣзды.

- 9) Наводить поочередно трубу на отдѣльныя звѣзды, пользуясь для этой цѣли вычисленными зенитными разстояніями³⁾, и определять по хронометру время прохожденія звѣздъ черезъ отдѣльныя нити пассажнаго инструмента.
- 10) Сдѣлать приведеніе на среднюю нить пассажнаго инструмента и вычислить средній моментъ t .
- 11) Вычесть t изъ T . Соотвѣтствующая величина $u = T - t$ и представитъ собою искомую поправку хронометра, причемъ согласіе отдѣльныхъ величинъ u даетъ хорошій критерій для сужденія о томъ, насколько удачно инструментальныя погрѣшности прибора были уничтожены и насколько самыя наблюденія вообще надежны. За окончательную поправку хронометра надо взять среднюю величину u .

1) Для восточныхъ долготъ ϵ всегда отрицательно.

2) Приближенное время кульминаціи будетъ $\alpha - S_m$.

Нельзя при этомъ брать звѣзды со слишкомъ большимъ южнымъ склоненіемъ, иначе онѣ не будутъ видны надъ горизонтомъ. Предѣльное южное склоненіе δ_m опредѣлится по формулѣ (1), полагая $z = 90^\circ$ и считая δ отрицательнымъ.

$$\delta_m = - [90 - \varphi].$$

3) Эти зенитныя разстоянія могутъ быть вычислены для отдѣльныхъ звѣздъ заранее, такъ какъ они подвержены лишь самымъ незначительнымъ измѣненіямъ.

Всѣ эти наблюденія и вычисления, равно какъ и самая выборка величинъ изъ *Nautical Almanac* настолько просты и несложны, что они безусловно доступны всякому мало-мальски образованному человѣку.

Поправку хронометра можно опредѣлить не только изъ наблюдений надъ звѣздами, но и изъ дневныхъ наблюдений надъ солнцемъ около полдня.

Наблюденія надъ звѣздами являются, однако, предпочтительными, такъ какъ въ этомъ случаѣ получается нѣсколько отдѣльныхъ величинъ для искомой поправки хронометра *и*.

Наблюденія надъ солнцемъ должны вестись въ слѣдующемъ порядкѣ.

Уничтоживъ, какъ ранѣе было указано, инструментальныя погрѣшности прибора, наблюдаютъ по хронометру моменты прохожденія сначала западнаго, а потомъ восточнаго края солнца черезъ отдѣльныя нити пассажнаго инструмента¹⁾. Надо при этомъ установить трубу по высотѣ такъ, чтобы касаніе краевъ солнца съ вертикальными нитями происходило около двухъ весьма близкихъ горизонтальныхъ нитей. Чтобы опредѣлить соответствующее зенитное разстояніе, берутъ изъ *Nautical Almanac* (въ первой части на лѣвыхъ страницахъ) склоненіе солнца въ истинный Гринвичскій полдень даннаго дня: «*At apparent noon. The Sun's apparent declination*».

Къ этому числу надо присоединить поправку на долготу мѣста λ , такъ какъ числа въ *Nautical Almanac* отнесены къ Гринвичскому меридіану.

Въ сосѣднемъ столбцѣ дано измѣненіе склоненія на 1 часъ (*Var. in 1 hour*). Соответствующее число надо умножить на долготу мѣста λ , выразивъ λ въ часахъ и доляхъ часа, и полученную такимъ образомъ поправку присоединить съ надлежащимъ знакомъ къ выбранному изъ таблицы склоненію солнца. При этомъ надо помнить, что для *восточныхъ* долготъ мѣстный полдень наступаетъ ранѣе Гринвичскаго, а потому, если склоненіе солнца возрастаетъ, то поправка будетъ отрицательная, а, если убываетъ, то положительная.

Выведенная такимъ образомъ величина склоненія δ (съ точностью до 1 минуты дуги) въ мѣстный полдень послужитъ не только для опредѣленія зенитнаго разстоянія солнца въ меридіанѣ, чтобы установить трубу для наблюдений по высотѣ, но и для вычисления по формулѣ (5) поправокъ τ для приведенія наблюдений на среднюю нить²⁾.

1) Надо имѣть въ виду, что въ астрономической трубѣ изображенія обратныя, а потому въ трубѣ всѣ свѣтила кажутся движущимися справа налѣво.

2) Для солнца нельзя, какъ для звѣздъ, считать τ болѣе или менѣе неизмѣннымъ, такъ какъ склоненіе солнца вообще быстро мѣняется.

Приведа, для каждаго края солнца отдѣльно, наблюденные моменты къ средней нити и взявъ ариометическое среднее, получимъ моменты $t_{\odot 1}$ и $t_{1\odot}$ кульминаціи краевъ солнца. Полусумма $t_{\odot} = \frac{t_{\odot 1} + t_{1\odot}}{2}$ даетъ намъ моментъ кульминаціи центра солнца, иначе говоря показаніе хронометра въ *истинный* мѣстный полдень.

Но намъ нужно знать соотвѣтствующее *среднее* время въ истинный мѣстный полдень.

Разница между истиннымъ и среднимъ временемъ называется уравненіемъ времени. Оно дается на тѣхъ-же лѣвыхъ страницахъ Nautical Almanac для истиннаго Гринвичскаго полдня (Equation of Time), причемъ тутъ-же указано, должно ли это уравненіе времени быть прибавлено или вычтено изъ соотвѣтствующаго истиннаго времени (to be $\frac{\text{added}}{\text{subtracted}}$ from Apparent Time). Эти числа относятся, однако, къ истинному Гринвичскому полдню, а потому, чтобы привести соотвѣтствующую величину на мѣстный меридіанъ, надо, какъ мы это сдѣлали раньше для склоненія, ввести поправку на долготу.

Въ сосѣднемъ (последнемъ на лѣвыхъ страницахъ) столбцѣ Nautical Almanac дано часовое измѣненіе уравненія времени (Var. in 1 hour). Это число надо умножить на долготу мѣста λ , выразивъ λ въ часахъ и доляхъ часа, и соотвѣтствующую поправку присоединить съ надлежащимъ знакомъ къ уравненію времени въ истинный Гринвичскій полдень. Для *восточныхъ* долготъ, въ случаѣ если уравненіе времени увеличивается, поправка будетъ отрицательная.

Получивъ такимъ образомъ уравненіе времени въ мѣстный истинный полдень, слѣдуетъ присоединить эту величину съ надлежащимъ знакомъ, указаннымъ въ Nautical Almanac, къ 12 часамъ; тогда получится среднее время T_{\odot} въ истинный мѣстный полдень.

$$T_{\odot} = 12^h 0^m 0^s \pm \text{ур. времени} \dots \dots \dots (14)$$

Вычтя t_{\odot} изъ T_{\odot} , получимъ искомую поправку хронометра

$$u = T_{\odot} - t_{\odot}.$$

Примѣръ.

Наблюденія въ Академіи Наукъ надъ солнцемъ 21-го мая 1910 г. Инструментальныя погрѣшности уничтожены.

$$\varphi = 59^{\circ} 56' N$$

$$\lambda = 2^h 1^m 13^s = 2^h 0203 \text{ Ost.}$$

$$\left. \begin{array}{l} t_{\odot 1} = 11^h 55^m 59^s,8 \\ t_{\odot} = 11 \ 58 \ 15,6 \\ \hline t_{\odot} = 11 \ 57 \ 7,7 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{средніе моменты прохожде-} \\ \text{нія краевъ солнца черезъ} \\ \text{среднюю нить.} \end{array}$$

Уравненіе времени въ истинный Гринвичскій полдень $3^m 38^s,52^1$)

Часовое измѣненіе ур. вр. $0^s,139$. Поправка на долготу λ . $+ 0,28$

Уравненіе времени въ истинный мѣстный полдень . . . $3^m 38^s,80^2$)

$$T_{\odot} = 11^h 56^m 21^s,2$$

$$t'_{\odot} = 11 \ 57 \ 7,7$$

$$u = - 0^h \ 0^m \ 46^s,5$$

Изъ этого примѣра видно, что опредѣленіе поправки хронометра по солнцу также чрезвычайно просто.

Опредѣленіе поправки хронометра надо вначалѣ производить по возможности часто, чтобы выяснитъ величину суточного его хода. Суточнымъ ходомъ хронометра называется измѣненіе его поправки въ теченіи 24 часовъ. Когда хронометръ идетъ впередъ, то ходъ его будетъ отрицательный, а если онъ отстаетъ, то положительный.

Когда ходъ хронометра будетъ хорошо изученъ, то можно нѣсколько рѣже производить астрономическія наблюденія, напр. 2 или 3 раза въ недѣлю. При нѣкоторомъ навыкѣ въ этомъ дѣлѣ, можно поручиться за то, что на сейсмической станціи вѣрное время въ любой моментъ будетъ извѣстно съ точностью до 1 секунды.

Нормальными часами на сейсмическихъ станціяхъ служатъ обыкновенно особые стѣнные часы, дающіе минутныя отмѣтки времени на регистральныхъ приборахъ. По этимъ часамъ ведутся всѣ сейсмическія наблюденія. Въ виду этого слѣдуетъ ежедневно, въ опредѣленные часы, сравнивать хронометръ съ нормальными часами и выводить непосредственно поправку послѣднихъ. Это сравненіе можно, не прибѣгая къ звѣздному хронометру или тринадцатибойщику, всегда произвести съ точностью до полусекунды, въ худшемъ случаѣ съ точностью до 1 секунды, что для сейсмическихъ цѣлей является совершенно достаточнымъ.

1) Nautical Almanac стр. 5.

2) Слѣдуетъ вычесть изъ истиннаго времени.

Въ этой статьѣ я даю разныя практическія правила для *самостоятельнаго* опредѣленія вѣрнаго времени на сейсмическихъ станціяхъ второго разряда. Предлагаемый методъ отличается большой простотой и не требуетъ никакихъ специальныхъ астрономическихъ познаній. Но, такъ какъ этотъ методъ является до извѣстной степени искаженіемъ общепринятыхъ въ астрономіи приѣмовъ пользованія пассажнымъ инструментомъ, то важно было выяснитъ на практикѣ, дѣйствительно ли возможно, пользуясь этимъ упрощеннымъ приѣмомъ, т. е. *уничтожая* предварительно коллимаціонную ошибку и наклонность оси инструмента, получить надежную величину поправки хронометра, имѣя, конечно, всегда въ виду требуемую предѣльную точность результата, именно *1 секунду*.

Эти наблюденія я произвелъ частью самъ, частью же поручилъ ихъ своему ассистенту И. И. Вилину, который раньше никогда не производилъ никакихъ астрономическихъ наблюденій.

Далѣе я приведу только окончательные результаты наблюденій, придерживаясь при этомъ хронологическаго ихъ порядка.

Вначалѣ труба не была поставлена совершенно вѣрно въ меридіанѣ, а потому первыя наблюденія послужили не только для вывода поправки хронометра, но и для вывода азимута инструмента. Коллимаціонная ошибка и наклонность оси всегда предварительно уничтожались. Всѣ числа даны по новому стилю.

Наблюденія 14 Мая 1910.

<i>Звѣзда</i>	α	δ	u
γ Bootis	14 ^h 28 ^m 29 ^s ,2	38° 42'	+ 2 ^h 13 ^m 23 ^s ,2
α Libræ	— 45 55,2	— 15 40	— — 21,9
β Bootis	— 58 35,4	40 45	— — 22,8
β Libræ	15 12 11,2	— 9 3	— — 22,3
α Coronæ	— 30 54,3	27 1	— — 22,5
α Serpentis	— 39 51,5	6 42	— — 22,3
γ Serpentis	— 52 19,3	15 57	— — 22,6

Ходъ величинъ u показываетъ, что труба не была строго въ меридіанѣ.

Обработавъ результаты этихъ наблюденій по способу наименьшихъ квадратовъ, примѣнительно къ формуламъ (13), получается:

$$u = + 2^h 13^m 23^s,7 \pm 0^s,27$$

$$a = - 1^s,67 \pm 0^s,37.$$

Комбинируя-же только наблюденія для двухъ звѣздъ, — α Libræ и β Bootis —, съ наименьшимъ и наибольшимъ склоненіемъ, получается по формуламъ (13):

$$u = + 2^h 13^m 23,5$$

$$a = - 1,57,$$

что находится въ хорошемъ согласіи съ предыдущими числами.

Послѣ этихъ наблюденій труба была повернута на уголъ a , для чего воспользовались извѣстными разстояніями между нитями и буквами надписи на зданіи Стнода, а хронометръ, который обладалъ весьма посредственными достоинствами, былъ, для уменьшенія абсолютной величины его поправки, переведенъ.

Въ дальнѣйшемъ я буду давать только названіе наблюденныхъ звѣздъ и соотвѣтствующія величины поправки хронометра u .

Наблюденія эти велись по возможности непрерывно каждый день, когда состояніе неба то позволяло, но иногда, и въ ясные вечера, набѣгающія облака не давали возможности наблюдать прохожденіе нѣкоторыхъ звѣздъ.

Наблюденія 17-го Мая.

<i>Звѣзда</i>	<i>u</i>
α Virginis	— 40,4
ζ Virginis	— 40,8
τ Bootis	— 40,4
η Bootis	— 40,2
γ Bootis	— 41,2
α Libræ	— 40,6
β Bootis	— 40,4
β Libræ	— 40,4

Въ среднемъ

$$u = - 40,6 \text{ около } 10^{1/2}.$$

Наблюденія 18-го Мая.

<i>Звѣзда</i>	<i>u</i>
α Virginis	— 43,9
ζ Virginis	— 44,0
τ Bootis	— 43,4

<i>Звезда</i>	<i>и</i>
η Bootis	— 43,9
α Bootis	— 43,6
γ Bootis	— 44,2
α Libræ	— 44,0
β Bootis	— 44,0
β Libræ	— 43,8

Въ среднемъ

$$u = -43,9 \text{ около } 10^{1/2} h.$$

Наблюдения 19-го Мая.

<i>Звезда</i>	<i>и</i>
α Canum. Venat.	— 43,7
ϵ Virginis	— 44,2
α Virginis	— 44,4
τ Bootis	— 44,2
η Bootis	— 43,5

Нѣсколько
облачно.

Въ среднемъ

$$u = -44,0 \text{ около } 10^h.$$

Наблюдения 20-го Мая.

<i>Звезда</i>	<i>и</i>
α Virginis	— 46,6
ζ Virginis	— 46,3
τ Bootis	— 45,6
η Bootis	— 45,7
α Bootis	— 45,4
γ Bootis	— 46,0
α Libræ	— 46,3
β Bootis	— 45,4
β Libræ	— 46,2
α Serpentis	— 46,3
γ Serpentis	— 45,9

Въ среднемъ

$$u = -46,0 \text{ около } 10^{1/2} h.$$

Наблюдения 21-го Мая.

По солнцу

$$u = -46^{\circ}5.$$

Вечернія наблюдения по звѣздамъ въ этотъ день послужили для про-
вѣрки азимута инструмента, такъ какъ небольшія расхожденія въ вели-
чинахъ u заставляли предполагать, что приборъ не былъ совершенно строго
въ меридіанѣ, что въ дѣйствительности и подтвердилось, хотя азимуть и
оказался очень незначительнымъ. Положеніе прибора было соотвѣтственно
исправлено.

Наблюдения 2-го Юня.

<i>Звѣзда</i>	<i>u</i>
η Bootis	$-1^m 12^s 0$
α Bootis	— 12,0
γ Bootis	— 11,9
α Libræ	— 12,3
β Bootis	— 11,6
β Libræ	— 11,9
α Coronæ	— 11,6
α Serpentis	— 11,8
γ Serpentis	— 11,8
β^1 Scorpii	— 12,0
δ Ophiuchi	— 12,4
γ Herculis	— 11,9
λ Ophiuchi	— 11,9
ζ Herculis	— 12,1
κ Ophiuchi	— 11,9
η Ophiuchi	— 11,8
π Herculis	— 12,2

Въ среднемъ

$$u = -1^m 11^s 9 \text{ около } 11^h.$$

Наблюдения 3-го Юня.

По солнцу

$$u = -1^m 12^s 7.$$

Наблюдения 4-го Июня.

<i>Звезда</i>	<i>u</i>
β Libræ	— $1^m 14^s,7$
α Serpentis	— 14,7
β^1 Scorpii	— 15,3
δ Ophiuchi	— 14,8
γ Herculis	— 14,7
λ Ophiuchi	— 14,8
ζ Herculis	— 14,3
κ Ophiuchi	— 14,7
η Ophiuchi	— 14,7
π Herculis	— 14,4
σ Ophiuchi	— 14,6

Въ среднемъ

$$u = -1^m 14^s,7 \text{ около } 11\frac{1}{2}^h.$$

Наблюдения 5-го Июня.

По солнцу

$$u = -1^m 15^s,3.$$

По звѣздамъ:

<i>Звезда</i>	<i>u</i>
α Serpentis	— $1^m 15^s,5$
γ Serpentis	— 15,5
β^1 Scorpii	— 15,5
δ Ophiuchi	— 15,8
γ Herculis	— 15,8
λ Ophiuchi	— 15,9
ζ Herculis	— 15,3
κ Ophiuchi	— 15,8
η Ophiuchi	— 16,3
π Herculis	— 15,6
σ Ophiuchi	— 16,1

Въ среднемъ

$$u = -1^m 15^s,7 \text{ около } 11\frac{1}{2}^h.$$

Послѣ этихъ наблюдений азимутъ былъ еще нѣсколько исправленъ.

Наблюдения 6-го Июня.

Звезда	<i>u</i>
α Bootis	$-1^m 16^s,1$
γ Bootis	— 16,2
α Libræ	— 16,0
β Bootis	— 16,3
β Libræ	— 16,3
α Coronæ	— 16,2
α Serpentis	— 16,3
γ Serpentis	— 16,5
β^1 Scorpii	— 16,3
δ Ophiuchi	— 16,4
γ Herculis	— 16,4
λ Ophiuchi	— 16,4
ζ Herculis	— 16,2
κ Ophiuchi	— 16,6
η Ophiuchi	— 16,4
σ Ophiuchi	— 16,4

Инструментъ
можетъ счи-
таться строго
въ меридіанѣ.

Въ среднемъ

$$u = -1^m 16^s,3 \text{ около } 11^h$$

Наблюдения 7-го Июня.

По солнцу

$$u = -1^m 16^s,3.$$

По звѣздамъ:

Звезда	<i>u</i>
α Bootis	$-1^m 17^s,1$
γ Bootis	— 17,2
α Librae	— 17,3
β Bootis	— 17,5
β Libræ	— 17,1
α Coronæ	— 17,4
α Serpentis	— 17,6
γ Serpentis	— 17,4
β^1 Scorpii	— 17,5

<i>Звѣзда</i>	<i>u</i>
δ Ophiuchi	— $1^m 17,5$
γ Herculis	— 17,5
λ Ophiuchi	— 17,5
ζ Herculis	— 17,4
κ Ophiuchi	— 17,7
η Ophiuchi	— 17,6
π Herculis	— 17,4

Въ среднемъ

$$u = -1^m 17,4 \text{ около } 10^{1/2}.$$

Наблюдения 8-го Юня.

По солнцу

$$u = -1^m 17,4.$$

По звѣздамъ:

<i>Звѣзда</i>	<i>u</i>
α Bootis	— $1^m 18,6$
γ Bootis	— 18,5
α Libræ	— 18,7
β Bootis	— 18,8
β Libræ	— 18,4
α Coronæ	— 18,6
α Serpentis	— 18,6

Въ среднемъ

$$u = -1^m 18,6 \text{ около } 10^h.$$

Наблюдения 9-го Юня.

По солнцу

$$u = -1^m 19,2.$$

Наблюдения 10-го Юня.

По солнцу

$$u = -1^m 20,6.$$

Приведенные результаты наблюдений показываютъ съ полной очевидностью, что, когда инструментъ поставленъ строго въ меридианѣ (смотри наблюдения 6, 7 и 8-го Юня), рекомендуемый здѣсь упрощенный приемъ

пользованія пассажнымъ инструментомъ, основанный на предварительномъ уничтоженіи коллимаціонной ошибки и наклонности оси инструмента, даетъ очень хорошіе результаты.

Выводимая изъ наблюденій надъ звѣздами поправка хронометра получается при этомъ съ такой точностью, которая вовсе и не требуется для сейсмическихъ наблюденій. За 1 секунду можно во всякомъ случаѣ вполне поручиться. Здѣсь важно только то, чтобы приборъ дѣйствительно стоялъ строго въ меридіанѣ, но такую вѣрную меридіанную марку достаточно поставить разъ на всегда.

Для облегченія пользованія этимъ приѣмомъ на сейсмическихъ станціяхъ второго разряда, можно, конечно, для каждой спеціальной станціи составить небольшія эфемериды для моментовъ кульминацій отдѣльныхъ звѣздъ, а также предварительно составить таблицу поправокъ для приведенія наблюденій отдѣльныхъ звѣздъ на среднюю нить. Тогда всѣ потребныя вычисленія сведутся къ минимуму.

Но и безъ этихъ таблицъ способъ этотъ такъ простъ и удобенъ и даетъ такіе хорошіе результаты, что я полагаю, что его можно смѣло рекомендовать для самостоятельнаго опредѣленія времени на сейсмическихъ станціяхъ второго разряда.



О статьѣ: Prof. Ralph. S. Tarr. The Theory of Advance of Glaciers in response to Earthquake shaking. Zeitschr. f. Gletscherk., Band V, H. 1, 1910.

Ss. 1—35.

А. П. Герасимовъ.

Цѣпь прибрежныхъ горъ Аляски (Alaskan Coaste Range), съ высочайшей вершиной — г. Св. Ильи, посылаетъ въ заливъ Якутатъ и его мелкія фіордо-образныя развѣтвленія цѣлую сѣть большихъ и малыхъ ледниковъ, образующихъ здѣсь настоящій ледниковый центръ. Нѣкоторые ледники спускаются въ воду заливовъ и даютъ начало айсбергамъ, другіе, наоборотъ, не доходятъ до моря, а, спускаясь на прибрежную равнину, расширяются, превращаясь въ «ледяныя поля», почти лишеныя движенія. Иногда на равнинѣ сливаются языки нѣсколькихъ сосѣднихъ ледниковъ и образуютъ одинъ обширный «ледникъ горныхъ подножій» (piedmont glacier, по терминологіи Russel'я). Такія ледяныя поля и ледники горныхъ подножій, спускаясь къ сырому морскому побережью, подвергаются интенсивному стайванію и нерѣдко оказываются сплошь засыпанными мореннымъ матеріаломъ, иногда настолько толстымъ и настолько мало подвижнымъ, что на немъ развиваются рощицы ольхи, канадской сосны и виргинскаго тополя.

Въ 1905 году почти всѣ ледники залива Якутатъ находились въ состояніи яснаго отступанія, начавшагося, можетъ быть, еще задолго до посѣщенія этой мѣстности Russel'емъ въ 1890—91 гг.; только одинъ небольшой ледникъ Галіано обнаружилъ наступаніе, уничтоживъ ту ольховую рощицу, которую въ свое время видѣлъ Russel. Въ 1906 году во всей мѣстности было констатировано рѣзкое наступаніе ледниковъ, сопровождавшееся совершенно своеобразными явленіями.

За 10 мѣсяцевъ (августъ 1905 г. — іюнь 1906 г.) четыре ледника (Хэнкэ, Варіэгэтедъ, Атревида и Марвинъ) измѣнились до неузнаваемости;

одни продвинулись впередъ на 1,5—1,6 км. (Хэнкэ), другіе раздались въ ширину и утолстились, и всѣ приобрѣли весьма трещиноватую поверхность, которая прежде была мѣстами настолько гладкой, что можно было ѣздить на салазкахъ. Измѣненія коснулись какъ долинныхъ частей ледниковъ, такъ и ихъ предгорныхъ участковъ, которые иногда, въ своемъ движеніи, уничтожили небольшіе перелѣски ольхи или тополя.

Въ промежутокъ времени между 1906 и 1909 черезъ такую же стадию рѣзкаго наступанія прошелъ и одинъ изъ наиболѣе крупныхъ ледниковъ района, — Хидденъ: онъ продвинулся впередъ на $3\frac{1}{4}$ км. и тамъ, гдѣ въ 1905 г. былъ расположенъ его нижній конецъ, въ 1909 г. онъ имѣлъ толщину въ 340 м. Его прежде гладкая поверхность превратилась въ море трещинъ. Наступаніе ледника произошло въ концѣ 1906 г. или въ 1907 году.

Въ 1909 году въ періодъ наступанія находился также и сравнительно большой ледникъ Люсіа.

Возможно, что нѣкоторые мелкіе ледники испытали наступаніе еще до 1905 г., и къ началу изслѣдованій Тагг'а слѣды этого движенія были частью уже уничтожены стаиваніемъ, а частью скрыты отъ наблюденія обильнымъ мореннымъ матеріаломъ. Но нѣкоторые ледники, большіе и малые, безусловно не испытывали этого движенія впередъ, а для отдѣльныхъ крупныхъ глетчеровъ (Хуббардъ) начало наступанія было замѣчено только въ 1909 или даже въ 1910 году (Нунатакъ).

Можно установить зависимость между временемъ начавшагося наступанія и размѣрами ледника: самый маленькій ледникъ Галиано началъ наступать еще до 1905 года (можетъ быть, въ 1900 или 1901 г.), Варіэ-гэтэдъ, Хэнкэ и Атревида—въ 1906 году, большой глетчеръ Хидденъ двинулся въ 1907 г., въ 1909 году это явленіе замѣчено для крупныхъ ледниковъ Люсіа и Хуббардъ, а въ 1910 г. (по даннымъ проф. Lawrence Martin) — для Нунатакъ. Исключеніемъ является только очень большой ледникъ Марвинъ, наступавшій въ 1906 г., но о топографіи его имѣется весьма мало данныхъ.

Самое замѣчательное въ явленіяхъ, наблюденныхъ въ заливѣ Якутатъ, то, что конецъ поступательнаго движенія наступилъ такъ же внезапно, какъ и его начало. Ни одинъ изъ 4 ледниковъ, наступавшихъ въ 1906 году, уже не двигался впередъ въ 1909 г.; можно сказать, что полный циклъ явленія завершился въ одинъ годъ. Нижніе концы въ 1909 г. были тамъ же, гдѣ они были въ 1906 году, но поверхность ледниковъ была уже до такой степени выравнена стаиваніемъ, что снова явилась возможность ходить по ней, какъ въ 1905 году.

Подобное явленіе кратковременнаго весьма рѣзкаго наступанія ледни-

ковъ и быстрый переходъ ихъ вновь къ состоянію покоя до сихъ поръ, сколько извѣстно, не констатировалось ни въ геологической, ни въ географической литературѣ. Оно тѣмъ болѣе замѣчательно, что распространеніе его ограничилось одной только сравнительно небольшой площадью залива Якутатъ, и нигдѣ во всей Аляскѣ, вообще богатой ледниками, не наблюдалось ничего подобнаго.

Поднятіе горъ или долинъ не можетъ объяснить этого любопытнаго явленія, потому что начало и конецъ наступанія ледниковъ произошли совершенно внезапно, а этого не можетъ быть ни въ коемъ случаѣ, если допустить справедливость гипотезы поднятія, да и слѣдовъ самого поднятія нигдѣ не констатировано. Нельзя воспользоваться здѣсь и предположеніемъ, что ледники растрескались подъ вліяніемъ землетрясенія, потому что это предположеніе не объяснитъ ни самого движенія ледниковъ впередъ, ни увеличенія ихъ толщины.

Не примѣнима здѣсь и теорія климатическихъ колебаній, въ особенности же колебаній въ количествѣ выпадающаго снѣга. Въ Альпахъ, съ ихъ типичными ледниками, даже сравнительно небольшое увеличеніе количества снѣга, выпавшаго въ обширномъ фоновомъ бассейнѣ, можетъ обусловить значительное наступаніе узкаго языка. Въ окрестностяхъ залива Якутатъ, гдѣ ледники иногда (Атревида, Галиано) имѣютъ одинаковую ширину по всей длинѣ, увеличеніе количества снѣга должно быть во много разъ больше, чѣмъ въ Альпахъ, чтобы вызвать приблизительно одинаковое наступаніе. Далѣе, эта теорія совсѣмъ не объясняетъ состоянія покоя нѣкоторыхъ ледниковъ (Блэкъ), приблизительно одинаковыхъ размѣровъ съ сосѣдними ледниками (Галиано, Хэнкэ), обнаружившими рѣзкое наступаніе. Наконецъ, подъ вліяніемъ измѣненій въ количествѣ выпадающихъ осадковъ, наступаніе никогда не обнаруживается такъ внезапно, никогда не бываетъ такимъ рѣзкимъ, какъ это показываютъ наблюденія въ Альпахъ (Фернагтфернеръ). Внезапное увеличеніе количества осадковъ должно быть необычайно большимъ, чтобы можно было примѣнить его для объясненія внезапнаго наступанія ледниковъ залива Якутатъ и внезапнаго же прекращенія этого явленія; оно должно быть чисто мѣстнымъ, такъ какъ нигдѣ въ Аляскѣ не наблюдалось столь рѣзкихъ измѣненій въ состояніи ледниковаго покрова.

Никакихъ доказательствъ такого рѣзкаго увеличенія осадковъ именно въ области залива Якутатъ не имѣется, а потому Тагг отказывается и отъ этой гипотезы и считаетъ возможнымъ объяснить описанное имъ любопытное явленіе только совершенно своеобразнымъ воздѣйствіемъ землетрясеній, — именно внезапнымъ и очень большимъ увеличеніемъ количества снѣга въ фирновыхъ бассейнахъ въ періодъ рѣзкихъ сейсмическихъ колебаній.

Дѣйствительно, въ сентябрѣ 1899 г. вся мѣстность залива Якутатъ въ теченіе 17 дней (3 сент. — 21 сент.) была центромъ цѣлаго ряда сильныхъ землетрясеній (нѣсколько сотъ ударовъ), иногда настолько сильныхъ, что ихъ зарегистрировали станціи Европы, Азіи и Африки. Свидѣтельскія показанія искателей золота и индѣйцевъ согласно говорятъ о цѣломъ рядѣ сейсмическихъ толчковъ, во время которыхъ иногда нельзя было стоять на ногахъ. Наблюдались трещины въ почвѣ, извѣстны обвалы утесовъ, измѣненія береговой линіи, сопровождавшіяся въ нѣкоторыхъ мѣстахъ поднятіемъ суши на 2—5 метр., иногда даже на $14\frac{1}{2}$ м.

Естественно предположить, что во время столь сильныхъ землетрясеній съ крутыхъ склоновъ горъ могли сорваться громадныя снѣжныя лавины, которыя и увеличили значительно количество снѣга въ фирновыхъ бассейнахъ ледниковъ. Такія лавины, дѣйствительно, во множествѣ наблюдали въ окрестностяхъ залива Якутатъ и индѣйцы, и искатели золота въ періодъ землетрясеній 1899 года. Наблюдали ихъ въ это время въ другихъ частяхъ Аляски и инженеры, и геологи, да и вообще снѣжныя лавины довольно обычны въ горахъ во время землетрясеній. Сейсмическіе удары могли сбросить внизъ также и тѣ массы осенняго свѣже-выпавшаго снѣга, которыя располагаются ниже лѣтней снѣговой линіи и обыкновенно не участвуютъ въ питаніи ледника, такъ какъ стаиваютъ въ ближайшій лѣтній сезонъ. Часть такихъ массъ попадала въ фирновые бассейны, а часть прямо на ледниковыя языки.

Такое неожиданное увеличеніе питательнаго матеріала должно было рано или поздно, въ зависимости отъ характера фирнового бассейна, количества снѣга и пр., сказаться на увеличеніи ледниковыхъ языковъ, иначе говоря, вызвать ихъ наступаніе. На короткихъ ледникахъ съ небольшимъ фирновымъ бассейномъ (Галиано) движеніе это наступило почти сразу; на большихъ ледникахъ потребовалось нѣсколько лѣтъ, прежде чѣмъ усиленное питаніе фирновыхъ бассейновъ успѣло сказаться въ нижнемъ концѣ.

Для самыхъ крупныхъ ледниковъ, можетъ быть, еще не пришла пора сказаться увеличенному питанію ихъ фирновыхъ бассейновъ въ періодъ землетрясеній 1899 года, а нѣкоторые ледники, возможно, и совсѣмъ не обнаружатъ никакого наступанія, потому что ихъ сборныя поля были обойдены лавинами и снѣгопадами.

Совершенно неожиданная причина вызвала неожиданное наступаніе, а внезапный конецъ усиленнаго питанія повелъ за собою и внезапное прекращеніе этого наступанія.

О статьѣ: Der Einfluss der Erderschütterungen auf Quellen. Von Professor Dr. Rudolf Hoernes. Zeitschr. f. Balneol., III Jahrg., № 3, 1 Mai 1910, Ss. 65—73.

А. П. ГЕРАСИМОВЪ.

Въ значительной степени компилятивная статья штирійскаго сейсмолога все же представляет нѣкоторый интересъ, благодаря сводкѣ фактическаго матеріала, разбросаннаго по различнымъ, иногда трудно доступнымъ, изданіямъ.

Раздѣляя землетрясенія на вулканическія и тектоническія, Ноernes отдѣльно разсматриваетъ и ихъ вліяніе на режимъ грунтовыхъ водъ и источниковъ, какъ прѣсныхъ, такъ и минеральныхъ.

Примѣромъ вулканическихъ землетрясеній онъ выставляетъ катастрофу 28 іюля 1883 г. въ Казамиччولا на о-вѣ Искіи, когда эпицентромъ явилась сѣверная радіальная трещина потухшаго вулкана Монте Эпомео, дающая начало и ювенильнымъ водамъ мѣстнаго курорта. Во время катастрофы было замѣтно повышеніе температуры и усиленное выдѣленіе паровъ въ fumarолахъ. Питьевые источники въ Вайола, къ востоку отъ Форіо, еще дней за 8—10 до 28 іюля уменьшили свой дебитъ, помутнѣли и начали издавать замѣтный запахъ сѣроводорода; 10 дней послѣ землетрясенія къ водѣ вернулись ся прежнія прекрасныя качества, но дней 7—8 позже вода снова стала хуже. Такія же временныя измѣненія свойствъ воды наблюдались и въ 1880 году. Очевидно, источники временно попадаютъ въ тѣсную связь съ fumarолами и насыщаются сѣроводородомъ. Въ 1880 г. наблюдалось помутнѣніе и повышеніе температуры прѣсныхъ источниковъ и уменьшеніе дебита и охлажденіе источниковъ минеральныхъ.

Интересенъ примѣръ постоянства выхода источника Кантарелла, близъ храма Сераписа, въ Флегрейскихъ поляхъ. Источникъ былъ обдѣланъ еще римлянами, и въ то время протекалъ черезъ храмъ. Затѣмъ онъ вмѣстѣ съ

храмомъ опустился подъ волны неаполитанскаго залива и при поднятіи части суши въ 1538 г., во время изверженія Монте Нуово, былъ совершенно засыпанъ. Откопали его только въ 1738 г., и за все свое двухтысячелѣтнее существованіе выходъ источника находился неизмѣнно на одномъ и томъ же мѣстѣ.

Тектоническія землетрясенія оказываютъ вліяніе и на режимъ почвенныхъ водъ, пропитывающихъ наносы рѣчныхъ долинъ и морскихъ побережій, и на режимъ источниковъ, корни которыхъ заложены глубоко въ земной корѣ.

Въ первомъ случаѣ образуются трещины, изъ которыхъ, иногда съ большою силой, выбрасывается вода и грязь, появляются воронкообразныя углубленія, песчаные конусы, наблюдаются пониженія значительныхъ участковъ суши. Такія явленія констатированы на нижнемъ Дунаѣ во время валахскаго землетрясенія 11-го января 1838 г., на Миссисипи близъ г. Новаго Мадрида 26 января 1812 г., въ дельтѣ Селенги 12 января 1862 г., на Брамапутрѣ 10 января 1869 г., на берегу Коринфскаго залива 26. XII. 1861 г., близъ Аграма въ долинѣ Савы 9. XI. 1880 г., во время калабрійскаго землетрясенія 1783 г., въ Индіи въ 1897 г.

Вліянія второго рода, измѣненія режима и физическихъ качествъ источниковъ, могутъ быть очень различными.

Такъ, во время землетрясенія въ Пиренеяхъ въ 1660 г. было замѣчено охлажденіе источниковъ Баньеръ; наоборотъ, источникъ Санта - Еуфемія во время землетрясенія въ Калабріи (въ 1783 г.?) и горячіе источники на о-вѣ Искія 2 февраля 1828 г. обнаружили повышеніе t° . Въ Аграмѣ во время землетрясенія 9. XI. 1880 г. t° главнаго источника ($29, 9^{\circ}$ R.) черезъ два часа упала до 27° R. и держалась на этой нормѣ дней 5, потомъ нѣсколько поднялась. Значительное повышеніе t° и увеличеніе дебита наблюдалось на теплыхъ источникахъ во время сильнаго землетрясенія въ Коморнѣ и Будапештѣ 22. IV. 1783 г.; въ Швейцаріи 25. VII. 1855 г. t° одного источника поднялась на 7° ; наблюдалось повышеніе t° въ Баденѣ (близъ Вѣны) въ 1768 г., сопровождаемое увеличеніемъ дебита и усиленіемъ запаха сѣрводорода; извѣстенъ этотъ фактъ и для источниковъ ардебильскаго нагорья, гдѣ одновременно зарегистрировано усиленное выдѣленіе углекислоты и азота. Во время лиссабонскаго землетрясенія многіе источники въ Провансѣ помутнѣли и обнаружили нарушенія въ истеченіи; въ то же время помутнѣли и на нѣкоторое время даже изсякли источники въ Теплицѣ, вскорѣ появившись вновь окрашенными въ красный цвѣтъ окисью желѣза, и при томъ съ такимъ усиленнымъ дебитомъ, что затопили часть курорта. Въ Арменіи въ 1840 г. источникъ св. Якова на Араратѣ измѣнилъ направленіе, источникъ Аргурѣ помутнѣлъ и приобрѣлъ привкусъ

сѣроводорода, а близъ Нахичевани до 30 источниковъ временно изсякли. Во время богемскаго землетрясенія 7—10 января 1824 г. увеличился дебитъ многихъ родниковъ, тогда какъ въ Алжирѣ въ 1825 г. много источниковъ изсякло. Новые источники возникли близъ Айдипсо на Эвбеѣ во время локридскаго землетрясенія 1894 г.; такое же явленіе наблюдалось близъ Леобердсдорфа на вѣнскаго термальной линіи 23.IV.1626. Извѣстны многочисленныя наблюденія надъ измѣненіями источниковъ въ Македоніи, гдѣ установлена тѣсная связь термальныхъ линій съ сейсмическими полосами.

Подобныя измѣненія режима и качествъ источниковъ совершенно понятны въ эпицентральной (плейстосейстовой) области: повышение t° (напр., на Искіи) можетъ быть объяснено усиленіемъ дѣятельности fumarоль, пониженіе t° и уменьшеніе дебита можетъ быть поставлено въ связь съ образованіемъ трещинъ, создающихъ временно или навсегда новые пути для выхода источниковъ; возможно даже измѣненіе характера самой водоносной трещины.

Гораздо интереснѣе фактъ воздѣйствія на источники отдаленныхъ землетрясеній, напр., вліяніе лиссабонскаго землетрясенія на источники Теплица. Физическое объясненіе этому явленію далъ F. E. Suess, который указалъ на то, что насыщенные газами растворы легко выдѣляютъ газъ при сотрясеніяхъ, въ особенности, когда эти сотрясенія имѣютъ характеръ упругихъ волнъ, подобныхъ звуковымъ волнамъ. Система трещинъ въ Теплицѣ можетъ быть уподоблена очень длинной трубѣ, наполненной насыщеннымъ газами растворомъ и воспринимающей упругія колебанія горныхъ породъ, обусловленныя отдаленнымъ землетрясеніемъ. Въ результатѣ происходитъ внезапное выдѣленіе газовъ, вскипаніе источника, сопровождаемое выбросомъ накопившихся въ трещинахъ осадковъ и временнымъ исчезновеніемъ источника. Въ послѣднее время подобныя явленія наблюдались въ Штирїи во время кроатскаго землетрясенія 8 октября 1909 г.: источники въ Радейнъ и Рогичъ выбросили большое количество ржаво-бураго осадка.



По поводу Семирѣченскаго землетрясенія 3—4 января 1911 г.

Э. Г. Розенталь.

Сейсмограммы землетрясенія, происшедшаго 3-го января 1911 г. въ 23^ч 25^м средн. Гринв. врем. въ Семирѣченской области, обнаруживаютъ нѣкоторыя особенности, изученіе которыхъ позволяетъ вывести заключеніе о механизмѣ происхожденія этого землетрясенія.

На всѣхъ доступныхъ мнѣ сейсмограммахъ начало записи состоитъ изъ колебаній крайне малой амплитуды, такъ что согласно обозначенію, принятому въ Гёттингенѣ, эту фазу слѣдуетъ отмѣтить характеристикой P_e ($e = \text{emergio}$). Нѣсколько секундъ спустя амплитуда замѣтно увеличивается, такъ что на нѣкоторыхъ станціяхъ та или другая волна, нѣсколько выдѣляющаяся изъ предыдущихъ, получила характеристику P_i . Еще на нѣсколько секундъ позже — въ среднемъ приблизительно на 20 с. послѣ начала — на *остахъ* станціяхъ записана волна *значительно* большей амплитуды, по крайней мѣрѣ въ 10 разъ превосходящей амплитуду предыдущихъ колебаній.

Моментъ наступленія этой послѣдней волны я въ слѣдующемъ буду обозначать буквой P_i , а предыдущей волны, отмѣченной только на нѣкоторыхъ станціяхъ, — буквой (P_i). Послѣ момента P_i остальная часть записи уже вездѣ представляетъ видъ сейсмограммы необыкновенно сильнаго землетрясенія, въ подробности которой я здѣсь не вхожу.

Въ виду того, что землетрясеніе 3-го января 1911 г. очевидно было вызвано геотектоническими процессами, вышеописанную особенность записи можно объяснить слѣдующимъ образомъ.

Тектоническое землетрясеніе обуславливается вообще натяженіемъ въ земной корѣ, нарастающимъ съ теченіемъ времени до предѣльнаго сопротивленія, такъ что происходитъ разрывъ, сбросъ, сдвигъ и т. д. Непосредственно до наступленія землетрясенія натяженіе лишь очень мало от-

личается отъ предѣльнаго, такъ что даже ничтожныя вѣшнія причины, въ томъ числѣ напр. упругія колебанія отдаленнаго землетрясенія, могутъ довести его до наступленія разрыва или сдвига.

Допустимъ теперь, что такое натяженіе образовалось по всему протяженію нѣкоторой линіи конечной длины. Сопротивленіе разрыву можетъ быть различно въ разныхъ точкахъ линіи и предѣльное натяженіе соответственно также будетъ различно. Въ нѣкоторой точкѣ A линіи сопротивленіе будетъ имѣть наименьшую величину и въ этой-то точкѣ при наступленіи благоприятныхъ обстоятельствъ начнется землетрясеніе, а упругія колебанія его распространятся съ точки A по всѣмъ направленіямъ.

Вполнѣ возможенъ случай, что колебанія, исходящія изъ точки A , достаточны для производства разрыва по всей длинѣ геотектонической линіи, являющейся, такимъ образомъ, линейнымъ очагомъ землетрясенія. Эпицентральная область представится въ видѣ узкой полосы, ось которой совпадетъ съ геотектонической линіей, а изосейсты высшихъ балловъ примутъ видъ продолговатыхъ эллипсовъ.

Допуская минимумъ сопротивленія для точки A , мы должны вмѣстѣ съ тѣмъ и допустить, что въ нѣкоторой другой точкѣ B линіи очага существуетъ относительный максимумъ сопротивленія и соответствующаго натяженія. Амплитуды упругихъ колебаній, исходящихъ изъ точки B будутъ больше амплитуды колебаній, возникающихъ въ точкѣ A . Въ благоприятныхъ случаяхъ, когда волны точки A значительно меньше волнъ точки B , начало первыхъ на сейсмограммахъ представится въ видѣ $e = \text{emergio}$, вторыхъ-же въ видѣ $i = \text{impetus}$.

Семирѣченское землетрясеніе, повидимому, представляетъ такой случай. Можно предполагать, что начало записи P_e соответствуетъ точкѣ A , фаза P_i — точкѣ B . Фаза (P_i), на сколько она вообще представляетъ явленіе реальное, необъяснимое вліяніемъ собственныхъ колебаній записавшихъ ее сейсмометровъ, могла бы относиться къ нѣкоторой промежуточной точкѣ.

Относительное положеніе точекъ A и B можно опредѣлить слѣдующимъ образомъ. Пусть будетъ T_1 время наступленія землетрясенія въ точкѣ A , T_2 — то-же въ точкѣ B . Пусть Δ_1 и Δ_2 обозначаютъ сферическія разстоянія между данной сейсмической станціей и точками A и B , а $f(\Delta)$ — промежутокъ времени, требуемый для прохожденія разстоянія Δ сейсмическими волнами, тогда:

$$T_1 + f(\Delta_1) = P_e$$

и

$$T_2 + f(\Delta_2) = P_i$$

такъ что

$$T_2 - T_1 + f(\Delta_2) - f(\Delta_1) = P_i - P_e.$$

Полагая $T_2 - T_1 = z$, $P_i - P_e = dt$ и разлагая $f(\Delta_2) - f(\Delta_1)$ въ рядъ, получимъ, ограничиваясь первымъ членомъ разложения:

$$z + f'(\Delta) d\Delta = dt \dots \dots \dots (1)$$

Величину $d\Delta$ можно выразить въ слѣдующемъ видѣ¹⁾

$$d\Delta = -d\varphi \cos a + d\lambda \cos \varphi \sin a \dots \dots \dots (2)$$

гдѣ $d\varphi$ и $d\lambda$ обозначаютъ разности широтъ и долготъ точекъ A и B и a — азимуть сейсмической станціи въ эпицентрѣ. Для величинъ φ и a слѣдовало бы принять нѣкоторое среднее изъ значеній, относящихся къ точкамъ A и B , но въ виду малости величинъ $d\Delta$ и dt , съ которыми приходится имѣть дѣло, достаточно будетъ принять любое изъ этихъ двухъ значеній.

Полагая для сокращенія $d\varphi = x$ и $d\lambda \cos \varphi = y$, изъ уравненій (1) и (2) найдемъ окончательно:

$$z - x \cos a f'(\Delta) + y \sin a f'(\Delta) = dt \dots \dots \dots (3)$$

Задаваясь хотя бы приближеннымъ положеніемъ точки A , можно рѣшить систему уравненій вида (3).

Предварительное опредѣленіе²⁾ относительнаго положенія точекъ A и B показало, что длина и направленіе линіи AB довольно близко совпадаетъ съ эпицентральной полосой, опредѣленной А. П. Герасимовымъ³⁾, причемъ точка A соответствуетъ сѣверо-восточному концу полосы, а B — юго-западному. Поэтому я принимаю для положенія точки A округленныя координаты, найденныя княземъ Б. Б. Голицынымъ⁴⁾ для эпицентра землетрясенія, а именно:

$$\varphi = 43^\circ 0, \quad \lambda = 78^\circ 0 \text{ E. Gr.}$$

Эти координаты и были найдены на основанія фазы P_e . Для функціи $f(\Delta)$ я пользуюсь величинами, найденными Цёпприцомъ⁵⁾. Дальнѣйшіе мате-

1) Elmar Rosenthal. Bestimmung des Epizentrums des Nordpazifischen Bebens vom 17. August 1906. Изв. Пост. Центр. Сейсм. Ком. т. III, 2 № 2.

2) Elmar Rosenthal. Einige Bemerkungen über das Erdbeben vom 3.—4. Januar 1911. Phys. Zeitschr. 1911 № 13.

3) Fürst B. Galitzin (Golitsyn). Das Erdbeben vom 3.—4. Januar 1911. Изв. Имп. Акад. Наукъ 1911, стр. 127—136. Fig. 2.

4) l. c. стр. 129.

5) E. Wiechert und K. Zoeppritz. Über Erdbebenwellen. Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. 1907. См. также мою статью «Bestimmung des Epizentrums» и т. д.

ріалы, доступные мнѣ въ настоящее время, представляются въ слѣдующемъ видѣ.

Пулково. Опредѣленіе моментовъ P_e и P_i произведено по сейсмограммѣ, опубликованной кн. Б. Б. Голицынымъ¹⁾. P_e тамъ показано = $23^{\circ} 32^{\text{м}} 16^{\circ}$. P_i , я полагаю, отстоитъ отъ этой точки на $11^{\text{мм}}$, что соответствуетъ 20° , такъ что $dt = 20^{\circ}$. Расстояніе станціи отъ точки A равняется 3690 км., слѣдовательно $f'(\Delta) = \frac{dt}{d\Delta} = 1.35$ минутамъ на 1000 км. или 0.081 сек. на 1 км.

Вѣна. По любезно присланнымъ мнѣ копіямъ сейсмограммъ я нахожу для вертикальной составляющей Вихерта $P_e = 23^{\circ} 33^{\text{м}} 40^{\circ}$, $P_i = 23^{\circ} 33^{\text{м}} 59^{\circ}$; для горизонтальной составляющей $N-S$ Вихерта соответственно $P_e = 23^{\circ} 33^{\text{м}} 42^{\circ}$, $P_i = 23^{\circ} 33^{\text{м}} 58^{\circ}$. Въ среднемъ $dt = 18^{\circ}$; $\frac{dt}{d\Delta} = 0.069$. Другія составляющія дали не достаточно ясную запись.

Римъ. По маятнику Агаменноне $NE-SW$ найдено $P_e = 23^{\circ} 34^{\text{м}} 15^{\circ}$, $P_i = 23^{\circ} 34^{\text{м}} 34^{\circ}$; $\frac{dt}{d\Delta} = 0.063$. Показанный на записи моментъ (P_i) = $23^{\circ} 34^{\text{м}} 28^{\circ}$ соответствуетъ не особенно выдающейся волнѣ и очевидно не относится къ разбираемому мною толчку.

Гранада. По присланной мнѣ сейсмограммѣ я нашелъ $P_e = 23^{\circ} 35^{\text{м}} 57^{\circ}$, $P_i = 23^{\circ} 36^{\text{м}} 15^{\circ}$. Въ сейсмическомъ бюллетенѣ этой станціи показано (P_i) = $23^{\circ} 36^{\text{м}} 7^{\circ}$, но этому моменту не соответствуетъ выдающаяся волна на сейсмограммѣ. Для вычисления принято $dt = 18^{\circ}$, $\frac{dt}{d\Delta} = 0.060$.

Оттава. По составляющей $N-S$ я нашелъ $dt = 24^{\circ}$, $\frac{dt}{d\Delta} = 0.048$. На составляющей $E-W$ P_e не ясно.

Флоренція. (Ximeniano). Въ сейсмограммахъ этой станціи я, за недостаткомъ данныхъ на нихъ, разобраться не могъ. Все-же фазы P_e и P_i на нихъ выдѣляются.

Такимъ образомъ для рѣшенія задачи имѣются 5 уравненій вида (3), въ которыхъ для удобства вычисления полагаемъ:

$$x = 100 \xi; \quad y = 100 \eta.$$

Тогда среднее изъ этихъ пяти уравненій будетъ:

$$z - 3.76 \xi + 4.86 \eta = 19.8.$$

Вычитая это среднее изъ всѣхъ остальныхъ, получимъ слѣдующія уравненія:

$$- 2.19 \xi + 0.65 \eta = + 0.2$$

$$+ 0.39 \xi + 1.17 \eta = - 1.8$$

$$+ 1.38 \xi + 0.96 \eta = - 0.8$$

$$+ 1.23 \xi + 0.59 \eta = - 1.8$$

$$- 0.80 \xi - 3.37 \eta = + 4.2.$$

¹⁾ 1. с. черт. 2.

Изъ нихъ получаются нормальныя уравненія:

$$9.00 \xi + 3.79 \eta = -7.83$$

$$3.79 \xi + 14.38 \eta = -17.93.$$

Рѣшивъ эти уравненія, получимъ:

$$d\varphi = -0^{\circ}35 \pm 0^{\circ}20; \quad d\lambda = -1^{\circ}45 \pm 0^{\circ}22; \quad z = 24^{\circ}0 \pm 0^{\circ}3.$$

Разстояніе точекъ *A* и *B* получается равнымъ 121 km., причеиъ линія *AB* направлена по румбу $71^{\circ}4$ SW. Скорость, съ которой возмущеніе распространилось отъ *A* до *B* получается 5.04 km. въ сек. По картѣ А. П. Герасимова эпицентральная полоса простирается на 160 km. по азимуту 80° SW.

Вышеизложенный способъ позволяетъ только опредѣлить горизонтальную проекцію точекъ *A* и *B*. Глубины этихъ точекъ, конечно, могутъ быть различны, но вычисленіе глубинъ не можетъ быть произведено по сейсмограммамъ отдаленныхъ станцій. Нужно надѣяться, что тщательное изученіе накопляющихся макросейсмическихъ данныхъ позволитъ обнаружить еще дальнѣйшія подробности механизма Семирѣченскаго землетрясенія.

Всѣмъ коллегамъ, любезно приславшимъ мнѣ копія своихъ сейсмограммъ, имѣю честь выразить искреннюю благодарность.