

**Académie impériale des sciences.  
Comptes rendus des séances  
de la  
Commission sismique permanente.  
Tome 3, 1908-1910, Saint-Pétersbourg.**

SOMMAIRE

*Livraison I, 1908*

Procès-verbaux des séances de la Commission Centrale Sismique Permanente :	
Séance du 12 janvier 1907 .....	I
» » 26 » 1907.....	VII
» » 23 février 1907.....	X
Rapport de prince B. Galitzin : « Travaux sur la sismologie en Allemagne» .....	XIII
Séance du 23 mars 1907.....	XXIII
Résumé du rapport de M. le professeur G. Levitski sur les résultats de la comparaison des observations faites avec les instruments du prince Galitzin à Poulkovo et avec les instruments de Zöllner à Iouriev .....	XXVI
Propositions faites par la Sous-commission pour rechercher des mesures assurantes le développement progressif du fonctionnement de la Commission Sismique dans une direction désirable .....	XXIX
Séance du 3 mai 1907.....	XXXIII
» » 31 août 1907.....	XL
» » 26 octobre 1907.....	XLIV
Rapport de M. E. Rosenthal sur les travaux faits au Bureau Central de l'Association Internationale de Sismologie .....	XLIX
Séance du 30 novembre 1907.....	LI
---	
Fürst B. Galitzin, Die electromagnetische Registriermethode.....	1
H. Pomerantzeff, Sur la détermination des constantes du mouvement propre d'un pendule aperiodique .....	107
Fürst B. Galitzin, Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa .....	117
Fürst B. Galitzin, Hilfstabellen zur Auswerthung von Seismogrammen bei Anwendung aperiodischer Instrumente.....	172
Ed. Stelling, Aschenregen auf Kamtschatka in der Nacht vom 15/28 auf den 16/29 März 1907 (Resume) .....	202
I. Sikora, Sismographe d'une construction simple et la sismogramme du tremblement de terre à Karatagh le 8/21 octobre 1907 tracée par ce sismographe .....	205
Prof. Dr. G. Lewitzky, Einige bemerkenswerthe Erdbeben des Jahres 1906 .....	213

G. Levitski, La première assemblée générale de l'Association Internationale de Sismologie et la deuxième réunion de la Commission Permanente de la dite Association à la Haye le 21-25 septembre ..... 227

---

Bulletin de la Commission Centrale Sismique Permanente, rédigé par M. le professeur G. Levitski. Année 1906, janvier-décembre..... pag.1-229

*Livraison II, n°1, 1909*

Procès-verbaux des séances de la Commission Centrale Sismique Permanente :

Séance du 1 février 1908.....	I
Résumé du rapport de M. le prince B. Galitzin : Sur les derniers résultats des observations faites à la station sismique auprès de l'Observatoire à Poulkovo .....	V
Séance du 29 février 1908.....	VIII
» » 28 mars 1908.....	XII
» » 2 mai 1908.....	XV
» » 3 octobre 1908.....	XIX
Résumé du rapport de M. le prince B. Galitzin : Sur les résultats des observations sismiques dernières à Poulkovo .....	XXVI
Séance du 28 novembre 1908.....	XXIX

---

A. Orlov, Sur l'étude des sismogrammes d'un pendule périodique..... 1  
Fürst B. Galitzin, Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mittheilung..... 5

---

Bulletin de la Commission Centrale Sismique Permanente, rédigé par M. le professeur G. Levitski. Année 1907, janvier-juin ..... pag.1-135

*Livraison II, n°2, 1910*

Elmar Rosental, Bestimmung des Epizentrums des Nordpazifischen Bebens vom 17 August 1906 .....	121
Fürst B. Galitzin (Golicyn), Zur Frage der Untersuchung der Erschütterungen von Gebäuden .....	143

---

Bulletin de la Commission Centrale Sismique Permanente, rédigé par M. le professeur G. Levitski. Juillet-décembre 1907 ..... pag. 137-269

*Livraison III, 1910*

Comptes-rendus des séances de la Commission Centrale Sismique Permanente :

Séance du 2 janvier 1909.....	I
Résumé du rapport du prince B. Galitzine : « Sur le tremblement de terre Sicilien le 15/28 décembre 1908 » .....	VII
Rapport du prince B. Galitzine sur le livre du prof. C. G. Knott « The physics of earthquake phenomena », Oxford, 1908.....	X

Séance du 30 janvier 1909 .....	XVI
» » 27 février 1909.....	XXI
Extrait du rapport de Mr. P. Nikiforow sur le mémoire du prof. E. Wiechert « Die Erdbebenforschung, ihre Hilfsmittel und ihre Resultate für die Geophysik ». P. ZS. 9 J. N° 1 .....	XXV
Extrait du rapport de Mr. P. Nikiforow sur le mémoire de Mr. E. Tams « Ueber die geographische Verbreitung einiger im Jahre 1903 beobachteten Epicentra und ihre geophysicalische Bedeutung » .....	XXVII
Séance du 24 avril 1909.....	XXVIII
Rapport de Mr. E. Stelling « Données sur le tremblement de terre en Perse le 10/23 janvier 1909 » .....	XXXII
Séance du 8 mai 1909.....	XXXVII
» » 29 mai 1909.....	XLI
» » 23 octobre 1909.....	XLVI
» » 27 novembre 1909.....	LI
Résumé du rapport de Mr. K. Gamow : « L'influence des mouvements microsismiques et de la pression atmosphérique sur émanation du grisou » .....	LIX
---	
Fürst B. Galitzin. Über ein neues schweres Horizontalpendel mit mechanischer Registrierung für seismische Stationen zweiten Ranges .....	1
G. Levitski. La troisième Conférence de la Commission Permanente de l'Association Sismologique Internationale. 30 août - 2 sept. 1909 à Zermatt.....	77
I. Wilip. Über die microseismischen Bewegungen nach den Aufzeichnungen der Pulkowaer seismischen Station für die Zeit vom 20/VIII 1908 bis 27/I 1909 .....	82
A. Orlow. Sur la détermination d'une constante du pendule horizontale d'après la méthode du prince B. Galitzine .....	101

ИМПЕРАТОРСКАЯ АКАДЕМІЯ НАУКЪ.

**ИЗВѢСТІЯ**  
**ПОСТОЯННОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ**  
**КОМИССИИ.**

—  
Томъ 3.

—  
*Выпускъ II, № 1.*

—  
ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES.

**COMPTES RENDUS DES SÉANCES**  
DE  
**LA COMMISSION SISMIQUE PERMANENTE.**

—  
Tome 3.

—  
*Livraison II, № 1.*

—  
С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1909. ST.-PÉTERSBOURG.

Июнь 1909. **Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.**  
**За Непремѣннаго Секретаря, Академикъ П. Никитинъ.**

**ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.**  
**Вас. Остр., 9 лин., № 12.**

## Оглавление. — Sommaire.

Протоколы заседаний Постоянной Центральной Сейсмической Комиссии:	Стр.	Procès-verbaux des séances de la Commission Centrale Sismique Permanente:	Pages.
Засѣданія 1-го февраля 1908 г. . .	I	Сѣансе du 1 février 1908. . . . .	I
Резюме доклада князя Б. Б. Голицына: «О новѣйшихъ результатахъ наблюдений, произведенныхъ на сейсмической станціи при Пулковской Обсерваторіи» . . . . .	V	Рésumé du rapport de M. le prince B. Galitzin: Sur les derniers résultats des observations faites à la station sismique auprès de l'Observatoire à Poulkovo . . . . .	V
Засѣданія 29-го февраля 1908 г. . .	VIII	Сѣансе du 29 février 1908 . . . . .	VIII
» 28-го марта 1908 г. . . . .	XII	» » 28 mars 1908 . . . . .	XII
» 2-го мая 1908 г. . . . .	XV	» » 2 mai 1908. . . . .	XV
» 3-го октября 1908 г. . . . .	XIX	» » 3 octobre 1908. . . . .	XIX
Резюме доклада князя Б. Б. Голицына: «О результатахъ новѣйшихъ сейсмическихъ наблюдений въ Пулковѣ» . . . . .	XXVI	Рésumé du rapport de M. le prince B. Galitzin: Sur les résultats des observations sismiques dernières à Poulkovo . . . . .	XXVI
Засѣданія 28-го ноября 1908 г. . .	XXIX	Сѣансе du 28 novembre 1908 . . . . .	XXIX
<hr/>		<hr/>	
А. Я. Орловъ, Обь изслѣдованіи сейсмограммъ періодическаго маятника . . . . .	1	A. Orlov, Sur l'étude des sismogrammes d'un pendule périodique . . . . .	1
Князь Б. Б. Голицынъ, Сейсмометрическія наблюденія въ Пулковѣ. Второе сообщеніе . . . . .	5	Fürst B. Galitzin, Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mittheilung . . . . .	5
<hr/>		<hr/>	
Бюлетень Постоянной Центральной Сейсмической Комиссии, издаваемый подъ редакціею профессора Г. В. Левицкаго, январь—юнь 1907 года. . . . .	стр. 1—135	Bulletin de la Commission Centrale Sismique Permanente, rédigé par M. le professeur G. Levitski. Année 1907, janvier—juin . . . . .	pag. 1—135



# ПРОТОКОЛЫ ЗАСѢДАНІЙ

## Постоянной Центральной Сейсмической Комиссіи.

Протоколъ засѣданія 1-го февраля 1908 года.

Подъ предсѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссіи: В. Н. Веберъ, князь Б. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, Г. В. Левицкій, И. И. Померанцевъ, М. А. Рыкачевъ, Ѡ. Н. Чернышевъ, Ю. М. Шокальскій, Э. В. Штеллингъ и приглашенные на засѣданіе: И. И. Вилиппъ, А. П. Ганскій, К. К. Матвѣевъ, А. Я. Орловъ и Г. Г. Шенбергъ.

### § 1.

Прочтенъ и утвержденъ протоколъ предыдущаго засѣданія 30-го ноября 1907 года.

### § 2.

Профессоръ Г. В. Левицкій прочелъ докладъ подъ заглавіемъ: „Сравненіе чувствительности нѣкоторыхъ сейсмографовъ“.

Принимая во вниманіе разстоянія сейсмическихъ станцій въ Юрьевѣ, Гёттингенѣ и Страсбургѣ отъ важнѣйшихъ сейсмическихъ областей земного шара, авторъ а ргіогі ожидаетъ, что, при одинаковой чувствительности сейсмографовъ на означенныхъ станціяхъ, число отмѣчаемыхъ ими землетрясеній будетъ приблизительно одинаково. Наблюденія за 1907 годъ дѣйствительно даютъ для означенныхъ станцій почти одно и тоже число землетрясеній, значительное большинство которыхъ (почти  $\frac{2}{3}$ ) отмѣчено на всѣхъ трехъ станціяхъ.

Докладъ вызвалъ оживленный обмѣнъ мнѣній, при чемъ князь Б. Б. Голицынъ изложилъ общій теоретическій способъ опредѣленія чувствительности сейсмометра на основаніи извѣстныхъ постоянныхъ прибора.

§ 3.

Князь Б. Б. Голицынъ доложилъ Комиссiи о новѣйшихъ результатахъ своихъ наблюдений, произведенныхъ съ 3-мя аперіодическими маятниками различной системы.

Краткое резюме доклада напечатано въ приложеніи къ сему протоколу.

§ 4.

А. Я. Орловъ изложилъ выработанный имъ способъ опредѣленія постоянныхъ движенія маятника по ординатамъ кривой и по первымъ и вторымъ разностямъ ихъ, при чемъ докладчикъ подробно остановился на случаяхъ, когда маятникъ находится на границѣ аперіодичности или близъ ея.

Князь Б. Б. Голицынъ дополнилъ настоящій докладъ указаниями на различные примѣненные имъ способы опредѣленія постоянныхъ маятника по записямъ движеній его; при этомъ способъ примѣненія производныхъ движенія далъ наибольшія разногласія, что Б. Б. Голицынъ приписываетъ субъективнымъ погрѣшностямъ при уравниваніи кривой.

§ 5.

Предсѣдатель О. А. Баклундъ сообщилъ, что К. К. Матвѣевъ окончилъ свои занятія подъ руководствомъ профессора Г. В. Левицкаго въ Юрьевѣ и съ 1-го февраля вступилъ въ должность завѣдывающаго сейсмическими станціями на нефтяныхъ промыслахъ компаніи бр. Нобель близъ Баку. Привѣтствуя присутствующаго на засѣданіи К. К. Матвѣева предсѣдатель Комиссiи пожелалъ ему полного успѣха въ работахъ при исполненіи предстоящей, серьезной задачи. К. К. Матвѣевъ обѣщаль приложить все стараніе, чтобы оправдать довѣріе, оказанное ему Комиссiей и Э. Л. Нобелемъ.

Постановлено увѣдомить Э. Л. Нобеля о вступленіи К. К. Матвѣева въ должность завѣдывающаго Бакинскими сейсмическими станціями и снабдить послѣдняго открытымъ листомъ отъ имени Комиссiи.

§ 6.

Доложенъ проектъ смѣты расходовъ Сейсмической Комиссiи на 1908 годъ.

Предметы расходовъ.	Отпущено по штату.	Предполагаемый расходъ.
1) На содержаніе сейсмическихъ станцій 2-го разряда.....	3000 р.	1975 р. <sup>1)</sup>
2) На содержаніе сейсмической станціи 1-го разряда въ г. Юрьевѣ.....	1400 „	1400 „

Предметы расходовъ.	Отпущено по штату:	Предполагаемый расходъ.
3) На обработку сейсмическихъ наблюдений и на расходы по редакціи Сейсмическаго Бюллетеня .....	1500 р.	1525 р. <sup>3)</sup>
4) На изданія Комиссіи.....	1500 "	1450 "
5) На путевые расходы иногородныхъ членовъ .....	600 "	400 "
6) Жалованье секретарю Комиссіи.....	600 "	600 "
7) На канцелярскіе и другіе мелкіе расходы ..	400 "	400 "
8) На опыты и наблюденія князя Голицына и на содержаніе станціи въ Пулковѣ (600 + 250 руб.) .....	—	850 "
9) На улучшеніе состоянія станцій 2-го разряда .....	—	400 "
Итого.....	9000 р.	9000 р.

Примѣчанія. Къ п. 1. На содержаніе сейсмическихъ станцій въ Читѣ, Кабанскомъ, Красноярскѣ, Томскѣ, Екатеринбургѣ, Дербентѣ, Шемахѣ, Боржомѣ, Ахалкалакахъ и Батумѣ по 150 руб., въ Вѣрномъ 250 руб., въ Кіевѣ, Пятигорскѣ и Зурнабатѣ по 75 руб., а всего 1975 руб.

Къ п. 3. На обработку наблюдений въ Читѣ, Кабанскомъ, Красноярскѣ, Томскѣ, Екатеринбургѣ, Дербентѣ, Шемахѣ, Боржомѣ, Ахалкалакахъ, Батумѣ и Вѣрномъ по 50 руб., въ Кіевѣ, Пятигорскѣ и Зурнабатѣ по 25 руб. и на редакцію Сейсмическаго Бюллетеня 900 руб., а всего 1525 рублей.

Къ п. 4. На уплату  $\frac{1}{2}$  стоимости картъ къ отчету А. В. Вознесенскаго 750 руб., на чертежи и діаграммы 400 руб., на бумагу 300 руб., а всего 1450 рублей.

Къ п. 9. Расходы по снабженію Кавказскихъ станцій лучшими часами и регистрными приборами могутъ быть отнесены на счетъ остатковъ отъ капитала, пожертвованнаго нефтепромышленникомъ Манташевымъ.

Проектъ смѣты расходовъ утвержденъ.

## § 7.

Князь Б. В. Голицынъ указалъ, что произведенные имъ опыты и наблюденія были сопряжены съ расходами, значительно превышающими ассигнованныя Комиссіею на этотъ предметъ средства; не имѣя въ своемъ распоряженіи кредита на уплату кредиторамъ за доставленные приборы, князь Б. В. Голицынъ проситъ Комиссію изыскать необходимыя средства въ размѣрѣ болѣе 1000 рублей.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ, что Комиссія имѣетъ еще получить 800 рублей, обѣщанныхъ ей Министерствомъ Народнаго Просвѣщенія изъ остатковъ отъ кредита 1907 года. Изъ этой суммы 300 рублей предназначены на удовлетвореніе неотложныхъ нуждъ, такъ что послѣ

полученія обѣщанной суммы Комиссія будетъ располагать свободнымъ остаткомъ въ 500 рублей. Необходимо, однако, имѣть въ виду, что неоднократныя постановленія Комиссіи относительно замѣны испорченныхъ приборовъ на многихъ сейсмическихъ станціяхъ до сихъ поръ не приведены въ исполненіе вслѣдствіе недостатка средствъ.

Постановлено выдать князю Б. Б. Голицыну 500 рублей изъ остатковъ кредита 1907 года и возбудить ходатайство передъ Г. Министромъ Народнаго Просвѣщенія объ отпускѣ 1000 рублей на нужды Комиссіи.

### § 8.

Доложено сообщеніе А. И. Филимонова о поврежденіяхъ памятниковъ древности, причиненныхъ землетрясеніемъ 8/21 октября 1907 года.

Постановлено передать сообщеніе въ редакцію Сейсмическаго Бюллетеня.

### § 9.

Доложено о полученіи слѣдующихъ сейсмическихъ наблюденій:

а) списокъ сейсмическихъ возмущеній по наблюденіямъ Восточно-Сибирскихъ станцій за октябрь — декабрь 1906 года

б) списокъ землетрясеній, отмѣченныхъ на сейсмической станціи при Екатеринбургской Обсерваторіи въ 1907 году.

Постановлено передать наблюденія въ редакцію Сейсмическаго Бюллетеня.

### § 10.

Доложено о выходѣ Сейсмическаго Бюллетеня за первую четверть 1906 года.

Принято къ свѣдѣнію.

---

*Приложеніе къ § 3 протокола засѣданія Сейсмической Комиссіи  
1-го февраля 1908 года.*

## Резюме доклада князя Б. Б. Голицына: „О новѣйшихъ результатахъ наблюденій, произведенныхъ на сейсмической станціи при Пулковской Обсерваторіи“.

Первая серія сейсмическихъ наблюденій въ Пулковѣ имѣла цѣлью выяснить: 1) примѣнимость электромагнитнаго затуханія, 2) сравненіе хода маятника безъ затуханія съ маятникомъ аперіодическимъ, 3) примѣнимость электромагнитнаго способа регистраціи, 4) наблюденія съ клинографомъ и проч.

Текущая серія наблюденій, начатая 15/28 XI, 1907 г. имѣетъ своей главной цѣлью сравненіе хода трехъ почти аперіодическихъ маятниковъ, изъ которыхъ одинъ совершенно безъ штифта (маятникъ Zöllner, старой конструкціи № 1 вѣсъ 14831 гр.), второй съ однимъ штифтомъ (новый маятникъ работы Мазинга № II вѣсъ 3525 гр.), а третій съ двумя штифтами (маятникъ типа Rebeur-Paschwitz'a № III, вѣсъ 64 гр.). Затуханіе достигалось постоянными магнитами, регистрація у всѣхъ трехъ приборовъ элѣктромагнитная.

За время съ 15/28 XI 1907 по 18/31 I 1908 зарегистрировано до 14 отдѣльныхъ землетрясеній, причемъ станція за все это время функционировала вполне правильно; электромагнитный способъ регистраціи оказался очень удобнымъ и практичнымъ; сырость подвального помѣщенія, гдѣ установлены маятники, не оказывала болѣе вреднаго вліянія, въ виду отсутствія прямой оптической регистраціи, а бумага отъ Варнерке, стоящая вдвое меньше чѣмъ бумага отъ Stolze, оказалась, въ смыслѣ своей чувствительности, вполне удовлетворительной.

Изъ отдѣльныхъ землетрясеній болѣе характерны землетрясенія 29/11 XII/I 1907/1908 и 2/15 I 1908.

Детальное сравненіе хода всѣхъ трехъ маятниковъ показало, что они чертятъ вполне согласныя кривыя; моменты наступленія отдѣльныхъ фазъ по кривымъ никогда не отличались болѣе, чѣмъ на 3 секунды и вычис-

ленные по записямъ трехъ маятниковъ величины абсолютной двойной амплитуды смѣщенія точки земной поверхности  $2x_m$  получились въ общемъ достаточно согласныя между собою, какъ это видно изъ слѣдующей таблицы, гдѣ  $T_p$  обозначаетъ соответствующій періодъ сейсмической волны. (Землетрясеніе 29/11 XII/I.)

$T_p$	$2x_m$		
	№ I	№ II	№ III
18,4	0,132 м/м	0,129 м/м	0,133 м/м
12,5	87	78	78
13,5	111	99	103
13,8	97	82	101
16,5	130	125	135
16,3	109	99	120
15,8	104	99	113
13,5	45	39	43
13,4	50	45	47
13,5	45	38	43
18,3	80	76	81
19,1	89	81	83
16,5	53	52	52
15,3	51	44	46

Такого согласія можно достигнуть только съ маятниками, снабженными сильнымъ затуханіемъ. При этомъ маятники различной конструкціи оказались одинаково чувствительно реагирующими на землетрясенія въ полномъ согласіи съ теоріей, въ силу которой чувствительность прибора зависитъ только отъ величинъ  $n$ ,  $\epsilon$  и  $l$ , а не зависитъ совершенно отъ массы. Чувствительность самой регистраціи была у всѣхъ трехъ маятниковъ различна, что представляется цѣлесообразнымъ и желательнымъ, такъ какъ при сильныхъ землетрясеніяхъ слишкомъ чувствительные маятники неудобны.

Для максимальной приведенной оптической длины  $\mathcal{M}$  имѣемъ

	№ I	№ II	№ III
$\mathcal{M}$	163 м.	103 м.	15,5 м.

На некоторых сейсмограммах обнаруживаются колебания с очень короткими периодами и, так как они же наблюдаются и у маятника с упорным штифтом (№ II), то нет сомнений, что эти колебания сейсмического происхождения, а не обуславливаются побочными колебаниями свободного маятника Zöllner'a. Таким образом для отдаленных землетрясений упорный штифт оказался даже излишним и он впоследствии был вывинченъ.

У маятника Zöllner'a, несмотря на то, что он находится под особым стеклянным колпакомъ, наблюдаются постоянно плавныя, хотя и неправильныя колебания с сравнительно большим периодомъ. Несомненно, что эти колебания воздушнаго происхождения, т. к. маятники №№ II и III, лучше изолированныя отъ наружнаго воздуха, ихъ не обнаруживаютъ. Независимо отъ этихъ колебаний, всѣ три маятника обнаруживаютъ съ большей или меньшей отчетливостью, въ зависимости отъ чувствительности регистраціи, характерныя микросейсмическія колебания съ периодомъ въ 5—8 секундъ.

Для выясненія вопроса о причинѣ этихъ микросейсмическихъ колебаний, желательно произвести сравнительныя наблюденія съ двумя маятниками, изъ которыхъ одинъ установленъ въ обыкновенныхъ условіяхъ, а другой подъ особымъ колоколомъ въ почти безвоздушномъ пространствѣ.

Такой большой колоколъ изъ ковальной стали изготовленъ въ настоящее время заводомъ Санъ-Галли. Съ имѣющимся въ распоряженіи насосомъ воздухъ былъ выкаченъ до  $10 \frac{m}{m}$  давленія; при этомъ оказалось, что колоколъ этотъ абсолютно герметиченъ, т. к. въ теченіи 13 дней давленіе не измѣнилось даже на  $\frac{1}{2} \frac{m}{m}$ .

Въ ближайшемъ будущемъ предполагается приступить къ наблюденіямъ съ горизонтальнымъ маятникомъ въ почти безвоздушномъ пространствѣ.

Главный результатъ данной серіи наблюденій заключается въ томъ, что аперіодическіе маятники различныхъ системъ даютъ согласныя между собою результаты.

### Протоколъ засѣданія 29-го февраля 1908 года.

Подъ председательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссiи: князь Б. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, Г. В. Левицкій, И. И. Померанцевъ, М. А. Рыкачевъ, Э. В. Штеллингъ и приглашенные на засѣданіе: профессоръ П. И. Броуновъ и лаборантъ Физическаго Кабинета И. И. Вилиппъ.

#### § 11.

Прочтенъ и утвержденъ протоколъ предыдущаго засѣданія 1-го февраля 1908 года.

#### § 12.

Князь Б. Б. Голицынъ сдѣлалъ рефераты о двухъ трудахъ Angenheister'a, напечатанныхъ въ Извѣстіяхъ Королевскаго Общества Наукъ въ Гёттингенѣ <sup>1)</sup>:

- a) Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption von Erdbenwellen, die durch den Gegenpunkt des Herdes gegangen sind;
- b) Seismische Registrierungen in Göttingen im Jahre 1905.

Предсѣдатель О. А. Баклундъ благодарилъ докладчика за интересные рефераты.

#### § 13.

Профессоръ Г. В. Левицкій прочелъ докладъ „Объ опредѣленіи разстоянія между двумя точками на сферѣ“.

Для рѣшенія данной задачи профессоръ Левицкій предлагаетъ воспользоваться формулами Гаусса, которыя при помощи вспомогательныхъ таблицъ позволяютъ весьма удобно и скоро вычислять разстоянія между точками на сферѣ. При этомъ профессоръ Левицкій представилъ вспомогательныя таблицы, составленныя для г. Юрьева однимъ изъ учениковъ его.

---

1) Nachrichten der Königl. Gesellschaft d. Wissenschaften zu Göttingen, Mathem.—physikalische Klasse, 1906 Heft 1 und 4.

По просьбѣ Предсѣдателя Комиссіи профессоръ Левицкій обѣщаль подготовить статью по предмету своего доклада, для напечатанія ея въ Извѣстіяхъ Комиссіи.

#### § 14.

Генераль-Лейтенантъ И. И. Померанцевъ доложилъ, что по порученію Комиссіи онъ переговорилъ съ г. Начальникомъ Военно-Топографическаго Управленія во вопросу о реорганизаціи сейсмической станціи при Ташкентской Обсерваторіи и о капитальномъ ремонтѣ помѣщенія ея. Генераль Н. Д. Артамоновъ указалъ на сложность дѣла, обусловленную положеніемъ Ташкентской Обсерваторіи, подчиненной Военному Вѣдомству, между тѣмъ какъ кредитъ на содержаніе ея отпускается по смѣтѣ Министерства Народнаго Просвѣщенія.

Положеніе Военно-Топографическаго Управленія весьма стѣснено въ финансовомъ отношеніи, вслѣдствіе чего Управленіе находилось вынужденнымъ пріостановить даже производство нѣкоторыхъ топографическихъ работъ; при такомъ положеніи конечно нельзя надѣяться на отпущекъ суммъ на реорганизацію Ташкентской сейсмической станціи изъ остатковъ отъ кредитовъ Военнаго Вѣдомства.

Обсужденіе вопроса о ремонтѣ помѣщенія сейсмической станціи въ Ташкентѣ отлагается на одно изъ слѣдующихъ засѣданій.

#### § 15.

Князь Б. Б. Голицынъ демонстрировалъ сейсмографъ системы Цѣльнера, предназначенный для сейсмической станціи въ Пятигорскѣ. (См. § 48 протоколъ засѣданія Комиссіи 31-го августа 1907 г.). Съ цѣлью устраненія вреднаго вліянія продольныхъ колебаній маятника на отчетливость записей, сейсмографъ снабженъ опорнымъ штифтомъ; кромѣ того примѣнено сильное затуханіе при помощи постоянныхъ магнитовъ. Въ виду того, что при усиленіи затуханія до аперіодичности чувствительность сейсмографа будетъ значительно уменьшена, князь Голицынъ предполагаетъ прибавить соотвѣтственный увеличительный приборъ и затѣмъ испытать сейсмографъ на сейсмической станціи въ Пулковѣ. вмѣстѣ съ тѣмъ князь Б. Б. Голицынъ представилъ счетъ механика Мазинга на 65 рублей за устройство опорнаго штифта и демпфера.

Постановлено уплатить механику Мазингу 65 рублей.

#### § 16.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ, что по предложенію профессора Г. В. Левицкаго (см. § 16 протокола засѣданія 24-го февраля 1906 года) Комиссія просила академика М. А. Рыкачева содѣйствовать тому, чтобы въ программу экспедиціи Э. П. Рябушинскаго было включено устройство сейсмической станціи въ Петропавловскѣ.

Въ настоящее время выяснилось, что экспедиція повидимому состоитъ въ этомъ году, и что завѣдывающій метеорологическимъ отдѣломъ ея могъ бы установить сейсмографъ въ Петропавловскѣ; въ проектъ смѣты экспедиціи внесены средства на наемъ помѣщенія для сейсмической станціи и на расходы по установкѣ прибора. Чтобы обезпечить продолженіе правильныхъ сейсмическихъ наблюденій въ Петропавловскѣ и послѣ отъѣзда экспедиціи изъ Камчатки осенью 1909 года, Комиссія могла бы воспользоваться услугами г. Начальника Петропавловскаго уѣзда С. М. Леха, выразившаго пожеланіе принять на себя производство сейсмическихъ наблюденій.

Постановлено просить профессора Г. В. Левицкаго распорядиться подготовленіемъ сейсмографа Целльнера къ отправкѣ въ Петропавловскъ.

§ 17.

Доложено сообщеніе Департамента Народнаго Просвѣщенія о томъ что имъ сдѣлано сношеніе съ Департаментомъ Государственнаго Казначейства объ открытіи въ распоряженіе Правленія Императорской Академіи Наукъ кредита по § 3 ст. 4 смѣты Министерства Народнаго Просвѣщенія 1907 года въ восемьсотъ руб. на покрытіе расходовъ по командированію русскихъ делегатовъ на конгрессъ Международной Сейсмологической Ассоціаціи.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 18.

Доложена просьба Библиотеки Королевскаго Университета въ Упсалѣ о высылкѣ ей изданій Сейсмической Комиссіи.

Постановлено высылать Извѣстія Комиссіи, начиная съ послѣдняго выпуска.

§ 19.

Доложена просьба профессора Риццо сообщить ему свѣдѣнія о возмущеніяхъ, отмѣченныхъ сейсмографами русскихъ станцій во время землетрясенія, наблюдавшагося въ Калабріи 23-го октября 1907 года.

Постановлено пригласить директоровъ Обсерваторій сообщить профессору Риццо просимыя свѣдѣнія.

§ 20.

Доложено о полученіи сейсмическихъ наблюденій Иркутской Обсерваторіи и подвѣдомственныхъ ей станцій за мѣсяцы январь — мартъ 1907 года.

Постановлено передать наблюденія въ редакцію Сейсмическаго Бюллетеня.

§ 21.

Профессоръ Г. В. Левицкій представилъ коллекцію фотографическихъ снимковъ сооружений и зданій, разрушенныхъ или поврежденныхъ Андижанскимъ землетрясеніемъ.

Съ согласія профессора Левицкаго снимки будутъ переданы академику О. Н. Чернышеву съ цѣлью выбора наиболее характерныхъ фотографій, воспроизведеніе которыхъ имъ будетъ признано желательнымъ.

### Протоколъ засѣданія 28-го марта 1908 года.

Подъ предсѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссіи: Князь Б. Б. Голицынъ, Г. В. Левицкій, М. А. Рыкачевъ, Ю. М. Шокальскій, Э. В. Штеллингъ и приглашенные на засѣданіе: лаборантъ Физическаго Кабинета И. И. Вилиппъ и старшій наблюдатель Тифлисской Физической Обсерваторіи П. Э. Штеллингъ.

#### § 22.

Прочтенъ и утвержденъ протоколъ предыдущаго засѣданія 29-го февраля 1908 года.

#### § 23.

Князь Б. Б. Голицынъ прочелъ докладъ „О магнитномъ затуханіи“. Докладчикъ, коснувшись вопроса о важномъ значеніи затуханія сейсмическихъ приборовъ, описалъ рядъ произведенныхъ имъ опытовъ надъ затуханіемъ горизонтальнаго маятника при помощи сильныхъ постоянныхъ магнитовъ; при этихъ опытахъ примѣнялись мѣдныя пластинки различной толщины при разныхъ разстояніяхъ полюсовъ магнитовъ. Результаты опытовъ сопоставлены въ таблицѣ, показывающей между прочимъ, что и съ одной парой небольшихъ магнитовъ можно сообщить тяжелымъ маятникамъ (въ 50 и 100 килограммахъ вѣса) весьма значительное затуханіе.

Статья князя Б. Б. Голицына по этому вопросу будетъ напечатана въ Извѣстіяхъ<sup>1)</sup> Императорской Академіи Наукъ.

#### § 24.

Князь Б. Б. Голицынъ прочелъ докладъ „Сравненіе Пулковскихъ и Геттингеновскихъ сейсмограммъ“. Изъ сопоставленія моментовъ отдѣльныхъ фазъ двухъ землетрясеній, по записямъ сейсмографовъ въ Пулковѣ и Геттингенѣ, авторъ опредѣлилъ какъ вѣроятное положеніе

---

<sup>1)</sup> Извѣстія Императорской Академіи Наукъ, VI серия № 8, 1-го мая 1908 г. В. Galitzin „Ueber die magnetische Dämpfung von Horizontalpendeln“.

эпицентровъ этихъ землетрясеній такъ и скорость распространенія поверхностныхъ сейсмическихъ волнъ; для этой послѣдней получились величины, колеблющіяся между 3,3 и 3,6 километрами въ секунду. Вычисленное авторомъ вѣроятное положеніе эпицентровъ обоихъ землетрясеній близъ о. Формозы и къ югу отъ Японіи вполнѣ оправдалось.

Далѣе князь Б. Б. Голицынъ сравнилъ показанія двухъ маятниковъ различной конструкціи, установленныхъ на Пулковской станціи: прибора системы Пѣльнера и новаго маятника, устроеннаго по указаніямъ докладчика. При обработкѣ сейсмограммъ обоихъ приборовъ получилось въ общемъ очень хорошее согласіе какъ въ моментахъ наступленія отдѣльныхъ фазъ, такъ и въ величинахъ абсолютной амплитуды смѣщенія точки земной поверхности.

Наконецъ докладчикъ представилъ весьма характерную сейсмограмму, полученную на сейсмической станціи въ Пулковѣ въ ночь съ 13-го на 14-ое марта и соотвѣтствующую сильному землетрясенію въ Мексикѣ; чувствительные Пулковскіе сейсмографы обнаружили громадныя колебанія и вышли даже изъ предѣловъ шкалы. По вычисленіямъ князя Голицына амплитуда смѣщенія точки земной поверхности въ этомъ случаѣ достигла почти 1 миллиметра. Черезъ нѣсколько часовъ землетрясеніе повторилось и также съ значительной силой.

Академикъ О. А. Баклундъ указалъ, что большой пассажный инструментъ Пулковской Обсерваторіи послѣ 13-го марта замѣтно измѣнилъ свое положеніе; это измѣненіе въ положеніи инструмента повидимому вызвано сейсмическими волнами Мексиканскаго землетрясенія.

## § 25.

Доложено письмо завѣдывающаго Бакинскими сейсмическими станціями К. К. Матвѣева на имя предсѣдателя Комиссіи О. А. Баклунда. К. К. Матвѣевъ сообщаетъ, что на Бакинской и Балаханской станціяхъ дѣло налаживается; сейсмограммы получаютъ теперь болѣе или менѣе годныя для обработки. Главныя затрудненія предвидятся при организаціи удовлетворительной передачи времени изъ Тифлиса и Балахановъ. Приемка и передача времени производятся при помощи секундомѣровъ, имѣющихъ весьма неправильный ходъ, вслѣдствіе чего происходятъ ошибки въ 4—5 секундъ при опредѣленіи поправки часовъ Löbner'a. Во избѣжаніе такихъ крупныхъ ошибокъ К. К. Матвѣевъ проситъ снабдить его хронометромъ. Сигналы подаются Тифлисскою Обсерваторіею не въ опредѣленные моменты, такъ что по этому дѣлу необходимо еще списаться съ нею.

Въ виду важности вопросовъ, которые онъ долженъ попытаться разрѣшить на мѣстѣ, К. К. Матвѣевъ желалъ бы просмотрѣть всѣ сейсмограммы Бакинскихъ станцій за прежнее время, и поэтому онъ проситъ прислать ему весь собранный станціями матеріалъ.

Постановлено возбудить ходатайство передъ Главнымъ Гидрографическимъ Управленіемъ объ отпускѣ 2 или 3 столовыхъ хронометровъ

во временное пользование Комиссии, и, по получении ихъ, послать одинъ хронометръ въ Баку. Что же касается сейсмограммъ Бакинскихъ станцій за прежнее время, то Комиссія просила профессора Г. В. Левицкаго, принять на себя заботы объ исполненіи желанія К. К. Матвѣева.

#### § 26.

Директоръ Тифлисской Физической Обсерваторіи сообщаетъ, что помѣщенія для проектированныхъ сейсмическихъ станцій въ Пятигорскѣ и Зурнабатѣ вполне готовы, и проситъ Комиссію, не найдетъ ли она возможнымъ ускорить высылку приборовъ, предназначенныхъ для названныхъ станцій.

Постановлено увѣдомить директора С. В. Гласека, что предназначенные для Пятигорска тяжелые маятники уже снабжены опорными штифтами и сильнымъ затуханіемъ посредствомъ постоянныхъ магнитовъ. Въ настоящее время изготовляется къ нимъ подходящий увеличительный приборъ, послѣ чего маятники будутъ испытаны на сейсмической станціи въ Пулковѣ.

Что же касается усовершенствованныхъ контактныхъ часовъ для сейсмическихъ станцій въ Пятигорскѣ и Зурнабатѣ, то таковые уже давно заказаны Комиссіей, но изготовленіе ихъ задержалось по независящимъ отъ нея причинамъ. Можно надѣяться, что первая партія заказанныхъ часовъ въ скоромъ времени будетъ доставлена въ Юрьевъ, гдѣ часы будутъ испытаны профессоромъ Г. В. Левицкимъ.

По окончаніи провѣрки сейсмографа и контактныхъ часовъ, таковые будутъ отправлены въ Тифлисъ.

#### § 27.

Доложена просьба профессора F. Haid'a въ Карлсруэ и профессора П. И. Броунова въ С.-Петербургѣ о высылкѣ имъ изданій Сейсмической Комиссии.

Постановлено высылать имъ на будущее время Извѣстія Сейсмической Комиссии; что же касается выпусковъ этого изданія за прежнее время, то желаніе названныхъ ученыхъ будетъ исполнено насколько то позволить весьма ограниченный запасъ изданій Комиссии.

#### § 28.

Доложено о выходѣ и разсылкѣ Сейсмическаго Бюллетеня за мѣсяцы апрѣль — июнь 1906 года.

#### § 29.

Доложено о полученіи сейсмическихъ наблюденій Красноярской станціи за мѣсяцы январь — мартъ 1907 года и о передачѣ ихъ въ редакцію Сейсмическаго Бюллетеня.

## Протоколь засѣданія 2-го мая 1908 г.

Подъ предсѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссіи: князь Б. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, Г. В. Левицкій, И. И. Померанцевъ, М. А. Рыкачевъ, Э. В. Штеллингъ и приглашенные на засѣданіе гости: И. И. Вилиппъ, І. А. Керсновскій и П. Э. Штеллингъ.

### § 30.

Прочтенъ и утвержденъ протоколь предыдущаго засѣданія 28-го марта 1908 года.

### § 31.

Профессоръ Г. В. Левицкій сдѣлалъ докладъ „О нѣкоторыхъ примѣчательныхъ землетрясеніяхъ 1906 года“, въ которомъ онъ изложилъ способъ опредѣленія координатъ эпицентра землетрясенія и примѣнилъ его къ опредѣленію координатъ эпицентровъ нѣсколькихъ землетрясеній 1906 года.

Постановлено напечатать докладъ Г. В. Левицкаго въ Извѣстіяхъ Комиссіи.

### § 32.

Профессоръ Г. В. Левицкій изложилъ вкратцѣ основанія новой теоріи землетрясеній, предложенной Т. І. І. See.<sup>1)</sup>

### § 33.

Князь Б. Б. Голицынъ прочелъ докладъ „Объ опредѣленіи постоянныхъ горизонтальнаго маятника вблизи границы аперіодичности“.

---

<sup>1)</sup> The cause of earthquakes, mountain formation and kindred phenomena connected with the physics of the earth, by T. I. I. See. Proceedings American Philosophical Society. Vol. XIV, 1906.

Докладчикъ указалъ на значительныя затрудненія, съ которыми сопряжено непосредственное экспериментальное опредѣленіе логарифмическаго декремента и періода качаній у маятниковъ съ сильнымъ затуханіемъ; поэтому въ такихъ случаяхъ для вычисленія числовыхъ величинъ постоянныхъ  $\mu$  и  $\epsilon$  обыкновенно прибѣгаютъ къ кропотливымъ измѣреніямъ кривой собственнаго движенія маятника.

Предложенный княземъ Б. Б. Голицынымъ новый способъ, основанный на наблюденіяхъ при помощи аперіодическаго гальванометра, свободенъ отъ этого неудобства и представляетъ, кромѣ того, прекрасное средство для установленія точной границы аперіодичности при жюстировкѣ маятника.

Статья князя Б. Б. Голицына<sup>1)</sup> будетъ напечатана въ Извѣстіяхъ Императорской Академіи Наукъ.

### § 34.

Предсѣдатель О. А. Баклундъ сдѣлалъ рефератъ о трудѣ I. F. Hayford'a и A. L. Baldwin'a,<sup>2)</sup> напечатанномъ въ приложеніи къ отчету Coast and Geodetic Survey за 1907 г. „Движенія земли (почвы) при Калифорнскомъ землетрясеніи 1906 года“.

### § 35.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ содержаніе сообщенія, напечатаннаго въ приложеніи къ еженедѣльному бюллетеню Ташкентской Обсерваторіи.

Изъ прежнихъ донесеній завѣдывающаго Ташкентской Обсерваторіей уже извѣстно было о значительныхъ неправильностяхъ, искажающихъ въ холодное время года записи сейсмографа Цѣльнера-Репсольда въ Ташкентѣ. Весною 1907 года, помощью прикрятія столбовъ войлоками, повидимому удалось достигнуть устраненія неправильностей, но это тогда совпало съ наступленіемъ теплаго сезона, когда безпокойство маятниковъ и безъ того обыкновенно прекращалось. Осенью же 1907 года вновь показались пульзаціи, перешедшія вскорѣ въ неправильныя колебанія маятниковъ; наконецъ кривыя представляли сплошной рядъ непрерывныхъ возмущеній неизвѣстнаго происхожденія. Покрытіемъ столба войлоками и ватнымъ одѣяломъ задерживалось наступленіе возмущеній и уменьшались амплитуды качаній, но все же этими мѣрами не удалось улучшить кривыя въ достаточной степени.

При производствѣ опытовъ улучшенія записей былъ установленъ тотъ фактъ, что послѣ длительного пребыванія людей въ помѣщеніи для

---

<sup>1)</sup> В. Galitzin „Ueber die Bestimmung der Constanten von stark gedämpften Horizontalpendeln. Извѣстія Императорской Академіи Наукъ, 15-го мая 1908 г. № 9.

<sup>2)</sup> I. F. Hayford and A. L. Baldwin: „The earth movements in the California earthquake of 1906“. Appendix № 3. Report of the Coast and Geodetic Survey for 1907.

сейсмографа дрожанія маятниковъ значительно уменьшались, по крайней мѣрѣ на нѣсколько часовъ, но потомъ они появлялись вновь. Тогда для согрѣванія помещенія была поставлена печка въ смежной съ подваломъ комнатѣ, при правильной топкѣ которой температура въ подвалѣ съ сейсмографомъ поднялась до 16°, послѣ чего характеръ качаній рѣзко измѣнился и неправильности почти совершенно прекратились. Кривыя на сейсмограммахъ улучшились въ такой значительной степени, что регистрація землетрясеній стала вполне возможною.

Къ сообщенію приложены концы съ сейсмограммъ въ различныхъ стадіяхъ состоянія маятниковъ.

Принято къ свѣдѣнію.

### § 36.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ, что устройство проектированной сейсмической станціи въ Петропавловскѣ по видимому не состоится, такъ какъ завѣдывающій метеорологическимъ отдѣломъ Камчатской Экспедиціи В. А. Власовъ затрудняется принять на себя установку сейсмографа и организацію сейсмическихъ наблюденій въ Петропавловскѣ.

Принято къ свѣдѣнію.

### § 37.

Князь Б. Б. Голицынъ представилъ сейсмограммы двухъ новыхъ маятниковъ и клинографа и предупредилъ о томъ, что лѣтомъ будетъ перерывъ въ наблюденіяхъ вслѣдствіе установки новыхъ приборовъ на сейсмической станціи въ Пулковѣ. вмѣстѣ съ тѣмъ онъ испросилъ разрѣшеніе на печатаніе наблюденій названной станціи въ Извѣстіяхъ Комиссіи.

Одобрено.

### § 38.

Предсѣдатель О. А. Баклундъ сообщилъ, что по просьбѣ К. К. Матвѣева онъ отправилъ на сейсмическую станцію въ Баку одинъ столовый хронометръ, принадлежащій Николаевской Астрономической Обсерваторіи.

Принято къ свѣдѣнію.

### § 39.

Предсѣдатель О. А. Баклундъ приглашаетъ членовъ Комиссіи на воскресенье 4-го мая въ Пулково для осмотра сейсмической станціи, причемъ княземъ Б. Б. Голицынымъ будутъ даны необходимыя поясненія.

Приглашеніе принято.

§ 40.

Доложено отношеніе Департамента Народнаго Просвѣщенія отъ 31-го марта с. г. за № 8849, которымъ Департаментъ увѣдомляетъ Предсѣдателя Сейсмической Комиссіи, что ходатайство объ отпускѣ средствъ на покрытіе дефицита по бюджету Комиссіи не можетъ получить дальнѣйшаго движенія, такъ какъ Министерство Финансовъ высказалось противъ удовлетворенія этого ходатайства, въ виду весьма значительныхъ размѣровъ сверхсмѣтныхъ расходовъ, отнесенныхъ уже на общія сбереженія по смѣтѣ Министерства Народнаго Просвѣщенія 1907 года.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 41.

Доложено о полученіи сейсмограммъ Ташкентской Обсерваторіи за время съ 25-го августа 1907 г. по 14-ое апрѣля 1908 года и вопросныхъ листовъ со свѣдѣніями о землетрясеніяхъ въ Туркестанѣ.

---

### Протоколъ засѣданія 3-го октября 1908 года.

Подъ предѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссии: князь Б. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, И. И. Померанцевъ, М. А. Рыкачевъ, О. Н. Чернышевъ, Ю. М. Шокальскій, Э. В. Штеллингъ и приглашенные на засѣданіе гости: И. И. Вилиппъ, Е. А. Гейнцъ, I. А. Керсновскій и П. М. Никифоровъ.

#### § 42.

Прочтенъ и утвержденъ протоколъ предыдущаго засѣданія 2-го мая 1908 года.

#### § 43.

Князь Б. Б. Голицынъ сдѣлалъ докладъ: „О результатахъ новѣйшихъ наблюденій на сейсмической станціи въ Пулковѣ“.

Послѣ лѣтнаго перерыва въ наблюденіяхъ, вызваннаго установкою новыхъ инструментовъ, 20-го августа началась третья серія сейсмическихъ наблюденій въ Пулковѣ. Кромѣ пары тяжелыхъ маятниковъ, установленныхъ для предварительнаго испытанія передъ отправкой ихъ на новую сейсмическую станцію въ Пятигорскѣ, на Пулковской станціи теперь находятся въ дѣйствиі три аперіодическіе горизонтальные маятника и одинъ клинографъ.

Болѣе подробныя свѣдѣнія какъ объ установкѣ приборовъ, такъ и относительно цѣлей, преслѣдуемыхъ княземъ Б. Б. Голицынымъ посредствомъ новой серіи наблюденій, даны въ резюме доклада его, напечатанномъ въ приложеніи къ протоколу сего засѣданія.

#### § 44.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ предварительныя свѣдѣнія о землетрясеніи  $\frac{23\text{-го сентября}}{6\text{-го октября}}$  сего года. На основаніи имѣющихся данныхъ можно заключить, что эпицентръ землетрясенія находился, повидимому, въ Карпатахъ, откуда волны распространились на Галицію, Румынію и значительную часть Европейской Россіи. Изъ довольно многочисленныхъ

свѣдѣній, доставленныхъ корреспондентами Главной Физической Обсерваторіи, видно, что 6-го октября около половины двѣнадцатаго часа ночи ощущалось землетрясеніе средней силы въ губерніяхъ Бессарабской, Херсонской, Подольской, Волынской и Кіевской; хотя это землетрясеніе вызвало значительный переполохъ, но никто изъ корреспондентовъ не сообщаетъ о произведенныхъ имъ разрушеніяхъ или серьезныхъ поврежденіяхъ. Волны этого землетрясенія были зарегистрированы на многихъ сейсмическихъ станціяхъ, и въ записяхъ магнитографа Константиновской Обсерваторіи въ Павловскѣ также имѣются хотя и слабые, но все же ясные слѣды его; какъ это уже раньше замѣчалось, такъ и въ настоящемъ случаѣ волны землетрясенія сравнительно сильно отразились въ записяхъ унифиляра и отчасти бифиляра, между тѣмъ какъ въ кривыхъ Лойдовыхъ вѣсовъ соотвѣтственныхъ неправильностей не наблюдалось.

На первоклассной метеорологической станціи, устроенной графомъ Морковымъ въ своемъ имѣніи Нижнемъ Ольчедаевѣ, Подольской губерніи, самопишущій барометръ большой чувствительности отмѣтилъ землетрясеніе въ видѣ вертикальной черты длиною въ 19 миллиметровъ, такъ что въ данномъ случаѣ барографъ реагировалъ на вертикальный толчокъ какъ довольно чувствительный сейсмографъ.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ, что при этомъ землетрясеніи сейсмографъ въ Пулковѣ отмѣтилъ два главные толчка, первый въ 21 ч. 43 м. 5 с., а второй въ 21 ч. 45 м. 33 с. средняго Гринвичскаго времени; наибольшее колебаніе почвы наблюдалось въ Пулковѣ въ 21 ч. 47 $\frac{1}{2}$  м., причемъ полная амплитуда колебанія равнялась всего 45  $\mu$ . По записямъ сейсмографа данное землетрясеніе было особенно богато колебаніями съ короткими періодами приблизительно въ 1,3 — 1,8 секунды.

Академикъ *О. Н. Чернышевъ* сообщилъ, что изъ Одессы командированъ опытный геологъ для производства на мѣстахъ подробнаго изслѣдованія землетрясенія и его послѣдствій.

Принято къ свѣдѣнію.

#### § 45.

Секретарь *Э. В. Штеллингъ* доложилъ содержаніе циркулярнаго письма генеральнаго секретаря Международной Сейсмологической Ассоціаціи, въ которомъ послѣдній сообщаетъ, что предсѣдатель *А. Шустеръ* вошелъ въ сношеніе съ Центральнымъ Бюро Международной Библиографіи по вопросу объ изданіи каталога работъ по сейсмологіи. По мнѣнію секретаря Центрального Бюро работы по сейсмологіи, которыя нынѣ входятъ въ разные томы библиографіи, на будущее время могли бы быть выдѣлены въ спеціальныи отдѣлъ; тогда отдѣльные оттиски этого отдѣла могли бы быть выпущены безъ другихъ расходовъ для Ассоціаціи, кромѣ платы за печатаніе оттисковъ. Задача секретаріата Бюро была бы значительно упрощена при назначеніи экспертовъ, сообщающихъ въ Бюро Библиографіи своего государства списки статей по сейсмологіи.

Приглашенный на засѣданіе секретарь Бюро по Международной Библиографіи при Академіи Наукъ *Е. А. Гейнцъ* указалъ, что въ на-

стоящее время работы по сейсмологіи въ международномъ каталогѣ разсѣяны въ 5 различныхъ томахъ: астрономіи, геологіи, географіи, механики и физики. Пока международныя схемы не будутъ измѣнены нельзя ввести особый отдѣлъ, въ которомъ сосредоточивались бы все работы по сейсмологіи. Въ настоящее время наше Бюро собираетъ русскую литературу по сейсмологіи и отсылаетъ ее въ Лондонъ для включенія въ Международный каталогъ; но ввиду того, что у насъ нѣтъ для этого особаго лица и особаго отдѣла, можетъ случиться, что литература не будетъ полной. Вслѣдствіе этого было бы очень желательно получать отъ Сейсмической Комиссіи заголовки русскихъ сейсмическихъ работъ, которые наше Бюро выписывало бы на карточки съ соблюденіемъ правилъ международной инструкціи и отсылало бы въ Лондонъ.

Постановлено поручить секретарю Комиссіи совмѣстно съ Е. А. Гейнцомъ выработать способъ регистраціи русской сейсмологической литературы.

#### § 46.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ, что Г. В. Левицкій письменно изъявилъ свое согласіе продолжать редакцію Сейсмическаго Бюлетеня несмотря на перемѣну въ служебномъ положеніи, связанную съ переѣздомъ его изъ Юрьева въ Вильно.

Постановлено выразить Г. В. Левицкому благодарность за его готовность по прежнему руководить изданіемъ Сейсмическаго Бюлетеня.

#### § 47.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ письмо Г. В. Левицкаго, который, въ случаѣ возможнаго закрытія сейсмической станціи въ г. Юрьевѣ, предлагаетъ перенести ее въ г. Вильно, гдѣ устройство сейсмической станціи ему представляется желательнымъ по слѣдующимъ причинамъ.

Съ окончаніемъ полного устройства сейсмической станціи при Обсерваторіи въ Пулковѣ, Юрьевскую станцію, какъ слишкомъ близкую къ ней по положенію, слѣдовало бы перенести подальше отъ Пулкова. Перенесеніе станціи въ Вильно оправдывается тѣмъ соображеніемъ, что она въ этомъ городѣ была бы промежуточной между станціями въ Пулковѣ и Потсдамѣ. Продолженіе того сравненія показаній нѣсколькихъ сейсмическихъ станцій, о которомъ Г. В. Левицкій уже раньше докладывалъ Комиссіи, показало, что наибольшее число совмѣстно отмѣченныхъ землетрясеній въ 1907 г. даютъ станціи въ Потсдамѣ и Юрьевѣ (153 землетрясенія). Поэтому, приближеніе одной изъ русскихъ станцій къ Потсдаму представляется весьма интереснымъ и важнымъ. Въ случаѣ перенесенія станціи въ г. Вильно Г. В. Левицкій принималъ бы на себя завѣдываніе ею.

По вопросу о закрытіи сейсмической станціи въ Юрьевѣ председатель О. А. Баклундъ сообщилъ, что тотъ научный, теоретическій ин-

тересъ, который проявляетъ А. Я. Орловъ къ сейсмическимъ наблюдениямъ, и желаніе профессора Колосова произвести нѣкоторые опыты съ горизонтальными маятниками теперь заставили профессора К. Покровскаго, въ письмѣ на имя председателя О. А. Баклунда, высказаться за продолженіе дѣятельности Юрьевской станціи. Съ цѣлью сохраненія связи сейсмической станціи въ Юрьевѣ съ Сейсмической Комиссіей профессоръ К. Покровскій предложилъ бы А. Я. Орлова въ качествѣ представителя отъ Юрьевскаго Университета.

Нѣкоторыми членами Комиссіи было высказано мнѣніе, что, въ случаѣ закрытія Юрьевской станціи, соотвѣтственный кредитъ долженъ быть предпочтительно обращенъ на содержаніе тѣхъ изъ существующихъ сейсмическихъ станцій, которыя не располагаютъ достаточными штатными средствами. Сейсмическая станція въ Пулковѣ заслуживаетъ въ этомъ отношеніи особаго вниманія, такъ какъ Комиссія пока не имѣетъ въ своемъ распоряженіи достаточныхъ средствъ, чтобы обезпечить въ матеріальномъ отношеніи содержаніе этой важной станціи.

Постановлено отложить рѣшеніе вопроса до слѣдующаго засѣданія.

#### § 48.

Доложено сообщеніе Совѣта Съѣзда горнопромышленниковъ юга Россіи о предположеніи устроить сейсмическую станцію въ Донецкомъ бассейнѣ съ цѣлью изучить возможную связь между сейсмическими явленіями и внезапными выдѣленіями гремучаго газа въ каменноугольныхъ кояхъ. Вслѣдствіе сего Совѣтъ Съѣзда проситъ сообщить ему указанія относительно наилучшаго способа оборудованія сейсмической станціи необходимыми приборами, прислать печатные матеріалы и разъяснить вопросы, связанные съ устройствомъ такой станціи.

Постановлено сообщить требуемыя свѣдѣнія относительно сейсмографовъ на русскихъ сейсмическихъ станціяхъ перваго и втораго класса и предложить Совѣту командировать въ Пулково то лицо, которому предположено поручить завѣдываніе проектированной станціей въ Донецкомъ бассейнѣ; князь Б. Б. Голицынъ выразилъ готовность означить это лицо съ устройствомъ сейсмографовъ и дать ему всѣ необходимыя указанія.

#### § 49.

Князь Б. Б. Голицынъ доложилъ, что на основаніи соотвѣтственнаго постановленія Комиссіи онъ представилъ Г. Министру Народнаго Просвѣщенія проектъ реорганизаціи Сейсмической Комиссіи и подчиненныхъ ей станцій и просилъ его исходатайствовать установленнымъ порядкомъ необходимыя средства на проведеніе реформы; къ проекту приложена подробная мотивированная записка, составленная имъ совместно съ секретаремъ Комиссіи. Проектъ и смѣта вполне соотвѣтствуютъ постановленіямъ Комиссіи за исключеніемъ кредита на постройку здания

для центральной станціи въ Пулковѣ, исчисленнаго архитекторомъ Полѣщукѣмъ, на основаніи составленнаго имъ проекта, въ 42940 р. 65 к. (вмѣсто 17000+15000=32000 руб. см. § 38 протокола засѣданія 3-го мая 1907 года). Увеличеніе стоимости постройки подземнаго помѣщенія для сейсмографовъ вызвано усовершенствованнымъ способомъ отопленія его и нѣкоторыми приспособленіями, предназначенными для защиты отъ излишней сырости.

Принято къ свѣдѣнію.

### § 50.

Директоръ Тифлисской Обсерваторіи сообщаетъ, что зданіе для сейсмической станціи въ Пятигорскѣ уже совершенно готово, и проситъ возбудить ходатайство предъ Главнымъ Управленіемъ Почтъ и Телеграфовъ о соединеніи помѣщенія станціи телеграфною линіею съ мѣстною почтово-телеграфною конторою, съ предоставленіемъ линіи въ распоряженіе Обсерваторіи для бесплатной передачи сигналовъ времени. Вмѣстѣ съ тѣмъ директоръ С. В. Гласекъ проситъ Комиссію, не признаетъ ли она возможнымъ ускорить отправку сейсмографа, предназначеннаго для сейсмической станціи въ Пятигорскѣ.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщаетъ, что предназначенные для Пятигорска тяжелые горизонтальные маятники, снабженные магнитнымъ затуханіемъ и новымъ увеличительнымъ приборомъ, въ настоящее время установлены на сейсмической станціи въ Пулковѣ и могутъ быть отправлены лишь по окончаніи испытанія ихъ.

Постановлено возбудить предъ начальникомъ Главнаго Управленія Почтъ и Телеграфовъ соответственное ходатайство и увѣдомить директора Тифлисской Обсерваторіи о настоящемъ положеніи дѣла.

### § 51.

Тифлисская Физическая Обсерваторія увѣдомляетъ Комиссію, что на вновь оборудованной сейсмической станціи въ Зурнабатѣ установлена пара Страсбургскихъ тяжелыхъ маятниковъ, и проситъ принять мѣры къ ускоренію соединенія помѣщенія станціи телеграфною линіею съ телеграфною конторою въ Еленендорфѣ, для подачи сигналовъ времени изъ Обсерваторіи на сейсмическую станцію.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ, что Главнымъ Управленіемъ Почтъ и Телеграфовъ уже сдѣлано распоряженіе объ установкѣ на сейсмической станціи въ Зурнабатѣ телеграфнаго аппарата и о соединеніи ея однопроводной линіею съ телеграфнымъ учрежденіемъ въ Еленендорфѣ.

Принято къ свѣдѣнію.

### § 52.

Предсѣдатель О. А. Баклундъ сообщаетъ, что К. К. Матвѣевъ увѣдомилъ его объ удовлетворительномъ состояніи Бакинскихъ сейсми-

ческихъ станцій и обѣщалъ въ скоромъ времени прислать отчетъ о своей дѣятельности; при этомъ К. К. Матвѣевъ высказалъ сожалѣніе, что у него нѣтъ средствъ на изданіе бюллетеней съ наблюденіями сейсмическихъ станцій въ Баку и Балаханахъ.

Въ письмѣ на имя секретаря Комиссіи К. К. Матвѣевъ просить снабдить его волоснымъ гигрометромъ, который ему нуженъ при своихъ попыткахъ къ осушенію помѣщенія Бакинской станціи, сырость котораго вредно вліяетъ на состояніе сейсмографа.

Постановлено исполнить желаніе К. К. Матвѣева.

### § 53.

Доложено циркулярное письмо профессора О. Нескер'а въ Потсдамѣ съ просьбою выслать ему на время нѣкоторыя сейсмограммы Ташкентской Обсерваторіи, которыя ему нужны для его изслѣдованій надъ микросейсмическими явленіями.

Въ виду того, что указанная профессоромъ Нескер'омъ сейсмограммы находятся у Г. В. Левицкаго постановлено просить послѣдняго по возможности исполнить желаніе Нескер'а.

### § 54.

Секретарь Э. В. Штеллингъ представилъ составленную С. В. Глазеккомъ карту вѣсхъ частей свѣта съ линіями равныхъ разстояній и азимутовъ для г. Тифлиса; С. В. Глазекъ нанесъ на свою карту также области землетрясеній по Montessus de Balore и указалъ распредѣленіе нынѣ дѣйствующихъ вулкановъ по G. Mercalli.

Карта Глазека издана въ журналѣ „Die Erdbebenwarte“ № 1—6. VII Jahrg. 1907/1908.

### § 55.

Князь Б. Б. Голицынъ передалъ Комиссіи просьбу профессора Михайловича о присылкѣ изданій Сейсмической Комиссіи въ Сейсмологическій Отдѣлъ Геологическаго Института при Университетѣ въ Бѣлградѣ.

Постановлено послать въ Сейсмологическій Отдѣлъ Геологическаго Института три выпуска II-го тома Извѣстій и высылать послѣдующіе выпуски Извѣстій по мѣрѣ появленія таковыхъ.

### § 56.

Доложено сообщеніе Главнаго Гидрографическаго Управленія о томъ, что Товарищъ Морского Министра разрѣшилъ отпустить во временное пользованіе Сейсмической Комиссіи два столовые хронометра при условіи немедленнаго возвращенія ихъ въ случаѣ мобилизаціи флота. Принято къ свѣдѣнію.

§ 57.

Доложено объ изданіи и разсылкѣ Сейсмическаго Бюллетеня за мѣсяцы октябрь — декабрь 1906 года.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 58.

Доложено о полученіи слѣдующихъ сейсмическихъ наблюденій:

- а) отъ Иркутской Обсерваторіи — за вторую четверть 1907 года;
- б) отъ Тифлисской Обсерваторіи — за мѣсяцы съ октября 1907 по май 1908 года;
- в) отъ Екатеринбургской Обсерваторіи — за первую половину 1908 г.;
- г) отъ Ташкентской Обсерваторіи — опросныхъ свѣдѣній о Кара-тагскомъ землетрясеніи, съ приложеніемъ карты Туркестанскаго края и списка населенныхъ мѣстъ съ указаніемъ географическаго положенія ихъ.

Постановлено передать эти наблюденія въ редакцію Сейсмическаго Бюллетеня.

Приложение къ § 43 протокола засѣданія Сейсмической Комиссіи  
3-го октября 1908 года.

## Резюме доклада князя Б. Б. Голицына о результатахъ новѣйшихъ сейсмическихъ наблюдений въ Пулковѣ.

Вторая серія Пулковскихъ сейсмическихъ наблюдений началась 28 ноября 1907 г. (по новому стилю) и была закончена 17-го мая 1908 г.

Цѣль этихъ наблюдений заключалась въ томъ, чтобы сравнить записи трехъ почти аперіодическихъ маятниковъ различныхъ системъ и различной чувствительности между собой и съ записями приборовъ въ Геттингенѣ.

Полученныя въ Пулковѣ сейсмограммы обнаруживаютъ въ общемъ прекрасное согласіе всѣхъ трехъ маятниковъ, причемъ для болѣе чувствительныхъ маятниковъ малѣйшія детали одной кривой встрѣчаются и на соответствующей кривой отъ другого маятника. Абсолютныя величины амплитуды смѣщенія  $x_m$  точки земной поверхности при гармоническихъ колебаніяхъ послѣдней, выведенныя изъ записей различныхъ маятниковъ, а также періоды  $T_p$  сейсмическихъ волнъ и моменты наступленія отдѣльныхъ фазъ также въ общемъ очень хорошо согласуются между собою. Въ этомъ отношеніи принципы, введенныя въ основаніе сейсмическихъ наблюдений въ Пулковѣ, а именно пользованіе аперіодическими маятниками и гальванометрическимъ способомъ регистраціи, вполне оправдались.

Важно было еще произвести сравненіе моментовъ наступленія отдѣльныхъ фазъ землетрясенія по аперіодическимъ маятникамъ въ Пулковѣ съ соответствующими моментами въ Геттингенѣ, чтобы и въ этомъ отношеніи провѣрить пригодность примѣняемыхъ въ Пулковѣ методовъ.

И въ этомъ отношеніи, принимая во вниманіе разстояніе между сейсмическими ставціями въ Пулковѣ и Геттингенѣ (1559 кил.) и неясности нѣкоторыхъ фазъ, получилось въ общемъ очень хорошее согласіе, какъ то явствуетъ изъ слѣдующей таблицы, гдѣ приведены въ видѣ примѣра данныя для 4-хъ довольно характерныхъ землетрясеній.

Въ этой таблицѣ  $P$  обозначаетъ время наступленія первой предварительной фазы,  $S$  соответствующій моментъ для второй предварительной

фазы, *L* начало длинных волн, *F* конец землетрясения, а *s* определенное по разности *S—P* и по Laufzeitcurven Wiechert'a расстояние до эпицентра. Время среднее Гринвичское.

	23 / XII 1907		11 / I 1908		9 / II 1908		(Мексика). 26 / 27 III 1908	
	Пулково	Геттингенъ	Пулково	Геттингенъ	Пулково	Геттингенъ	Пулково	Геттингенъ
<i>P</i>	1 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 50 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 0 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup>	18 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 56 <sup>s</sup>	18 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>	23 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup>	23 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup>
<i>S</i>	1 31 52	1 34 31	3 55 8	3 57 37	18 30 39	18 33 1	23 27 29	23 26 52
<i>L</i>	1 44,5	1 49 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4 10 39	4 15 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	18 41,0	18 50	—	23 45
<i>F</i>	2 21,5	2 20	5 34,7	6 15	19 56 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3
<i>s</i>	7000 km.	8300	7800	9300	8400	9500	9800	9700

Третья серия сейсмических наблюдений в Пулковѣ началась 20 / VIII 1908 г. Установлено 6 приборовъ, а именно:

1) Горизонтальный, аперіодическій маятникъ моей системы подь обыкновеннымъ колпакомъ;

2) Такой же маятникъ вь разрѣженномъ пространствѣ при давленіи вь 36 <sup>m</sup>/<sub>m</sub>;

3) Аперіодическій маятникъ системы Rebeur-Paschwitz'a вь разрѣженномъ пространствѣ при давленіи вь 26 <sup>m</sup>/<sub>m</sub>;

4) Маятникъ *A* системы Zöllner'a сь механической регистраціей и сь увеличительнымъ приборомъ (общее увеличеніе около 20), но безъ затуханія;

5) Маятникъ *B* такой-же системы, но сь довольно сильнымъ магнитнымъ затуханіемъ;

6) Клинографъ вь разрѣженномъ пространствѣ при давленіи 36 <sup>m</sup>/<sub>m</sub>.

Цѣль этихъ наблюдений заключается вь болѣе тщательномъ сравненіи записей различныхъ маятниковъ между собою, причемъ различныя постоянныя маятниковъ должны чаще быть контролируемы, для каковой цѣли примѣняются методы, описанныя вь статьѣ докладчика «Ueber die Bestimmung der Constanten von stark gedämpften Horizontalpendeln», каковыя методы оказались на практикѣ очень цѣлесообразными и удобными. Для облегченія вычисленій составлены различныя вспомогательныя таблицы.

Другая цѣль заключается вь детальномъ изученіи микросейсмическихъ колебаній. Для этой послѣдней задачи должны служить по преимуществу маятники, установленныя вь разрѣженномъ пространствѣ и изолированныя, слѣдовательно, отъ вліянія различныхъ воздушныхъ теченій. Герметическія

затворы оказались прекрасно дѣйствующими и давленіе подѣ колпаками, гдѣ установлены маятники 2 и 3, сохраняется вполне неизмѣннымъ.

Уже первыя Пулковскія сейсмограммы обнаружили, что эти маятники прекраснымъ образомъ регистрируютъ микросейсмическія колебанія съ малыми періодами въ 3 — 8 сек., чѣмъ нагляднымъ образомъ доказано, что причину этихъ колебаній нельзя искать въ непосредственномъ вліяніи метеорологическихъ факторовъ на маятники.

Вопросъ о происхожденіи микросейсмическихъ колебаній съ болѣе длиннымъ періодомъ еще не выясненъ.

Полученныя сейсмограммы обнаруживаютъ прекрасный параллелизмъ записей отдѣльныхъ приборовъ.

Маятники *A* и *B* установлены въ Пулковѣ для предварительнаго испытанія передъ отправкой ихъ на новую сейсмическую станцію въ Пятигорскѣ.

Клинографъ подѣ колпакомъ въ разрѣженномъ пространствѣ оказался гораздо болѣе устойчивымъ, чѣмъ при прежней его установкѣ. Тѣмъ не менѣе онъ оказывается въ общемъ мало пригоднымъ приборомъ для изученія наклоновъ, такъ какъ онъ въ достаточной мѣрѣ можетъ реагировать и на смѣщенія. Если для уменьшенія вліянія смѣщеній чрезмѣрно увеличить собственный періодъ клинографа, то тогда онъ становится довольно неустойчивымъ приборомъ. Намѣчены въ будущемъ нѣкоторые дальнѣйшія усовершенствованія клинографа.

Въ заключеніе докладчикъ коснулся вопроса о землетрясеніи, наблюдавшемся около полуночи съ 6 на 7-ое октября въ различныхъ мѣстностяхъ на юго-западѣ Россіи.

Первый толчокъ достигъ Пулкова въ  $21^h 43^m 5^s$ , а второй въ  $21^h 45^m 33^s$  средняго Гринвичскаго времени. Разстояніе отъ Пулкова до эпицентра землетрясенія оказалось равнымъ 1400 кил., что соответствуетъ разстоянію до Карпатскихъ горъ. Данное землетрясеніе было особенно богато колебаніями съ короткими періодами, примѣрно въ 1,3—1,8 секунды, каковыя колебанія, при достаточной ихъ интенсивности, легче всего доступны непосредственному ощущенію и вызываютъ наибольшія разрушительныя дѣйствія.

Въ Пулковѣ наибольшее колебаніе почвы наблюдалось приблизительно въ  $21^h 47\frac{1}{2}^m$ , причемъ полная (двойная) амплитуда колебанія равнялась всего только  $45^{\mu}$ . Соответствующій размахъ сейсмографа былъ 6,3 миллиметра.

Около  $21^h 50^m$  эти короткія, въ ближайшемъ сосѣдствѣ съ очагомъ землетрясенія сравнительно опасныя колебанія значительно затихли, а около  $22^h 18\frac{1}{2}^m$  землетрясеніе по Пулковскимъ записямъ совершенно прекратилось.

**Протоколь засѣданія 28-го ноября 1908 года.**

Подъ предѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссіи: А. П. Герасимовъ, князь Б. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, Г. В. Левицкій, И. И. Померанцевъ, М. А. Рыкачевъ, Ю. М. Шокальскій, Э. В. Штёллингъ и приглашенные на засѣданіе гости: П. И. Броуновъ, Я. П. Гультьевъ, И. И. Вилиппъ, І. А. Кереновскій, П. М. Никифоровъ и А. Я. Орловъ.

**§ 59.**

Прочтенъ и утвержденъ протоколь предыдущаго засѣданія 3-го октября 1908 года.

**§ 60.**

Профессоръ Г. В. Левицкій сообщилъ нѣсколько дополнительныхъ данныхъ къ сдѣланному имъ въ одномъ изъ предыдущихъ засѣданій докладу подъ заглавіемъ: „Сравненіе чувствительности нѣкоторыхъ сейсмографовъ“. Въ 1907 году наибольшее число землетрясеній было отмѣчено приборами сейсмической станціи въ Потсдамѣ. Число землетрясеній, совмѣстно отмѣченныхъ въ теченіе этого года на Потсдамской и Юрьевской станціяхъ, равняется 153, между тѣмъ какъ въ Потсдамѣ и Геттингенѣ совмѣстно зарегистрированы лишь 125 землетрясеній. Землетрясенія, которыя наблюдаемы были только въ Потсдамѣ (114 землетрясеній) и вовсе не наблюдались въ Юрьевѣ, Геттингенѣ и Страсбургѣ, всѣ безъ исключенія принадлежатъ къ числу весьма слабыхъ, отмѣченныхъ при томъ только измѣненнымъ профессоромъ Геккеромъ горизонтальнымъ маятникомъ системы Ребёръ-Пашвица.

Постановлено напечатать статью Г. В. Левицкаго въ Извѣстіяхъ Комиссіи.

**§ 61.**

А. Я. Орловъ сдѣлалъ докладъ „Объ изслѣдованіи сейсмограммъ періодическаго маятника“.

Въ настоящемъ докладѣ А. Я. Орловъ предлагаетъ упрощенный способъ обработки сейсмограммъ отъ тяжелыхъ горизонтальныхъ маят-

никовъ безъ затуханія. Нанесенное на прозрачной бумагѣ изображеніе собственныхъ, невозмущенныхъ колебаній періодическаго маятника накладывается на діаграмму сейсмическаго возмущенія такимъ образомъ, чтобы конецъ сейсмограммы совпалъ съ соответствующей частью кривой собственныхъ колебаній маятника. Измѣренныя черезъ равные промежутки времени разности ординатъ обѣихъ кривыхъ А. Я. Орловъ наноситъ на разграфленную бумагу и черезъ нанесенныя точки проводитъ кривую, по которой величины  $\theta_1 = \theta - \theta_0$  выражаются какъ функція времени; при помощи этихъ данныхъ онъ опредѣляетъ смѣщеніе земной коры.

Статья А. Я. Орлова будетъ напечатана въ Извѣстіяхъ Сейсмической Комиссіи.

### § 62.

Князь Б. Б. Голицынъ прочелъ докладъ „О микросейсмическихъ наблюденіяхъ по записямъ Пулковской станціи“.

Записи различныхъ маятниковъ, установленныхъ на Пулковской станціи и доведенныхъ до границы аперіодичности, подтвердили правильность дѣленія микросейсмическихъ явленій на два главные типа, причѣмъ къ первому типу можно причислить правильныя колебанія съ короткимъ періодомъ въ 4—8 с., между тѣмъ какъ микросейсмическія явленія второго типа, при меньшей правильности колебаній, обладаютъ болѣе длинными періодами, въ среднемъ около 30 секундъ.

Замѣчательнымъ свойствомъ обоихъ типовъ колебаній является то, что съ увеличеніемъ періода колебаній увеличивается вообще и соответствующая амплитуда движенія точки земной поверхности.

Путемъ сравненія микросейсмическихъ явленій перваго типа съ соответственными метеорологическими явленіями Б. Б. Голицынъ пытался установить возможную связь между тѣми и другими, но получилъ отрицательный результатъ. Хотя во многихъ случаяхъ прохожденіе сильныхъ циклоновъ по времени совпадало съ появленіемъ микросейсмическихъ колебаній, но бывали также значительныя отклоненія отъ этого правила, и случались даже явныя противорѣчія.

Напротивъ того, микросейсмическія явленія второго типа почти всегда совпадали съ періодами сильныхъ вѣтровъ; въ этомъ отношеніи Пулковскія наблюденія вполне подтвердили заключенія, сдѣланныя на основаніи наблюденій Потсдамской и другихъ станцій.

Вліяніе вѣтра на показанія сейсмографа можетъ быть двоякаго рода; съ одной стороны возможно непосредственное вліяніе воздушныхъ теченій на приборы, а съ другой стороны вѣтеръ можетъ раскачивать зданіе или, посредствомъ тренія о поверхность земли, вызывать волнообразныя движенія верхнихъ слоевъ земли. Для выясненія этого вопроса князь Б. Б. Голицынъ покрылъ маятникъ колоколомъ съ весьма разрѣженнымъ воздушнымъ давленіемъ и этимъ способомъ исключилъ, или по крайней мѣрѣ значительно ослабилъ, непосредственное вліяніе воздушныхъ струй на маятники. Результаты новаго ряда наблюденій доказали, что, несмотря на покрытіе маятника колоколомъ, число микросейсмическихъ

ческихъ колебаній перваго типа нисколько не уменьшилось; такимъ образомъ Пулковскія наблюденія подтвердили, что микросейсмическія явленія этого типа вообще не зависятъ отъ непосредственнаго вліянія вѣтра.

Число же микросейсмическихъ колебаній втораго типа, послѣ покрытія маятника колоколомъ, рѣзко уменьшилось, такъ что часть этихъ колебаній несомнѣнно была вызвана непосредственнымъ вліяніемъ движенія воздуха на маятники. Что же касается остальной части микросейсмическихъ колебаній втораго типа, отмѣченныхъ маятниками и послѣ покрытія ихъ колоколомъ, то появленіе такихъ повидимому зависитъ отъ косвеннаго вліянія вѣтра и другихъ метеорологическихъ факторовъ.

Статья князя Б. Б. Голицына будетъ напечатана въ январской книжкѣ Извѣстій Императорской Академіи Наукъ.

### § 63.

На предыдущемъ засѣданіи Комиссіи уже обсуждался вопросъ о закрытіи первоклассной сейсмической станціи въ г. Юрьевѣ, но рѣшеніе его было тогда отложено (ср. § 47 протокола засѣданія 3-го октября).

Послѣ краткаго обзора возникновенія этого вопроса Г. В. Левицкій заявилъ, что вслѣдствіе измѣнившихся обстоятельствъ онъ беретъ назадъ свое предложеніе относительно перенесенія сейсмической станціи изъ Юрьева въ г. Вильно.

А. Я. Орловъ доложилъ, что онъ готовъ принять на себя уходъ за всѣми сейсмическими инструментами въ Юрьевѣ, если Комиссіей будетъ отпущена полная сумма на содержаніе первоклассной станціи. Если же Комиссія признаетъ болѣе пѣлесообразнымъ кредитъ, который до сихъ поръ отпускался на Юрьевскую станцію, обратить на содержаніе сейсмической станціи въ Пулковѣ, то въ такомъ случаѣ А. Я. Орловъ просилъ бы Комиссію ассигновать, по крайней мѣрѣ, 400 рублей въ годъ, на продолженіе интересующихъ его наблюденій по однимъ тяжелымъ маятникамъ.

Князь Б. Б. Голицынъ заявилъ, что онъ беретъ руководить первоклассной сейсмической станціей въ Пулковѣ, но лишь съ тѣмъ условіемъ, чтобы Комиссіей отпускались необходимыя средства на вознагражденіе лицъ, приглашенныхъ имъ для ухода за сейсмографами и для обработки записей.

Секретарь Э. В. Штеллингъ возбудилъ вопросъ о томъ, имѣетъ ли Комиссія право собственною властью обратиться на содержаніе какой-либо другой станціи кредитъ, предназначенный специально для первоклассной сейсмической станціи въ Юрьевѣ; по мнѣнію большинства членовъ Комиссіи, она пользуется правомъ по своему усмотрѣнію распоряжаться всѣми кредитами, отпущенными на содержаніе ея.

Постановлено отпускать по 1400 рублей въ годъ на содержаніе первоклассной сейсмической станціи въ Пулковѣ и ассигновать 400 рублей на продолженіе сейсмическихъ наблюденій въ г. Юрьевѣ по тяжелымъ маятникамъ съ механической регистраціей.

§ 64.

Доложено отношеніе Совѣта Императорскаго Юрьевскаго Университета отъ 3-го ноября 1908 года о томъ, что физико-математическимъ факультетомъ сего Университета представителемъ его въ Постоянную Центральную Сейсмическую Комиссію избранъ астрономъ-наблюдатель А. Я. Орловъ.

Постановлено возбудить ходатайство о Высочайшемъ утвержденіи А. Я. Орлова въ званіи члена Сейсмической Комиссіи.

§ 65.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ, что Начальникъ Забайкальской желѣзной дороги возбудилъ ходатайство объ устройствѣ сейсмической станціи близъ ст. Маритуй, съ цѣлью изученія и регистраціи землетрясеній, часто повторяющихся въ предѣлахъ Кругобайкальскаго участка и оказывающихъ вредное вліяніе на искусственныя сооруженія и тоннели.

Управленіе желѣзныхъ дорогъ обратилось въ Николаевскую Главную физическую Обсерваторію съ запросомъ, не предприняты ли уже систематическія наблюденія надъ землетрясеніями въ области озера Байкала, результатами которыхъ могла бы пользоваться Забайкальская желѣзная дорога; если же указанныя наблюденія еще не производятся, то насколько представлялось бы цѣлесообразнымъ, взаимнѣе установки сейсмографа на ст. Маритуй, перевести въ распоряженіе Магнитно-Метеорологической Обсерваторіи въ г. Иркутскѣ сумму, необходимую для организаціи наблюденій надъ землетрясеніями.

Въ отвѣтъ на этотъ запросъ Главная физическая Обсерваторія сообщила, что Иркутская Обсерваторія уже снабжена сейсмографами, отмѣчающими какъ мѣстныя такъ и отдаленныя землетрясенія, и что представляется наиболѣе цѣлесообразнымъ, чтобы Управленіе Забайкальской желѣзной дороги вошло въ непосредственное сношеніе съ директоромъ Иркутской Обсерваторіи по вопросу объ изученіи землетрясеній въ предѣлахъ Кругобайкальскаго участка дороги.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 66.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ, что онъ приготовляетъ для печатанія статью „Сейсмометрическія наблюденія въ Пулковѣ, второе сообщеніе“; статья будетъ имъ закончена по полученіи нѣкоторыхъ недостающихъ свѣдѣній.

Постановлено напечатать статью князя Б. Б. Голицына въ Извѣстіяхъ Комиссіи.

§ 67.

Секретарь Э. В. Штеллингъ доложилъ, что по заказу его напечатанъ новый запасъ открытыхъ карточекъ для занесенія свѣдѣній о землетрясеніяхъ; Обсерваторіямъ въ Ташкентѣ, Тифлисѣ, Иркутскѣ и Екатеринбургѣ послано соотвѣтственное количество этихъ карточекъ для раздачи ихъ своимъ корреспондентамъ.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 68.

Доложено о полученіи сводки землетрясеній, отмѣченныхъ въ Тифлисѣ и на Кавказскихъ сейсмическихъ станціяхъ втеченіе іюня и іюля мѣсяцевъ 1908 года.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 69.

Доложено письмо директора Французскаго Центрального Метеорологическаго Бюро А. Angot съ извѣщеніемъ, что Метеорологическому Бюро поручена организація сейсмическихъ наблюденій во Франціи, съ главною сейсмическою станціею въ Parc Saint-Maur близъ Парижа. Директоръ А. Angot проситъ Сейсмическую Комиссію оказать ему содѣйствіе доставленіемъ изданій ея.

Постановлено послать въ бібліотеку Центрального Метеорологическаго Бюро въ Парижѣ вышедшіе до сихъ поръ выпуски Извѣстій и на будущее время высылать туда какъ Извѣстія такъ и Бюллетень Комиссіи въ обмѣнъ на изданія Сейсмическаго Отдѣленія при Метеорологическомъ Бюро.



## Объ изслѣдованіи сейсмограммъ періодическаго маятника.

А. Я. Орловъ.

Два года тому назадъ я имѣлъ честь докладывать Сейсмической Комиссіи, что было бы очень важно произвести изслѣдованіе сейсмограммъ, полученныхъ съ тяжелымъ горизонтальнымъ маятникомъ безъ увеличивающаго рычага, съ хорошимъ регистрирнымъ аппаратомъ и безъ затуханія. Не имѣя въ то время желаемыхъ сейсмограммъ, я произвелъ<sup>1)</sup> тогда изслѣдованіе одного землетрясенія, записаннаго легкимъ маятникомъ съ оптической регистраціей. Этотъ маятникъ удовлетворялъ только одному изъ перечисленныхъ только что условій—онъ былъ періодическимъ. Не смотря на плохой регистрирный аппаратъ, мнѣ удалось тогда изслѣдовать всю сейсмограмму отъ начала до конца. Правда, мнѣ пришлось потратить на это много труда, пришлось сдѣлать много числовыхъ и аналитическихъ выкладокъ, но за то я пришелъ къ тому, какъ мнѣ кажется, несомнѣнному выводу, что колебаніе почвы совершается по тому же самому закону, какъ и колебаніе маятника, т.-е. смѣщеніе частицы земной коры слѣдуетъ закону, выражаемому формулой, состоящей изъ суммъ членовъ такого вида:

$$e^{-k_1 t} (a \cos \mu_1 t + b \sin \mu_1 t),$$

гдѣ  $k_1$ ,  $\mu$ ,  $a$  и  $b$  суть постоянныя величины.

Собственное движеніе маятника выражалось формулой

$$\theta_0 = e^{-kt} (A \cos \mu t + B \sin \mu t), \quad (1)$$

гдѣ  $k$ ,  $\mu$ ,  $A$  и  $B$  опять суть постоянныя.

---

<sup>1)</sup> Извѣстія Русск. Астр. Общества № 7 Выпускъ XII 1906.

Въ настоящее время Гр. Вас. Левицкій установилъ въ Юрьевѣ маятникъ, который удовлетворяетъ уже всѣмъ моимъ desiderat'a. Правда, увеличивающій рычагъ у маятника остался, но масса маятника доведена до такихъ размѣровъ, что сила тренія пера о бумагу не оказываетъ уже большаго вліянія; маятникъ довольно долго совершаетъ свои затухающія колебанія, и его движеніе, дѣйствительно, выражается уравненіемъ (1). Этотъ маятникъ снабженъ новымъ регистрируемымъ аппаратомъ, о которомъ я также докладывалъ Сейсмической Комиссіи. Гр. Вас. Левицкій сдѣлалъ въ приборѣ Боша нѣкоторыя усовершенствованія, и теперь этотъ прекрасный приборъ не оставляетъ желать ничего лучшаго, по крайней мѣрѣ, для цѣлей моихъ изслѣдованій.

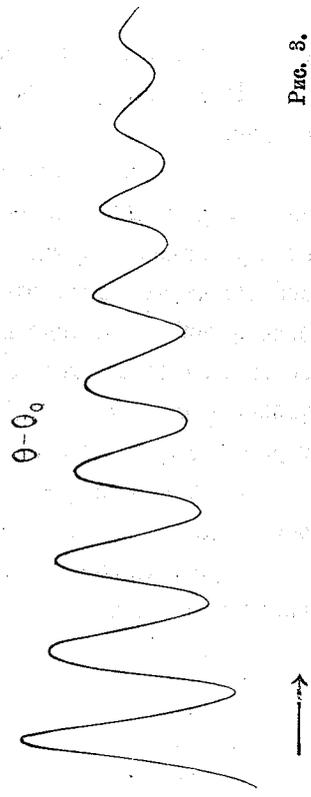
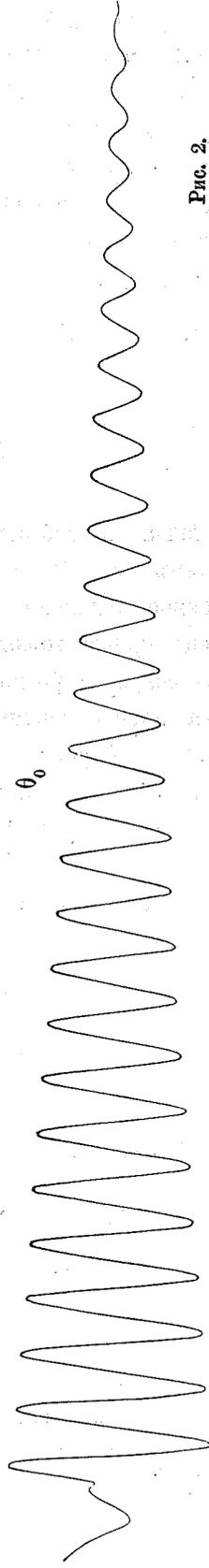
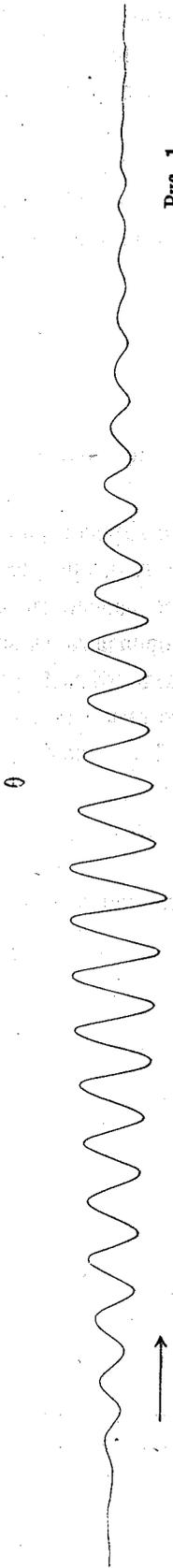
Тяжелый маятникъ съ механической регистраціей не даетъ такихъ подробностей, какія можно видѣть на сейсмограммахъ при оптической регистраціи; но это обстоятельство я считаю скорѣе достоинствомъ, чѣмъ недостаткомъ. При тѣхъ еще очень малыхъ знаніяхъ относительно движенія почвы, которыя мы имѣемъ въ настоящее время, намъ необходимо выяснить прежде всего главныя черты явленія, подмѣтить основные законы колебаній почвы. Для этой цѣли маятникъ съ механической регистраціей можетъ принести большую пользу. Запись землетрясенія будетъ еще проще, если у маятника нѣтъ затуханія, которое, вводя новую силу, дѣйствующую на маятникъ, только усложняетъ дѣло.

Выгодныя свойства новаго Юрьевского тяжелаго маятника позволяютъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ произвести изслѣдованіе всей сейсмограммы очень легко и просто. Пользуясь тѣмъ обстоятельствомъ, что колебанія почвы прекращаются раньше, чѣмъ колебанія самаго маятника и что, такимъ образомъ, періодическій маятникъ въ концѣ записи землетрясенія имѣетъ только невозмущенное движеніе, мы можемъ легко выдѣлить это движеніе изъ записи землетрясенія. Для этого нужно срисовать на прозрачной бумагѣ имѣющееся на каждой Юрьевской сейсмограммѣ собственное движеніе маятника и наложить рисунокъ на записи землетрясенія такъ, чтобы конецъ послѣдней совпадалъ съ концомъ зарисованной нами кривой. Когда это сдѣлано, то нужно взять разность ординатъ двухъ кривыхъ. Пусть  $\theta$  есть отклоненіе маятника во время землетрясенія и  $\theta_0$  ордината зарисованной нами кривой. Очевидно, что всегда мы можемъ положить:

$$\theta = \theta_0 + \theta_1$$

гдѣ  $\theta_1$  есть нѣкоторая функція времени, опредѣляемая по формулѣ

$$\theta_1 = \theta - \theta_0$$



Для численнаго опредѣленія  $\theta_1$  мы беремъ черезъ равные промежутки времени разности ординатъ наложенныхъ другъ на друга кривыхъ землетрясенія и собственнаго движенія маятника. Полученныя разности наносимъ на разграфленную бумагу; при этомъ оказывается, что проведенная черезъ нанесенныя точки кривая имѣетъ иногда очень простое аналитическое выраженіе; въ этомъ случаѣ задачу можно считать рѣшенной, такъ какъ, если  $\theta_1$  мы можемъ выразить функцией времени, то смѣщеніе земной коры  $\eta$  опредѣлится на основаніи уравненія

$$\frac{d^2 \eta_0}{dt^2} = \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} + 2k \frac{d\theta_1}{dt} + n^2 \theta_1$$

гдѣ  $\eta_0$  есть величина, пропорціональная  $\eta$ .

Изложенный способъ примѣнимъ къ сейсмограммѣ, изображенной на рис. 1.

Собственное движеніе маятника въ день землетрясенія зарегистрировано на рис. 2. Если мы поступимъ, какъ было объяснено; т.-е. срисуемъ на прозрачную бумагу собственное движеніе маятника и наложимъ на сейсмограмму такъ, чтобъ конецъ кривой землетрясенія совпадалъ съ зарисованной нами кривой, затѣмъ возьмемъ разности ординатъ обѣихъ кривыхъ и нанесемъ эти разности на разграфленную бумагу, то окажется, что разность  $\theta_1 = \theta - \theta_0$  дѣйствительно изображается формулой затухающаго гармоническаго колебанія. Эти разности изображены на рис. 3.

Значенія разности  $\theta_1 = \theta - \theta_0$  опредѣлялись мною черезъ каждыя 4 секунды времени<sup>1)</sup>.

Произведенное изслѣдованіе подтверждаетъ то, что было найдено нами раньше съ сейсмограммами отъ легкаго маятника.



<sup>1)</sup> 1<sup>mm</sup> по оси абсциссъ соотвѣтствуетъ на сейсмограммахъ четыремъ секундамъ времени. На прилагаемыхъ рисункахъ записи нашего маятника нѣсколько искажены, но характеръ ихъ переданъ вполне правильно.

# Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa.

Zweite Mitteilung.

VON FÜRST B. GALITZIN.

## Einleitung.

In meinem früheren Aufsatz «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa<sup>1)</sup>» habe ich die ersten an dieser seismischen Station ausgeführten Beobachtungen beschrieben. Dieselben verfolgten einen ganz besonderen Zweck und haben eine bestimmte Antwort auf die gestellten Fragen ergeben.

Es erwies sich nämlich, erstens, als ganz zweckmässig eine sehr starke Dämpfung, sogar bis zur Grenze der Aperiodizität einzuführen<sup>2)</sup>. Zweitens hat sich die elektromagnetische Registriermethode vollkommen bewährt, so dass sie zu ganz richtigen Resultaten führte.

Diese zwei Hauptergebnisse habe ich nun bei der zweiten Reihe von seismometrischen Beobachtungen in Pulkowa zugrunde gelegt und dementsprechend nur fast aperiodische Instrumente verwendet, wobei ich mich der galvanometrischen Registriermethode bedient habe, da dieselbe manche sehr bedeutenden Vorteile gegen die direkte optische Registrierung und um so mehr gegen die mechanische aufweist. Alle diese Vorteile sind in der Einleitung zu meinem Aufsatz «Die elektromagnetische Registriermethode»<sup>3)</sup> erwähnt worden, deshalb brauche ich an dieser Stelle auf diese Fragen nicht nochmals zurückzukommen.

Diese neuen Untersuchungen haben sich den früheren gegenüber insofern bedeutend vereinfacht, als es sich als vollständig möglich erwies, alle Elektro-

---

<sup>1)</sup> Siehe «Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente». T. III. Livraison 1.

<sup>2)</sup> Es wurde damals die elektromagnetische Dämpfung verwendet.

<sup>3)</sup> Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III. Livr. 1.

magnete, sowohl für die Dämpfung, als auch für die galvanometrische Registrierung, durch kleine permanente Magnete zu ersetzen. Die Einstellung der Apparate gewann dabei sehr viel an Einfachheit und Bequemlichkeit und die Variierung der Stärke der Dämpfung bis zur Grenze der Aperiodizität liess sich mit aller Leichtigkeit erzielen.

In dieser zweiten Mitteilung sollen nun diese weiteren in Pulkowa ausgeführten Beobachtungen beschrieben werden.

Die zweite Beobachtungsreihe begann am 28. November 1907 und endigte am 17. Mai 1908; sie hat also fast ein halbes Jahr gedauert.

Das gestellte Problem bestand darin, die Aufzeichnungen dreier ähnlich aufgestellter, fast aperiodischer Horizontalpendel verschiedener Konstruktion und von verschiedener Empfindlichkeit mit einander zu vergleichen, um zu sehen, wie weit die erhaltenen Seismogramme einen parallelen Verlauf aufweisen und wie gut die aus ihnen abgeleiteten Elemente der harmonischen Bodenbewegungen (Periode  $T_p$  und Amplitude  $x_m$ ) mit einander übereinstimmen.

Eines von diesen Pendeln, ich werde dasselbe Pendel I nennen, war ein schweres Zöllner'sches ohne Stützpunkt.

Das zweite Pendel (Pendel II) war auch eine Art Zöllner'schen Pendels, welches nach meinen Angaben vom Herrn Mechaniker Masing in der mechanischen Werkstatt des physikalischen Laboratoriums der Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg konstruiert wurde. Dasselbe hatte einen in der Nähe der Drehungsaxe sich befindenden Stützpunkt, um die schädlichen sekundären Schwingungen zu vermeiden, wie ich es in meiner früheren Abhandlung «Über eine Abänderung des Zöllner'schen Horizontalpendels»<sup>1)</sup> beschrieben habe. Es war eben dasselbe Pendel, welches während der Tagung der internationalen seismologischen Assoziation im Haag im September 1907 vorgeführt wurde.

Das dritte Pendel (Pendel III) war ein gewöhnliches kleines Horizontalpendel nach Rebeur-Paschwitz mit zwei Stützpunkten. Dasselbe wurde vom Mechaniker Fechner in Potsdam angefertigt.

Alle drei Pendel wurden mit einer *magnetischen* Dämpfung und mit besonderen Spulensystemen zur galvanometrischen Registrierung, wiederum unter Anwendung permanenter Magnete, versehen.

Diese drei Pendel wurden auf besonderen Pfeilern aufgestellt und zwar so, dass alle drei die  $N - S$  Komponente der Bodenbewegungen registrierten.

Die zweite Aufgabe war die, die auf diese Weise mit fast aperiodischen Horizontalpendeln unter Anwendung der galvanometrischen Registrierme-

---

<sup>1)</sup> Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. II. Livr. 3.

thode erhaltenen Resultate mit den entsprechenden Zahlendaten aus Göttingen zu vergleichen, um zu sehen, inwieweit sich die sonst so übersichtliche, empfindliche und bequeme galvanometrische Registriermethode zur Bestimmung der Momente des Auftretens der ersten und zweiten Vorläufer, langer Wellen etc. eignet. Aus der Zusammenstellung der in Pulkowa und Göttingen erhaltenen Daten liessen sich auch manche anderen interessanten Schlüsse ziehen.

Das waren die zwei Hauptaufgaben, welche ich mir bei dieser zweiten Beobachtungsreihe gestellt habe.

Bei Gelegenheit dieser Beobachtungen wurde in dem Zeitraum vom 28. November bis zum 17. Mai eine ganze Reihe von Erdbeben registriert, von welchen die grösseren verarbeitet wurden. Es mögen dieselben ebenfalls beschrieben werden.

Weiter soll den beobachteten mikroseismischen Bewegungen ebenfalls ein besonderer Paragraph gewidmet werden.

## § 1.

### Die Aufstellung der Instrumente.

Die Beschreibung des Beobachtungsraumes, der angewandten Registrierapparate, Lichtquellen, Galvanometer (№№ I, II und III) und andere sonstige Einzelheiten der Aufstellung sind in meinen früheren Abhandlungen «Die elektromagnetische Registriermethode» und «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa»<sup>1)</sup> gegeben worden; infolgedessen werde ich an dieser Stelle auf diese Fragen nicht weiter eingehen.

Die drei erwähnten Horizontalpendel standen auf besonderen tief in die Erde gehenden Pfeilern; die Pendelarme hatten die *E—W* Richtung, somit waren sie zur Registrierung der *N—S* Komponente der Bodenbewegung eingerichtet.

Die Bewegung der Pendel wurde nur auf galvanometrischem Wege registriert und zwar stand das Pendel № I in Verbindung mit dem Galvanometer № II, Pendel № II mit dem Galvanometer № I, Pendel № III mit dem Galvanometer № III<sup>2)</sup>. Es wurde dabei nur der zweite Stromkreis der Galvanometer verwendet; der erste Stromkreis blieb fortwährend offen.

Diese drei Galvanometer standen in dem nebenbefindlichen, etwas trockeneren Raum, die Galvanometer №№ II und III auf der früheren starken und das Galvanometer № I auf einer neuen, in die Wand eingemauerten Konsole. Auf diese Weise brauchte man den Raum, wo die Pendel aufgestellt waren, nicht mehr zu betreten. Man ging nur ganz ausnahmsweise hinein, um die Richtigkeit der Aufstellung der Pendel von Zeit zur Zeit zu kontrollieren.

---

<sup>1)</sup> Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III. Livr. 1.

<sup>2)</sup> Wegen der Einzelheiten bezüglich dieser Galvanometer siehe meinen Aufsatz «Die elektromagnetische Registriermethode». §§ 1, 2, 3 und 4. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III. Liv. 1.

Die Art und Weise der Registrierung war dieselbe, wie bei den ersten Beobachtungen in Pulkowa, d. h. mit Hilfe von kleinen, in speziellen Blechkasten eingeschlossenen Nernstlampen. Die Galvanometer №№ II und III zeichneten auf dem grossen Registrierapparat (Länge 1 Minute etwa  $31^m/m$ , Abstand der benachbarten Linien  $13^m/m$ ) und das Galvanometer № I auf dem kleineren Zimmermann'schen Apparat (Länge einer Minute etwa  $27-28^m/m$ , Abstand der benachbarten Linien  $5^m/m$ ). Für die beiden Galvanometer №№ II und III diente eine und dieselbe Nernstlampe; die beiden dazu nötigen totalreflektierenden Prismen wurden aber durch neue, mit längeren Katheten ( $96^m/m$  statt  $40^m/m$ ) ersetzt, damit die grösseren Ausschläge an den Galvanometern auf der Registriertrommel nicht verloren gingen.

Bei der kleinen Registriertrommel, wo das Galvanometer № I allein zu registrieren hatte, wurde kein Prisma benutzt, sondern die von einer zweiten Nernstlampe stammenden und vom Galvanometerspiegel reflektierten Strahlen wurden direkt und zwar senkrecht (bei ruhender Galvanometerspule) auf die Oberfläche der Registriertrommel geworfen. Das Linsensystem war das früher beschriebene. Die Lichtpunkte ergaben sich dabei als sehr hell und scharf begrenzt, sodass man auch bei starken Ausschlägen sehr schöne und stark ausgebildete Kurven bekam.

Das Pendel № I wurde von einem grossen Glasgehäuse mit eisernen Rippen bedeckt. Der Deckel desselben besass in der Mitte ein Loch, durch welches die zum Galvanometer № II führenden Drähte hindurchgingen. Der Abschluss von der äusseren Luft war kein hermetischer, sodass gewisse Luftströmungen um das Pendel wohl zustande kommen konnten. Dieselben haben sich auch in der Tat gekennzeichnet, da sich bei diesem Pendel gewisse Schwankungen, auch bei abgeschlossenem Beobachtungsraum, zuweilen bemerkbar machten, welche bei den beiden anderen Pendeln, die viel besser abgeschlossen waren, fehlen. Die beiden Magnetenpaare standen bei diesem Pendel № I auf einem besonderen Gestell; die Entfernung ihrer Pole konnte nach Belieben variiert werden.

Das Pendel № II wurde von einem Blechzylinder mit einem Glasfenster eingeschlossen; die Magnete wurden am Pendelgestell selbst befestigt. Das Pendel № III war von einer Glasglocke bedeckt, deren unterer Rand von einem Blechring eingezäunt war. In den so erhaltenen Zwischenraum wurde Vaselineöl gegossen. Dieses Pendel war so eingerichtet, dass die Luft aus der Glocke ausgepumpt werden konnte. Ich habe jedoch bei dieser Beobachtungsreihe mich dieser Vorrichtung nicht bedient; es wurde das Pendel nur ganz hermetisch von der äusseren Luft abgeschlossen, sodass die äusseren Luftschwankungen keinen direkten Einfluss auf die Pendelbewegung ausüben konnten. Die beiden entsprechenden Magnetenpaare hatten etwas kleinere

Dimensionen als bei den Pendeln №№ I und II und standen ebenfalls auf einem besonderen kleinen Gestell.

Bei allen drei Pendeln standen Gefässe mit Chlorcalcium.

Für die galvanometrische Registrierung wurde bei jedem Pendel eine vierfache Induktionsspule verwendet; es wurden denselben die möglichst günstigen Dimensionen gegeben<sup>1)</sup>. Der gesamte Widerstand derselben, nebst dem der Zuleitungsdrähte zu den Galvanometern wurde so ausgewählt, dass die Galvanometer genau an der Grenze der Aperiodizität sich befanden und zwar bei einer mittleren Temperatur des Beobachtungsraumes von  $7,5^{\circ} C$ . Alle Verbindungsdrähte wurden selbstverständlich induktionsfrei gewickelt.

Die Pendelkonstanten wurden vor Beginn der Beobachtungen durch spezielle Versuche ermittelt und dann noch während der Beobachtungen kontrolliert. Es wurde auch darauf besonderes Gewicht gelegt, dass die Galvanometer keine schädliche Rückwirkung auf die Pendelbewegung ausüben konnten. Bei den Pendeln №№ I und II, wo die Masse ziemlich gross war, war eine solche Rückwirkung, wie speziell zu dem Zweck vorgenommene Versuche es gezeigt haben, nicht zu befürchten. Anders stand es bei dem Pendel № III, wo die Gesamtmasse des beweglichen Teils desselben nur 64,1 Gr. betrug. Man konnte also bei diesem keinen sehr grossen Übertragungsfaktor  $k$  nehmen und musste sich mit  $k$  etwa gleich 18,1 begnügen.

Alle drei Pendel habe ich immer möglichst genau auf die Grenze der Aperiodizität einzustellen versucht.

Dies ist bekanntlich eine ziemlich schwierige Aufgabe. Dazu muss man zuerst den Wert der Dämpfungskonstante  $\epsilon$  bei verschiedenen Entfernungen der Pole der dämpfenden Magnete bestimmen und dann interpolatorisch diejenige Poldistanz aufsuchen, bei welcher die Bedingung  $\epsilon = n$  zutrifft. Zu diesem Zweck liess ich früher die Pendel die Kurve ihrer Eigenbewegung aufschreiben, maass dann einige aequidistante Ordinaten und leitete aus diesen den Wert von  $\epsilon$  ab. Später habe ich zur Einstellung der Pendel an die Grenze der Aperiodizität, zugleich aber auch zur Bestimmung des Wertes des Übertragungsfaktors  $k$  mich einer anderen viel bequemeren Methode, die in meiner Abhandlung «Über die Bestimmung der Konstanten von stark gedämpften Horizontalpendeln»<sup>2)</sup> beschrieben ist, bedient.

Bei den ersten Beobachtungen in Pulkowa habe ich bei der Auswertung der Seismogramme immer vorausgesetzt, dass die entsprechenden Instrumente sich genau an der Grenze der Aperiodizität befanden und die verein-

<sup>1)</sup> Siehe meinen Aufsatz «Die elektromagnetische Registriermethode». L. c. § 7.

<sup>2)</sup> Bulletin de l'Académie Impériale des sciences de St.-Petersbourg № 9 (1908).

fachten Formeln angewandt. Bei dieser Beobachtungsreihe habe ich jedoch die nötige Korrektion für die etwaige nicht vollkommene Aperiodizität der Pendel immer in Betracht gezogen. Wie dies zu erzielen ist, werden wir im nächsten Paragraphen sehen.

Zum Schluss sei bemerkt, dass ich für die photographische Registrierung der Galvanometerbewegungen das Stolze'sche Papier vollkommen aufgegeben habe, da ich eine Firma in St.-Petersburg gefunden habe (Warnercke & Co., Vosnesenski Prospekt № 31), die mir das gewünschte Papier von noch grösserer Empfindlichkeit als das Stolze'sche zum halben Preis lieferte.

Die Zeitmarkierung auf beiden Registriertrommeln erfolgte, wie früher, durch Anziehung eines Schirmes mittelst eines kleinen Elektromagneten, durch dessen Windungen jede Minute von einer speziellen guten Kontaktuhr ein Strom geschickt wurde. Der Stromschluss dauerte bei dieser Uhr nur etwas zu lange, so dass die Strahlen von den Galvanometern №№ I und III für jede Minute auf 4 Sekunden unterbrochen blieben. Diese Uhr wurde mit der Muston'schen Normaluhr der Sternwarte täglich verglichen.

§ 2.

Die Formeln.

Es sei nun eine harmonische Bodenbewegung mit der totalen Periode  $T_p$  und der Amplitude  $x_m$  vorausgesetzt, etwa nach dem Gesetz

$$x = x_m \sin (pt + \delta) \dots \dots \dots (1)$$

Hierin bedeuten

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

und  $\delta$  eine gewisse Konstante, welche keine weitere praktische Bedeutung hat.

Die Differentialgleichungen der Bewegung eines Horizontalpendels und des mit ihm verbundenen aperiodischen Galvanometers<sup>1)</sup> lauten bekanntlich, wie folgt:

$$\theta'' + 2\epsilon\theta' + n^2\theta + \frac{1}{l}x'' = 0 \dots \dots \dots (3)$$

$$\varphi'' + 2n_1\varphi' + n_1^2\varphi + k\theta' = 0 \dots \dots \dots (4)$$

<sup>1)</sup> Ich habe früher gezeigt (siehe «Die elektromagnetische Registriermethode». L. c. §§ 2 und 3), dass es sehr einfach ist, ein Galvanometer auf die Grenze der Aperiodizität einzustellen.

Hierin bedeuten  $\theta$  und  $\varphi$  resp. die Winkelausschläge am Pendel und Galvanometer,  $l$  — die reduzierte Pendellänge,  $\varepsilon$  die Dämpfungskonstante des Pendels und  $k$  den Übertragungsfaktor.

Sind nun  $T$  und  $T_1$  resp. die Eigenperioden des Pendels und des Galvanometers ohne Dämpfung, dann wird

$$n = \frac{2\pi}{T} \dots \dots \dots (5)$$

und

$$n_1 = \frac{2\pi}{T_1} \dots \dots \dots (6)$$

Bezeichnen wir weiter das Dämpfungsverhältnis des Pendels, d. h. das Verhältnis zweier nach einander folgender Ausschläge des Pendels (unabhängig vom Vorzeichen derselben) durch  $v$ , also

$$v = \frac{\theta_k}{\theta_{k+1}} \dots \dots \dots (7)$$

und durch  $\Lambda$  das gewöhnliche logarithmische Dekrement, also

$$\Lambda = \text{Log}_{10} v^1), \dots \dots \dots (8)$$

so wird, wenn  $T'$  die Eigenperiode des Pendels beim Vorhandensein der Dämpfung bedeutet,

$$T' = \frac{2\pi}{\sqrt{n^2 - \varepsilon^2}} = \frac{2\pi}{n} \sqrt{1 + \left(\frac{2}{\text{Log } e}\right)^2 \frac{1}{4\pi^2} \Lambda^2} = \frac{2\pi}{n} \sqrt{1 + 0,53720 \Lambda^2} \dots (9)$$

Wollen wir nun zur Bequemlichkeit folgende Bezeichnungen einführen:

$$h = \frac{\varepsilon}{n} \dots \dots \dots (10)$$

$$\mu^2 = 1 - h^2 \dots \dots \dots (11)$$

$$m = \frac{h}{\sqrt{1 - h^2}}, \dots \dots \dots (12)$$

1) Zur Bestimmung von  $\Lambda$  kann man sich sehr bequem folgender Formel bedienen

$$\Lambda = \frac{\text{Log}(\theta_1 + \theta_2) - \text{Log}(\theta_{i-1} + \theta_i)}{i - 2}$$

Es brauchen nur zwei Ausschläge am Anfang, und zwei am Ende der Schwingungsbeobachtungen bestimmt zu werden. Statt der Werte von  $\theta$  kann man die ihnen proportionalen Werte an der Skala, wenn man sich zur Beobachtung von  $\theta$  eines Fernrohres mit Skala bedient, einsetzen. Indem man die Summe der Ausschläge bildet (unabhängig vom Vorzeichen derselben), eliminiert man die etwaige unrichtige Lage des Nullpunktes. Für grössere Ausschläge muss die bekannte Korrektur angebracht werden.

dann wird

$$\mu^2 = \frac{1}{1+m^2} \dots \dots \dots (13)$$

Aus der Theorie des Horizontalpendels ergibt sich bekanntlich<sup>1)</sup>

$$\frac{\theta_k}{\theta_{k+1}} = e^{\frac{\varepsilon T'}{2}}, \dots \dots \dots (14)$$

also

$$\varepsilon = \frac{2}{\text{Log } e} \cdot \frac{\Lambda}{T'} = 4,6052 \frac{1}{T'} \cdot \frac{\Lambda}{\sqrt{1+0,53720 \Lambda^2}} \dots \dots \dots (15)$$

Aus Gleichung (14) ergibt sich auf Grund der Beziehungen (7), (9), (10) und (12)

$$v = e^{\pi m}, \dots \dots \dots (16)$$

oder

$$\text{Log}_{10} v = (\pi \text{Log}_{10} e) \cdot m = 1,3644 \cdot m.$$

Dieses sind die Grundformeln für das Horizontalpendel.

Für die Grenze der Aperiodizität wird

$$v = \infty$$

$$m = \infty$$

$$h = 1$$

$$\mu^2 = 0.$$

Für das Dämpfungsverhältnis z. B.  $v = 5$ , wird

$$m = 0,512$$

$$h = 0,456$$

$$\mu^2 = 0,792$$

Nach diesen Erläuterungen kehren wir zu der Grundgleichung (3) für das Horizontalpendel zurück. Bei Zugrundelegung der Beziehung (1), ergibt sich aus derselben, für nicht zu kleine Werte von  $t$ , wo man also den Einfluss der Anfangsbedingungen der Bewegung vernachlässigen kann, folgender bekannter Ausdruck für  $\theta$ .

Es wird nämlich:

$$\theta = \frac{a_m}{t} \cdot \frac{p^2}{\sqrt{R}} \sin (pt + \delta - \Delta) \dots \dots \dots (17)$$

---

<sup>1)</sup> Siehe «Die elektromagnetische Registriermethode». (I. c.) § 1 Formeln (24) und (25).

Hierin bedeuten:

$$R = (n^2 - p^2)^2 + 4\varepsilon^2 p^2$$

und

$$\text{tang } \Delta = \frac{2\varepsilon p}{(n^2 - p^2)}$$

Führen wir noch folgende Bezeichnungen ein:

$$u = \frac{T_p}{T} \dots \dots \dots (18)$$

und

$$f(u) = \left[ \frac{2u}{1+u^2} \right]^2 \dots \dots \dots (19)$$

so erhält man auf Grund der früheren Bezeichnungen

$$\theta = \frac{x_m}{l} \cdot \frac{1}{(1+u^2)\sqrt{1-\mu^2 f(u)}} \cdot \sin \left\{ p \left( t - \frac{\Delta}{p} \right) + \delta \right\} \dots \dots \dots (20)$$

Setzen wir nun voraus, dass die Pendelbewegung direkt registriert wird, etwa mechanisch oder optisch, und bedeute  $y$  den dem Winkel  $\theta$  entsprechenden Ausschlag auf der Registriertrommel, so können wir setzen

$$y = L \cdot \theta,$$

wo  $L$  eine gewisse Länge bedeutet.

Bei der mechanischen Registrierung ist  $L$  die Entfernung des Schreibstiftes von der Drehungsaxe des Pendels und bei der optischen die doppelte Entfernung des Spiegels von der Oberfläche der Registriertrommel für einen auf dieselbe normal einfallenden Strahl.

Bezeichnet  $y_m$  den maximalen Wert von  $y$ , dann ergibt sich aus der Gleichung (20)

$$x_m = \frac{l}{L} (1+u^2) \sqrt{1-\mu^2 f(u)} \cdot y_m \dots \dots \dots (21)$$

Ist die Grenzbedingung der Aperiodizität schon überschritten, also  $\varepsilon > n$ , und bedeute

$$v^2 = h^2 - 1,$$

so muss in der vorigen Gleichung —  $\mu^2$  einfach durch  $v^2$  ersetzt werden.

Das Verhältnis

$$V = \frac{L}{l} \dots \dots \dots (22)$$

ist das Vergrößerungsverhältnis für unendlich kleine Perioden  $T_p$ .

Aus der Formel (20) folgt weiter, dass der der maximalen Verrückung der Bodenoberfläche  $x_m$  entsprechende Maximalausschlag am Horizontalpendel  $y_m$  immer  $\tau$  Sekunden später erfolgt, wo

$$\tau = \frac{\Delta}{p} = \frac{T_p}{2\pi} \arctg \left\{ h \cdot \frac{2u}{u^2 - 1} \right\}^1) \dots \dots \dots (23)$$

Steht das Horizontalpendel an der Grenze der Aperiodizität, ist also  $h = 1$ , so haben die Werte für das Verhältnis  $\frac{\tau}{T_p}$  folgende Grösse:

$u$	$\frac{\tau}{T_p}$
0	$\frac{1}{2}$
1	$\frac{1}{4}$
$\infty$	0

Hierbei muss man auf das Vorzeichen von  $\theta$  achten.

Sei z. B. das Horizontalpendel für die Registrierung der  $N - S$  Komponente eingerichtet und wollen wir der Verschiebung  $x$  nach  $N$  das Vorzeichen  $+$  beilegen, so muss dem Winkelausschlag des Pendels  $\theta$  nach  $N$  ebenfalls das Vorzeichen  $+$  gegeben werden.

In der Tat ergibt sich aus der Gleichung (3), dass bei einer plötzlichen Verschiebung der Unterlage nach  $N$   $\theta$  negativ wird; in diesem Fall verschiebt sich aber der Pendelarm nach  $S$ .

Wenden wir uns nun der Gleichung der Galvanometerbewegung (4) zu.

Setzt man den Wert von  $\theta$  aus der Formel (20) in die Gleichung (4) ein, so ergibt sich, wiederum für nicht zu kleine Werte von  $t$ , bei Vernachlässigung der Glieder, welche von den Anfangsbedingungen abhängen, folgender Ausdruck für  $\varphi$ :

$$\varphi = k \frac{x_m}{l} \cdot \frac{T_p}{2\pi} \cdot \frac{1}{(1 + u_1^2)(1 + u^2)\sqrt{1 - \mu^2 f(u)}} \cdot \sin \{ p(t - \tau - \tau_1) + \delta \} \dots (24)$$

Hierin bedeuten:

$$u_1 = \frac{n_1}{p} = \frac{T_p}{T_1}, \dots \dots \dots (25)$$

$$\tau_1 = \frac{\Delta_1 + \frac{\pi}{2}}{p}$$

---

1)  $\tau$  muss immer positiv sein.

und

$$\operatorname{tg} \Delta_1 = \frac{2u_1}{u_1^2 - 1} \dots \dots \dots (26)$$

Es ist also das Verhältnis

$$\frac{\tau_1}{T_p} = \frac{\Delta_1}{2\pi} + \frac{1}{4},$$

oder

$$\frac{\tau_1}{T_p} = \frac{\operatorname{arctg} \frac{2u_1}{u_1^2 - 1}}{2\pi} + \frac{1}{4} \dots \dots \dots (27)$$

Wir sehen also, dass die Periode der Galvanometerbewegung mit der Periode  $T_p$  der Bodenbewegung übereinstimmt.

Es tritt aber in bezug auf die entsprechende Pendelbewegung noch eine weitere Zeitverschiebung  $\tau_1$  ein, sodass die gesamte Zeitverspätung  $\tau + \tau_1$  beträgt.

Es lassen sich nach der Formel (27) folgende zusammengehörige Werte von  $u_1$  und  $\frac{\tau_1}{T_p}$  <sup>1)</sup> zusammenstellen.

Tabelle I.

$u_1$	$\frac{\tau_1}{T_p}$
0	0,750
0,1	0,718
0,2	0,687
0,3	0,657
0,4	0,629
0,5	0,602
0,6	0,578
0,7	0,556
0,8	0,535
0,9	0,517
1,0	0,500
1,1	0,485

---

<sup>1)</sup>  $\tau_1$  muss ebenfalls immer positiv sein.

$u_1$	$\frac{\pi_1}{T_p}$
1,2	0,471
1,3	0,459
1,4	0,447
1,5	0,437
1,6	0,428
1,7	0,419
1,8	0,411
1,9	0,404
2,0	0,398
2,1	0,391
2,2	0,386
2,3	0,381
2,4	0,376
2,5	0,371
2,6	0,367
2,7	0,363
2,8	0,359
2,9	0,356
3,0	0,352
3,1	0,349
3,2	0,346
3,3	0,344
3,4	0,341
3,5	0,339
3,6	0,336
3,7	0,334
3,8	0,332
3,9	0,330
4,0	0,328

Bedeute  $y_1$  den der Verschiebung  $x_m$  entsprechenden maximalen Ausschlag des Lichtpunktes auf der Registriertrommel des Galvanometers und  $A_1$  die Entfernung der Trommeloberfläche von dem Galvanometerspiegel in der Richtung des normal einfallenden Strahles<sup>1)</sup>, und setzen wir

$$C_1 = \frac{\pi}{k} \cdot \frac{l}{A_1}, \dots \dots \dots (28)$$

so bekommt man aus der Gleichung (24)

$$x_m = C_1 (1 + u_1^2) (1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)} \cdot \frac{y_1}{T_p} \dots \dots \dots (29)$$

Nach dieser Grundgleichung sind nun die weiter zu beschreibenden Beobachtungen berechnet worden.

Bei der Auswertung der Seismogramme muss man ebenfalls wegen des Vorzeichens von  $y_1$  (resp.  $\varphi$ ) aufmerksam sein. Soll nun den Verschiebungen  $x_m$  nach  $N$  das Vorzeichen  $+$  beigelegt werden, so wird  $y_1$  auf der Seite der Seismogramme positiv sein, welche einer plötzlichen Verschiebung des entsprechenden Pendels nach  $S$  entspricht. Aus der Gleichung (4) sieht man in der Tat, dass für eine plötzliche positive Verschiebung  $\theta$  ( $k$  als positiv angenommen)  $y$  am Anfang negativ wird.

Die entsprechende optische Hebellänge bei der Galvanometerbewegung, d. h. diejenige Entfernung  $\mathfrak{A}$ , in welcher bei der direkten optischen Registrierung der Pendelbewegung die entsprechende Registriertrommel aufgestellt werden müsste, um dieselbe Empfindlichkeit zu erzielen, wie bei der galvanometrischen Registrierung, wird bekanntlich durch die folgende Gleichung gegeben<sup>2)</sup>:

$$\mathfrak{A} = k A_1 \frac{p}{n_1^2 + p^2},$$

oder nach den vorigen Bezeichnungen

$$\mathfrak{A} = \frac{k A_1}{2\pi} \cdot \frac{T_p}{1 + u_1^2} \dots \dots \dots (30)$$

Wenden wir uns jetzt der Frage der Einstellung der Horizontalpendel auf die Grenze der Aperiodizität ( $\varepsilon = n$ ) zu.

Die Konstante  $n$  lässt sich in sehr einfacher Weise aus der beobach-

---

1) Die kleine eventuelle Korrektion in bezug auf die Lichtbrechung in dem total reflektierenden Prisma mitberücksichtigt. Siehe «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa». L. c. § 3.

2) Siehe «Die elektromagnetische Registrieremethode». L. c. § 12. Formel (169).

teten Periode  $T'$  des Pendels und dem entsprechenden logarithmischen Dekrement  $\Lambda$  bei schwacher Dämpfung nach der Formel (9) berechnen.

Was nun die Dämpfungskonstante  $\varepsilon$  anbelangt, so hängt der Wert derselben von der Entfernung  $H$  der Pole der dämpfenden Magnete ab. Ist die Dämpfung nicht zu stark, so dass  $\Lambda$  sich noch ermitteln lässt, so kann  $\varepsilon$  nach der Formel (15) aus  $\Lambda$  und  $T'$  berechnet werden.

Diese Methode ist jedoch höchstens bis zum Wert des Dämpfungsverhältnisses  $v = 50$ , also  $h = \frac{\varepsilon}{n} = 0,780$  anwendbar. In diesem Fall ist man noch ziemlich weit von der Grenze der Aperiodizität entfernt. Man kann aber die zusammengehörigen Werte von  $\varepsilon$  und  $H$  auf ein Koordinatennetz auftragen und dann durch Extrapolation denjenigen Wert von  $H$  aufsuchen, wo gerade die Bedingung  $\varepsilon = n$  zutreffen soll. Die Extrapolation ist aber eine ziemlich weite, infolgedessen ist diese Methode auch ziemlich unsicher. Ich habe jedoch dieselbe angewandt, aber nur, um den angenäherten gesuchten Wert von  $H_{\text{lim}}$  zu bestimmen.

Um genauer die Grenze der Aperiodizität festzustellen, muss man imstande sein  $\varepsilon$  direkt in der Nähe der Bedingung  $\varepsilon = n$  und sogar für  $\varepsilon > n$  bestimmen zu können.

Zu diesem Zweck kann man sich des folgenden Verfahrens bedienen, welches ich tatsächlich bei meinen Versuchen auch verwendet habe.

Man lenke das Pendel von seiner Ruhelage ab und lasse dasselbe die Kurve seiner Eigenbewegung bei verschiedenen Poldistanzen aufschreiben. Man muss dazu eine spezielle, rasch rotierende Registriertrommel mit Sekundenmarkierung anwenden.

Man misst 4 aequidistante Ordinaten  $y_0, y_1, y_2$  und  $y_3$ , aus welchen man dann  $\varepsilon$  und wenn nötig auch  $n$  bestimmen kann.

Die dazu nötigen Formeln lassen sich in einfacher Weise ableiten.

Es müssen erstens die verschiedenen  $y$  folgender Differentialgleichung genügen:

$$y'' + 2\varepsilon y' + n^2 y = 0 \dots \dots \dots (31)$$

Sei nun  $\varepsilon < n$ , und setzen wir

$$\gamma = \sqrt{n^2 - \varepsilon^2}, \dots \dots \dots (32)$$

dann wird

$$y = e^{-\varepsilon t} [A \cos \gamma t + B \sin \gamma t] \dots \dots \dots (33)$$

$A$  und  $B$  sind zwei Integrationskonstanten.

Bedeute nun  $\tau$  die Entfernung (in Sekunden) zweier benachbarter Ordinaten und rechnen wir die Zeit von der Ordinate  $y_0$  ab, so können wir

setzen:

$$y_0 = A$$

$$y_1 = e^{-\varepsilon\tau} [A \cos \gamma\tau + B \sin \gamma\tau]$$

$$y_2 = e^{-2\varepsilon\tau} [A \cos 2\gamma\tau + B \sin 2\gamma\tau].$$

Eliminiert man hieraus  $A$  und  $B$ , so ergibt sich

$$2y_1 \cos \gamma\tau \cdot e^{\varepsilon\tau} = y_0 + y_2 e^{2\varepsilon\tau} \dots\dots\dots(34)$$

In ganz ähnlicher Weise findet man

$$2y_2 \cos \gamma\tau \cdot e^{\varepsilon\tau} = y_1 + y_3 e^{2\varepsilon\tau} \dots\dots\dots(35)$$

Setzen wir nun

$$\beta^2 = \frac{y_1^2 - y_0 y_2}{y_2^2 - y_1 y_3}, \dots\dots\dots(36)$$

dann folgt aus den Beziehungen (34) und (35)

$$\varepsilon = \frac{1}{M} \cdot \frac{1}{2\tau} \text{Log}_{10} (\beta^2)^1 \dots\dots\dots(37)$$

und

$$\cos \gamma\tau = \frac{y_0 + \beta^2 y_2}{2\beta y_1} = \frac{y_1 + \beta^2 y_3}{2\beta y_2} \dots\dots\dots(38)$$

Aus der Gleichung (37) lässt sich nun  $\varepsilon$  und aus den Gleichungen (38) mit Rücksicht auf die Beziehung (32)  $n$  ermitteln.

Setzen wir nun voraus, dass die Aperiodizitätsgrenzbedingung schon überschritten ist, also  $\varepsilon > n$ .

Dann nimmt das allgemeine Integral der Gleichung (31) folgende Form an

$$y = Ae^{-\mu_1 t} + Be^{-\mu_2 t}, \dots\dots\dots(39)$$

wo

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 &= \varepsilon + \alpha, \\ \mu_2 &= \varepsilon - \alpha \\ \alpha &= + \sqrt{\varepsilon^2 - n^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(40)$$

und

wird.

Setzen wir hierin  $\alpha = \gamma i$ , so lässt sich die Gleichung (39) auf die Gestalt der Formel (33) bringen. Dann erhält man denselben Ausdruck (37) für die Bestimmung der Dämpfungskonstante  $\varepsilon$ .

<sup>1)</sup>  $M = 0,43429$ .

Die Bestimmung von  $n$  erfolgt in folgender Weise:

Bedeute

$$a = \frac{y_0 + \beta^2 y_2}{2\beta y_1} = \frac{y_1 + \beta^2 y_3}{2\beta y_2}, \dots \dots \dots (41)$$

so wird

$$\cos \gamma\tau = \cos(\alpha i\tau) = \frac{e^{\alpha\tau} + e^{-\alpha\tau}}{2} = a,$$

also

$$\alpha = \frac{1}{M} \cdot \frac{1}{\tau} \text{Log}_{10} [a + \sqrt{a^2 - 1}] \dots \dots \dots (42)$$

Ist nun  $\alpha$  bekannt, so lässt sich aus ihm und  $\epsilon$  der gesuchte Wert von  $n$  aus der dritten der Gleichungen (40) berechnen.

Diese Methode der Bestimmung von  $\epsilon$  ist insofern bequem, als sie sich bei jedem Wert des Dämpfungsverhältnisses  $v$  und sogar für  $\epsilon > n$  anwenden lässt; zweitens stützt sie sich auf ganz strenge Formeln und gestattet einen ganz beliebigen Teil der erhaltenen Kurve zu verwenden; drittens sind die Rechnungen einfach.

Trotzdem besitzt diese Methode ganz erhebliche Mängel.

Erstens stützt sie sich auf die Kenntnis der *absoluten* Werte der Ordinate  $y$ , folglich wird jede Unsicherheit in der Lage der Nulllinie die Resultate der Rechnungen in sehr starker Weise beeinflussen.

Zweitens erfordert dieselbe eine ganz unnötige Operation der Elimination von  $\gamma$ , da freilich  $\gamma$  eine Funktion von  $n$  und  $\epsilon$  ist, wobei sich  $n$  aus Schwingungsbeobachtungen bei schwacher Dämpfung sehr genau ermitteln lässt. Eine solche Elimination beeinträchtigt sehr die Rechnungsergebnisse.

Drittens kann in einigen Fällen der Ausdruck von

$$\beta^2 = \frac{y_1^2 - y_0 y_2}{y_2^2 - y_1 y_3}$$

eine Form annehmen, die sich nicht viel von  $\frac{0}{0}$  unterscheidet. In diesem Falle wird die genaue Bestimmung von  $\beta^2$  sehr erschwert sein. Es kann dabei auch vorkommen, dass  $\beta$  imaginär wird wenn die absoluten Werte der Ordinate  $y$  nicht genügend genau bestimmt sind. In diesem Falle versagt die Methode vollständig.

Ich habe deshalb diese erste Methode zu vervollkommen versucht, indem ich eine kleine Korrektion  $\delta$  bezüglich der etwaigen unrichtigen Lage der Nulllinie, von der aus die Ordinaten gemessen wurden, eingeführt habe.

Die Einführung dieser neuen Unbekannten  $\delta$  erfordert dann die Ausmessung einer fünften Ordinate.

Wollen wir nun die direkt gemessenen Ordinaten durch  $b_0, b_1$  u. s. w. bezeichnen; dann können wir setzen

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= b_0 + \delta \\ y_1 &= b_1 + \delta \\ y_2 &= b_2 + \delta \\ y_3 &= b_3 + \delta \\ y_4 &= b_4 + \delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (43)$$

Nun wird

$$e^{2\epsilon\tau} = \frac{y_1^2 - y_0 y_2}{y_2^2 - y_1 y_3} = \frac{y_2^2 - y_1 y_3}{y_3^2 - y_2 y_4}$$

Daraus ergibt sich zur Bestimmung von  $\delta$  folgende quadratische Gleichung:

$$P\delta^2 + 2Q\delta + R = 0, \dots\dots\dots (44)$$

worin die Konstanten  $P, Q$  und  $R$  die Bedeutung haben:

$$\left. \begin{aligned} P &= C_2^2 - C_1 C_3 \\ Q &= C_2 B_2 - \frac{1}{2}(C_1 B_3 + C_3 B_1) \\ R &= B_2^2 - B_1 B_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (45)$$

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= b_1^2 - b_0 b_2 & C_1 &= 2b_1 - (b_0 + b_2) \\ B_2 &= b_2^2 - b_1 b_3 & C_2 &= 2b_2 - (b_1 + b_3) \\ B_3 &= b_3^2 - b_2 b_4 & C_3 &= 2b_3 - (b_2 + b_4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (46)$$

Ist nun  $\delta$  einmal bekannt, so lassen sich nach den Beziehungen (43) die wahren Ordinaten  $y$  bestimmen. Dann kann man sich schon zur Berechnung von  $\epsilon$  der früher entwickelten Formeln bedienen<sup>1)</sup>.

Ich habe diese erste abgeänderte Methode zur Feststellung der Aperiodizitätsgrenze meiner drei Pendel angewandt und dabei ganz gute Resultate erhalten.

<sup>1)</sup> Als Kontrolle hat man noch die Beziehung

$$\beta^2 = e^{2\epsilon\tau} = \frac{B_1 + C_1 \delta}{B_2 + C_2 \delta} = \frac{B_2 + C_2 \delta}{B_3 + C_3 \delta}$$

Bei Gelegenheit dieser Frage der Bestimmung von  $\varepsilon$  bei stark gedämpften Horizontalpendeln möge noch eine zweite Methode hier kurz beschrieben werden.

Ein Nachteil der ersten Methode bestand darin, dass  $n$  (resp.  $\gamma$ ) eliminiert wurde. Wir wollen also von jetzt ab  $n$  als bekannt voraussetzen.

Zweitens wollen wir, statt der absoluten Werte der Ordinaten, die *Differenzen* der Ordinaten einführen. Diese Differenzen lassen sich ziemlich genau bestimmen; der sehr wesentliche Vorteil dieser Operation besteht darin, dass man dann von der Lage der Nulllinie vollkommen unabhängig ist.

Es seien nun 4 Ordinaten  $y_0, y_1, y_2$  und  $y_3$  gemessen.

Dann wird im Falle, dass  $n > \varepsilon$  ist,

$$y = e^{-\varepsilon t} [A \cos \gamma t + B \sin \gamma t] \dots \dots \dots (47)$$

und

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= A \\ y_1 &= e^{-\varepsilon \tau} [A \cos \gamma \tau + B \sin \gamma \tau] \\ y_2 &= e^{-2\varepsilon \tau} [A \cos 2\gamma \tau + B \sin 2\gamma \tau] \\ y_3 &= e^{-3\varepsilon \tau} [A \cos 3\gamma \tau + B \sin 3\gamma \tau] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (48)$$

wo

$$\gamma = \sqrt{n^2 - \varepsilon^2}$$

ist.

Wollen wir nun folgende Bezeichnungen einführen:

$$\left. \begin{aligned} n_1 &= y_1 - y_2 \\ n_2 &= y_1 - y_3 \\ n_3 &= y_2 - y_3 \\ m &= y_0 - y_3 \end{aligned} \quad \begin{aligned} a &= (n_1 - n_3) \\ b &= m - 3n_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (49)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon \tau &= \mu & \gamma \tau &= \beta \\ \xi &= e^\mu - 1 & \Delta &= 1 - \cos \beta & \rho &= 2\Delta \cdot e^\mu \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (50)$$

so findet man nach der Elimination von  $A$  und  $B$  aus den Gleichungen (48), dass  $\xi$  folgender Gleichung genügen muss:

$$F(\xi) = P\xi^2 + Q\rho + n_1\rho^2 = 0 \dots \dots \dots (51)$$

Hierin haben  $P$  und  $Q$  folgende Bedeutung:

$$\left. \begin{aligned} P &= n_3 \xi^2 - 2a\xi + b \\ Q &= n_2 \xi^2 - 2a\xi + b \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(52)$$

Die Formel (51) dient zur Berechnung von  $\xi$ . Ist nun  $\xi$  einmal bekannt, so lässt sich  $\mu$  und folglich auch  $\varepsilon$  leicht berechnen.

Die Bestimmung von  $\xi$  nach der Gleichung (51) ist jedoch ziemlich kompliziert, da  $\rho$  eine transzendente Funktion von  $\xi$  ist<sup>1)</sup>.

Infolgedessen verfährt man zur Berechnung von  $\xi$  durch sukzessive Annäherungen in folgender Weise.

Ist der angenäherte Wert von  $\varepsilon$  bekannt, so nimmt man zwei benachbarte Werte, einen grösseren und einen kleineren als  $\varepsilon$ , und berechnet nach den früheren Formeln  $\mu$ ,  $\beta$  und  $\Delta$ ; aus ihnen bestimmt man  $\xi$  und  $\rho$ .

Mit diesen  $\xi$  und  $\rho$  berechnet man dann die Werte der Funktion  $F(\xi)$ . Der eine Wert muss grösser und der andere kleiner als 0 sein. Durch Interpolation findet man die Grösse  $\xi$ , wo die Bedingung  $F(\xi) = 0$  zutrifft und bestimmt alsdann rückwärts den entsprechenden Wert von  $\varepsilon$ . Die Aufgabe ist also gelöst.

Diese Methode ist rechnerisch ziemlich kompliziert, aber sie hat bei der Anwendung auf einen Klinographen ganz gute Resultate geliefert. Bei den hier zu besprechenden Beobachtungen habe ich jedoch von derselben keinen Gebrauch gemacht.

Im Falle, dass der betreffende Apparat ganz nahe an der Grenze der Aperiodizität steht, vereinfacht sich die Methode in ganz erheblicher Weise.

In diesem Falle wird  $\beta$  sehr klein sein. Es kann also  $\Delta$ , folglich auch  $\rho$  vernachlässigt werden.

Dann wird einfach  $\xi$  die Wurzel folgender quadratischer Gleichung sein:

$$P = n_3 \xi^2 - 2a\xi + b = 0 \dots\dots\dots(53)$$

$\xi$ , folglich auch  $\varepsilon$ , lassen sich dann sofort ermitteln.

Im Falle, dass die Grenze der Aperiodizität schon überschritten, also  $\varepsilon > n$  ist, kann man sich, wie nicht schwer einzusehen ist, immer noch der früheren Formeln bedienen, mit der einzigen Ausnahme, dass im jetzigen Falle  $\Delta$  nach der folgenden Formel berechnet werden muss:

$$\Delta = \frac{2 - e^{+\alpha\tau} - e^{-\alpha\tau}}{2}, \dots\dots\dots(54)$$

---

<sup>1)</sup>  $\rho = 2 [1 - \cos \sqrt{(n\tau)^2 - \{\log_e(1 + \xi)\}^2}] [1 + \xi]$ .

wo  $\alpha$  die Bedeutung

$$\alpha = + \sqrt{\varepsilon^2 - n^2}$$

hat.

Die hier beschriebenen Methoden zur Einstellung von Horizontalpendeln auf die Grenze der Aperiodizität sind insofern umständlich, als sie die Aufnahme der Kurve der Eigenbewegung des Pendels bei verschiedenen Poldistanzen der dämpfenden Magnete und weiter eine sehr genaue Ausmessung von aequidistanten Ordinaten erfordern.

Ich habe jedoch während des Ganges dieser Beobachtungen in Pulkowa eine ganz neue Methode ausgebildet, die sehr einfach und praktisch und von diesen Mängeln frei ist. Sie gibt sofort ein Kriterium an die Hand, zu unterscheiden, wie nahe man an der Grenze der Aperiodizität steht, da sie den Wert von  $\mu^2 = 1 - k^2$  direkt und ausserdem sofort den Übertragungsfaktor  $k$  für die galvanometrische Registrierung liefert. Diese Methode ist in meinem Aufsatz «Über die Bestimmung der Konstanten von stark gedämpften Horizontalpendeln» beschrieben<sup>1)</sup>. Ich habe dieselbe später für die Bestimmung der Konstanten  $\mu^2$  und  $k$  für meine drei Pendel in Anwendung gebracht.

Die Methode besteht der Hauptsache nach im Folgenden.

Es sei das zu untersuchende Pendel mit dem zugehörigen Galvanometer verbunden; letzteres sei genau an die Grenze der Aperiodizität ( $\varepsilon_1 = n_1$ ) eingestellt<sup>2)</sup>.

Man erteilt dann dem Pendel einen anfänglichen Anstoss, etwa durch Anziehung eines kleinen Elektromagneten, und beobachtet mit Fernrohr und Skala den maximalen Winkelausschlag  $\theta_m$  am Pendel und die ihm entsprechenden zwei nach einander folgenden maximalen Winkelausschläge  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  am Galvanometer.

Ist die Grenzbedingung der Aperiodizität ( $\varepsilon = n$ ) für das Pendel ebenfalls erfüllt, so ergeben sich aus den Gleichungen (3) und (4) (für  $x'' = 0$ ), wenn  $t_1$  und  $t_2$  die beiden Wurzeln der Gleichung (55)

$$ne^{-nt} \left[ \frac{2n_1}{n_1 - n} - nt \right] = n_1 e^{-n_1 t} \left[ \frac{2n}{n_1 - n} + n_1 t \right] \dots \dots \dots (55)$$

bedeuten, folgende Ausdrücke für die maximalen Ausschläge am Galvano-

<sup>1)</sup> Bulletin de l'Académie Impériale des sciences de St.-Petersbourg. № 9. 1908.

<sup>2)</sup> Die Einstellung eines zweckmässig konstruierten Galvanometers auf die Grenze der Aperiodizität ist eine sehr einfache Operation. Siehe «Die elektromagnetische Registrieremethode». L. c.

meter:

$$\varphi_1 = k \frac{ne}{(n_1 - n)^2} \theta_m \left[ e^{-n_1 t_1} \left\{ n_1 t_1 + \frac{n_1 + n}{n_1 - n} \right\} + e^{-nt_1} \left\{ nt_1 - \frac{n_1 + n}{n_1 - n} \right\} \right] \quad (56)$$

und

$$\varphi_2 = k \frac{ne}{(n_1 - n)^2} \theta_m \left[ e^{-n_1 t_2} \left\{ n_1 t_2 + \frac{n_1 + n}{n_1 - n} \right\} + e^{-nt_2} \left\{ nt_2 - \frac{n_1 + n}{n_1 - n} \right\} \right] \quad (57)$$

Man kann sich dann jeder dieser beiden Formeln bedienen, um den Wert des Übertragungsfaktors  $k$  zu berechnen. Es muss sich dann aus beiden Formeln derselbe Wert von  $k$  ergeben.

Steht aber das Pendel nicht genau an der Grenze der Aperiodizität, ist also  $\mu^2 = 1 - h^2 = 1 - \frac{\varepsilon^2}{n^2}$  von Null verschieden, so werden, wenn  $t_1$  und  $t_2$  immer noch die Wurzeln der Gleichung (55) bedeuten, die aus den Gleichungen (56) und (57) sich ergebenden Werte von  $k$  verschieden ausfallen. Den ersten Wert von  $k$  wollen wir durch  $k_1$  und den zweiten durch  $k_2$  bezeichnen, wobei  $k_1$ , wie ich es früher gezeigt habe, sich recht wenig mit  $\mu^2$  ändert, und sich folglich wenig von dem wahren Wert von  $k$  unterscheidet.

Ist die Differenz der Eigenperioden des Pendels und des Galvanometers ohne Dämpfung  $T$  und  $T_1$  nicht sehr gross und bedeute  $\xi$  das Verhältnis  $\frac{n_1 - n}{n}$ , also

$$\xi = \frac{n_1 - n}{n}, \dots \dots \dots (58)$$

so können  $k_1$  und  $k_2$  nach den folgenden einfachen Näherungsformeln berechnet werden.

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= -n \frac{\varphi_1}{\theta_m} \cdot 2,8168 [1 + \xi + 0,16340\xi^2] \\ k_2 &= +n \frac{\varphi_2}{\theta_m} \cdot 6,4610 [1 + \xi + 0,33660\xi^2] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (59)$$

Sind nun  $k_1$  und  $k_2$  einmal bestimmt, so lässt sich aus ihnen nicht nur der wahre Wert von  $k$ , sondern auch  $\mu^2$  leicht berechnen.

Es wird nämlich

$$\mu^2 = \frac{k_2 - k_1}{k_1 \psi_2 - k_2 \psi_1} \dots \dots \dots (60)$$

und

$$k = \frac{k_1}{1 + \mu^2 \psi_1} = \frac{k_2}{1 + \mu^2 \psi_2} \dots \dots \dots (61)$$

<sup>1)</sup> Siehe «Die elektromagnetische Registriermethode». L. c. § 5. Formeln (68) und (69).

<sup>2)</sup>  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  haben entgegengesetzte Vorzeichen.

Die Funktionen  $\psi_1$  und  $\psi_2$  haben hier folgende Bedeutung:

$$\left. \begin{aligned} \psi_1 &= -0,0065377 [1 + 5,5981\xi + 1,5556\xi^2] \\ \psi_2 &= +0,33988 [1 + 0,40192\xi - 0,63417\xi^2] \end{aligned} \right\} \dots\dots(62)$$

Wenn  $k_2$  kleiner als  $k_1$  ausfällt, so ist die Grenze der Aperiodizität schon überschritten und es muss  $-\mu^2$  durch  $\nu^2$  ersetzt werden, wo

$$\nu^2 = k^2 - 1$$

ist.

Indem man nun die Werte von  $k_1$  und  $k_2$  bei verschiedenen Poldistanzen ermittelt, kann man in sehr einfacher Weise diejenige Poldistanz  $H_{\text{lim}}$  bestimmen, bei der gerade die Bedingung  $k_1 = k_2$  (Grenze der Aperiodizität) zutrifft.

Bei meinen Beobachtungen standen die Pendel nicht immer genau an der Grenze der Aperiodizität, da mit der Zeit gewisse kleine Änderungen in den Eigenperioden der Pendel  $T$  und wahrscheinlich auch in der Stärke der dämpfenden Magnete eintraten. Es war aber auch gar nicht nötig, die Pendel genau an der Grenze der Aperiodizität zu halten, da man sich, wenn nur  $\mu^2$  einmal bekannt ist, zur Berechnung der Amplitude der Bodenschwankungen  $x_m$  der strengen Formel (29) bedienen kann. Zur Erleichterung der Rechnungen habe ich mir eine Tabelle der Funktionen  $\text{Log}(1 + u^2)$  und  $\text{Log} f(u)$  für verschiedene Werte von  $u$ , von  $u=0,01$  bis  $u=4,00$  aufgestellt.

---

### § 3.

## Vorversuche und Konstanten der Instrumente.

Die Konstanten der drei Galvanometer (N<sup>o</sup>. I, II und III) wurden vor Beginn der Beobachtungen kontrolliert. Alle Widerstände sind auf die mittlere Temperatur  $7,5^\circ C$  reduziert worden.

Bedeute nun  $\rho_2$  den Widerstand des zweiten Spulensystems des Galvanometers und  $w_0$  den äusseren Widerstand, so wird bekanntlich, beim offenen

ersten Stromkreis, die Dämpfungskonstante  $\varepsilon_1$  sich in folgender Weise ausdrücken lassen:

$$\varepsilon_1 = c_0 + \frac{c_2}{w_0 + \rho_2}$$

Wie die Konstanten  $c_0$  und  $c_2$  sich ermitteln lassen, habe ich früher gezeigt<sup>1)</sup>.

Soll die Grenzbedingung der Aperiodizität gefordert werden, so muss  $w_0$  folgender Bedingung genügen

$$w_0 = \frac{c_2}{n_1 - c_0} - \rho_2 \dots \dots \dots (63)$$

Sei  $R_0$  der Widerstand der Induktionsspule, so muss  $R_0 < w_0$  sein, um einen Überschuss für den Widerstand  $r$  der Zuleitungsdrähte zuzulassen. Es muss sein

$$R_0 + r = w_0 \dots \dots \dots (64)$$

Ich habe für jedes der drei Pendel immer vierfache Induktionsspulen verwendet, die in einem Rahmen zwischen den je zwei einander gegenüberstehenden Polen zweier kleiner permanenter Hufeisenmagnete sich bewegen konnten. Diesen Spulen habe ich die möglichst günstigen Dimensionen zu geben versucht<sup>2)</sup> und dementsprechend den passendsten Draht ausgewählt. Freilich könnte für die Galvanometer №№ II und III weniger Widerstand für die Zuleitungsdrähte frei gelassen werden. Dies ist aber unwesentlich, da der Übertragungsfaktor  $k$  so wie so sich genügend gross ergeben hat.

Als Verbindungsdraht zwischen Pendel und Galvanometer diene ein dicker, bifilar geflochtener mit starker Gummiisolierung versehener Draht. Es wurde noch eine kleine induktionsfrei gewickelte Spule hinzugeschaltet, um möglichst genau der Bedingung (64) Genüge zu leisten.

Die reduzierte Pendellänge  $l$  der drei Pendel habe ich aus Schwingungsbeobachtungen bei verschiedenen Neigungen der Drehungsaxe abgeleitet. Die Methode ist in meinem Aufsatz «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa» (l. c. § 2) ausführlich beschrieben.

Es mögen nun die Konstanten dieser drei Galvanometer zusammengestellt werden.

Die Widerstände entsprechen einer mittleren Temperatur von 7,5 C.

---

<sup>1)</sup> Siehe «Die elektromagnetische Registriermethode». L. c. § 2.

<sup>2)</sup> Siehe «Die elektromagnetische Registriermethode». L. c. § 7.

	Galv. № I zum Pendel № II.	Galv. № II zum Pendel № I.	Galv. № III zum Pendel № III.
$T_1$	14,63	17,34	11,60
$n_1$	0,4295	0,3623	0,5419
$c_0$	0,0160	0,0169	0,0154
$c_2$	7,538	8,859	10,442
$\rho_2$	4,35 $\Omega$	4,63 $\Omega$	4,63 $\Omega$
$w_0$	13,88 —	21,02 —	15,20 —
$R_0$	12,53 —	16,73 —	11,48 —

Die Eigenschaften dieser drei Pendel werde ich jetzt der Reihe nach beschreiben.

*Pendel № I.*

Gesamtmasse des beweglichen Teiles des Pendels  $M = 14831$  Gr. Reduzierte Pendellänge  $l = 201$  m/m.

Dicke der dämpfenden Kupferplatte  $4,0$  m/m<sup>1)</sup>.

Durchmesser des für die Induktionsspulen verwendeten Drahtes  $0,15$  m/m.

Entfernung der Mitte der Spulen von der Drehungsaxe des Pendels etwa  $590$  m/m.

Die vier verwendeten kleinen permanenten Magnete waren aus Wolframstahl (von Hartmann & Braun bezogen), wobei ein Paar Magnete für die Dämpfung des Apparates und das andere für die galvanometrische Registrierung verwendet wurde. Ihre Polflächen betragen je  $36,3 \times 22,5$  m/m.

Die Feldstärke  $F$  zwischen den einander gegenüberliegenden Polen dieser kleinen Magnete wurde vor Beginn der Beobachtungen nach der ballistischen Methode ermittelt und zwar bei verschiedenen Poldistanzen  $H$ .

Es ergaben sich folgende Werte:

$H$	$F$
17,0 m/m	617 C. G. S.
13,0	748
10,5	880
9,0	982
7,0	1143
5,2	1381

<sup>1)</sup> Es wurde dazu möglichst eisenfreies Kupfer, von Prof. Edelmann in München bezogen, genommen.

Die Entfernung  $H_1$  der Pole der Magnete bei den Induktionsspulen wurde auf  $8,3^m/m$  eingestellt und alsdann unverändert gelassen.

Um nun das Pendel auf die Grenze der Aperiodizität ( $\varepsilon = n$ ) einzustellen, wurden die Kurven der Eigenbewegung des Pendels bei verschiedenen Poldistanzen  $H$  der dämpfenden Magnete<sup>1)</sup> aufgenommen und aus ihnen nach der früher beschriebenen ersten Methode (unter Berücksichtigung der Korrektur für die Nulllinie)  $\varepsilon$  und  $n$  abgeleitet.

Es ergaben sich in der Nähe der Aperiodizitätsgrenze folgende Werte:

$H$	$\varepsilon$	$n$	$h = \frac{\varepsilon}{n}$
$10,0^m/m$	0,247	0,271	0,911
9,0 —	0,310	0,272	1,140

Die Grenze der Aperiodizität ( $h = 1$ ) trifft also für  $H = 9,6^m/m$  ein.

Die dem Wert von  $n$  entsprechende Eigenperiode des Pendels  $T$  ist dabei gleich  $23^s,2$ .

Nach der Aufstellung des Pendels in Pulkowa wurde  $H = 9,7^m/m$  erhalten; ausserdem trat noch eine kleine Änderung der Eigenperiode  $T$  des Pendels ein ( $T = 23^s,5$ ).

Bei der Benutzung der neuen Methode zur Ermittlung der Grenze der Aperiodizität hat sich herausgestellt, dass  $\mu^2$  nicht gleich Null war, sondern  $\mu^2 = 0,4675$  betrug. Das Dämpfungsverhältnis  $v$  ergab sich dementsprechend gleich 28,6.

Dieser Wert von  $\mu^2$  wurde also bei der Bearbeitung der entsprechenden Seismogramme zugrunde gelegt.

Später (am Anfang März) wurde das Pendel möglichst genau an die Grenze der Aperiodizität eingestellt.

Die Beobachtungen haben folgende Zahlenwerte geliefert:

$$n = 0,2659^2) \quad (T = 23^s,6).$$

$$H = 9,7^m/m$$

$$k_1 = 117,3 \quad k_2 = 138,2$$

$$\mu^2 = 0,4616 \quad \varepsilon = 0,1951 \quad h = 0,734$$

$$H = 8,7^m/m.$$

$$k_1 = 116,5 \quad k_2 = 115,3$$

$$- \mu^2 = v^2 = 0,0270 \quad \varepsilon = 0,2695 \quad h = 1,013.$$

<sup>1)</sup> Beim geschlossenen Galvanometerkreise.

<sup>2)</sup> Aus Schwingungsbeobachtungen bei schwacher Dämpfung.

Daraus folgt für die Grenze der Aperiodizität

$$H_{\text{lim}} = 8,75^{\text{m}}/\text{m} \quad \text{bei} \quad n = 0,2659.$$

Für den wahren Wert des Übertragungsfaktors ergibt sich

$$k = 116,6.$$

Auf diese neue Entfernung  $H$  wurden dann die dämpfenden Magnete von jetzt ab eingestellt. Wir sehen also, dass die genaue Einstellung eines Horizontalpendels auf die Grenze der Aperiodizität eine sehr delikate Operation ist, da eine kleine Änderung von  $H$  eine ganz bedeutende Änderung von  $\mu^2$  nach sich zieht.

Alle Konstanten, welche zur Auswertung der erhaltenen Seismogramme der drei Pendel gedient haben, sind in einer Tabelle am Schluss dieses Paragraphen zusammengestellt worden.

Es wurde vor Beginn der Beobachtungen eine spezielle Untersuchung vorgenommen, um zu sehen, ob die Eigenperiode dieses Pendels  $T$  in irgend welcher Weise von der mittleren Amplitude der Ausschläge  $\theta$  abhängig ist.

Der Stromkreis des Galvanometers blieb dabei fortwährend offen. Aus der Beobachtung der Schwingungsdauer  $T'$  und des entsprechenden logarithmischen Dekrements  $\Lambda$  wurden  $n$  und  $T = \frac{2\pi}{n}$  abgeleitet.

Es ergab sich nun folgendes.

I) Der obere dämpfende Magnet ist ganz entfernt.

$\theta$	$T$	
15'	24,6	}
45	24,6	

$v = 1,25.$

II) Der obere dämpfende Magnet ist aufgesetzt ( $H = 17,0^{\text{m}}/\text{m}$ ).

$\theta$	$T$	
24'	25,2	}
54	25,0	

$v = 2,58.$

Man kann also annehmen, dass für das Pendel № I die Eigenperiode praktisch fast unabhängig von der Amplitude des Winkelausschlages ist. Dies ist ein sehr wesentlicher Vorteil der Zöllner'schen Aufhängung (ohne

Stützpitzen). Bei dem Rebeur-Paschwitz'schen Pendel (№ III) mit zwei Stützpunkten werden wir in der Tat später sehen, dass  $T$  (auch bei ganz schwacher Dämpfung) in hohem Maasse von der Grösse des mittleren Winkelausschlags abhängig ist. Dies ist allerdings eine recht unangenehme Eigenschaft dieser Art Pendel, da man aber bei seismometrischen Beobachtungen gewöhnlich nur mit ganz kleinen Werten von  $\theta$  zu tun hat, so hat dieser Übelstand praktisch keine so grosse Bedeutung.

Zum Schluss wurde noch der Einfluss der etwaigen Rückwirkung der Galvanometerbewegung auf die Pendelbewegung untersucht, um die Gröszenordnung derselben feststellen zu können.

Es wurde den Spiegeln am Pendel und am Galvanometer gegenüber je ein Fernrohr mit Skala in der Entfernung von 1 Meter aufgestellt. Die Ausschläge an denselben seien durch  $m$  und  $m_1$  bezeichnet.

Beide Apparate standen möglichst nah an der Aperiodizitätsgrenze.

Nun wurde von einer fremden Stromquelle ein Strom durch das Galvanometer geschickt, wobei  $m_1 = 277^m/m$  betrug (also  $\varphi = 7^\circ 44',5$ ), und der entsprechende Ausschlag  $m$  am Pendel gemessen.

Es ergab sich dabei  $m$  nur etwa gleich  $0,1^m/m$ , also  $\theta < 0',17$ ; folglich wird sein:

$$\frac{\theta}{\varphi} < 0,00037 \text{ oder } < 0,037\%.$$

$m_1$  war recht gross genommen, wie bei wirklichen seismometrischen Beobachtungen solche enorm grossen Ausschläge nur in den seltensten Fällen vorkommen können. Trotzdem erreichte  $\theta$  einen äusserst kleinen Wert.

Wir sehen also, dass infolge der verhältnissmässig grossen Masse des Pendels № I, die Rückwirkung des Galvanometers auf das Pendel vernachlässigt werden darf.

#### *Pendel № II.*

Gesamtmasse des beweglichen Teils  $M = 3525$  Gr. Reduzierte Pendellänge  $l = 184,4^m/m$ .

Dicke der dämpfenden Kupferplatte  $3,9^m/m$ .

Durchmesser des für die Induktionsspulen verwendeten Drahtes  $0,13^m/m$ .

Entfernung der Mitte der Spulen von der Drehungsaxe des Pendels etwa  $281^m/m$ .

Am Anfang der Beobachtungen in Pulkowa wurde der Stützstift bei diesem Pendel eingeschaltet und etwa um  $\frac{3}{4}^m/m$  vorgeschoben. Es erwies sich aber bald, in voller Übereinstimmung mit den Ergebnissen der ersten

Pulkowa'schen Beobachtungen, dass sich für ein sehr stark gedämpftes Pendel mit einer Zöllner'schen Aufhängung die schädlichen sekundären Pendelschwingungen für entfernte Beben gar nicht bemerkbar machen. Infolgedessen wurde dieser Stützstift vom 6. Februar ab für die weiteren Beobachtungen einfach ausgeschaltet.

Die bei diesem Pendel verwendeten vier kleinen permanenten Magnete hatten dieselben Dimensionen, wie beim Pendel № I.

Die Entfernung der Pole  $H_1$  bei den Induktionsspulen wurde gleich  $9,7^m/m$  genommen.

Um das Pendel № II auf die Grenze der Aperiodizität ( $\varepsilon = n$ ) einzustellen, wurden wiederum die Kurven der Eigenbewegung des Pendels aufgenommen und aus ihnen nach der ersten beschriebenen Methode (unter Berücksichtigung der Korrektur für die Nulllinie) die Werte von  $\varepsilon$  und  $n$  abgeleitet.

Es ergaben sich in der Nähe der Aperiodizitätsgrenze folgende Werte.

$H$	$\varepsilon$	$n$	$h$
$8,2^m/m$	0,179	0,263	0,681
7,1 —	0,361	0,264	1,367

Die Grenze der Aperiodizität trifft also für  $H = 7,7^m/m$  ein. Die entsprechende Eigenperiode des Pendels  $T$  ist dabei gleich  $23^s,8$ .

Nach der Aufstellung dieses Pendels in Pulkowa wurde dasselbe von neuem untersucht, aber jetzt schon zur Ermittlung der Aperiodizitätsgrenze die neue Methode in Anwendung gebracht.

Die Periode  $T$  fiel etwas kleiner aus, infolgedessen musste  $H$  etwas kleiner gewählt werden.

Für  $H = 7,0^m/m$  und  $T = 23^s,3$ , also  $n = 0,270$ , erhielt man

$$k_1 = 112,8 \quad k_2 = 122,7$$

$$\mu^2 = 0,2825 \quad \varepsilon = 0,2284 \quad h = 0,847,$$

also

$$k = 113,8.$$

Dieser Wert von  $k$  wurde nun bei der Auswertung der entsprechenden Seismogramme zugrunde gelegt.

Am Anfang der Beobachtungen hat sich  $T = 22^s,9$  ergeben. Das entsprechende  $\mu^2$  wird dann gleich 0,3070.

Später (am Anfang März) wurde dieses Pendel möglichst genau auf die

Grenze der Aperiodizität eingestellt. Es stellte sich dabei heraus, dass  $H$  noch weiter verkleinert werden musste.

Bei diesen neuen Bestimmungen fand man folgende Zahlenwerte (die Entfernung  $H_1$  wurde auch etwas geändert).

$$n = 0,2654 \quad T = 23,7$$

$$H = 7,1^m/m.$$

$$k_1 = 109,0 \quad k_2 = 143,1$$

$$\mu^2 = 0,8121 \quad \varepsilon = 0,1150 \quad h = 0,434$$

$$H = 6,1 —$$

$$k_1 = 111,0 \quad k_2 = 105,8$$

$$v^2 = (-\mu^2) = 0,1255 \quad \varepsilon = 0,2816 \quad h = 1,061,$$

also

$$k = 110,5.$$

$$n = 0,2539 \quad T = 24,7$$

$$H = 7,1^m/m.$$

$$k_1 = 109,7 \quad k_2 = 145,2$$

$$\mu^2 = 0,8519 \quad \varepsilon = 0,0977 \quad h = 0,3848$$

$$H = 6,1 —$$

$$k_1 = 111,8 \quad k_2 = 107,3$$

$$v^2 = (-\mu^2) = 0,1098 \quad \varepsilon = 0,2675 \quad h = 1,053,$$

also

$$k = 111,3.$$

Daraus folgt für die Grenze der Aperiodizität ( $\mu^2 = 0$ ) etwa bei  $T = 24,6$

$$H_{\text{lim}} = 6,2^m/m$$

und im Mittel

$$k = 110,9.$$

Die für dieses Pendel gültigen Daten sind ebenfalls in der Tabelle am Schluss dieses Paragraphen zusammengestellt.

Es wurde vor Beginn der eigentlichen Beobachtungen in Pulkowa dieses Pendel im physikalischen Laboratorium der Akademie der Wissen-

schaften zu St.-Petersburg einer eingehenden Untersuchung bezüglich der Abhängigkeit seiner Eigenperiode  $T$  von der Amplitude der Ausschläge  $\theta$  unterzogen, da sich in dieser Hinsicht gewisse Eigentümlichkeiten, deren Gründe wahrscheinlich in einer Einwirkung der dämpfenden Magnete zu suchen sind, gezeigt haben.

Diese Vorversuche mögen jetzt beschrieben werden.

Der Stromkreis während der Beobachtungen blieb fortwährend offen.

#### Fall I.

Der Stützstift ist ausgeschaltet. Der obere dämpfende Magnet ist ganz entfernt.

$\theta$	$T$	
18'	24,3	} $v = 1,11$ $\varepsilon = 0,009.$
60	24,4	
130	24,4	

Innerhalb der Beobachtungsgrenzen ist  $T$  von  $\theta$  als unabhängig zu bezeichnen.

#### Fall II.

Der Stützstift ist eingeschaltet und um  $\frac{3}{4} \frac{m}{m}$  verschoben. Der obere Magnet ist entfernt.

$\theta$	$T$	
26'	24,5	} $v = 1,12$ $\varepsilon = 0,009.$
72	24,1	

$T$  bleibt wiederum fast konstant<sup>1)</sup>.

$\varepsilon$  bleibt unverändert, folglich übt der Stützstift keine merkliche Dämpfung aus.

#### Fall III.

Derselbe Fall wie II, das Pendel wurde aber auf eine etwas andere Periode eingestellt.

---

<sup>1)</sup> Der Fehler in der Bestimmung von  $T$  kann immerhin einige Zehntel Sekunden betragen, da bei diesen Beobachtungen keine genügende Bodaruhe herrschte. Einfluss des Straßenlebens.

$\theta$	$T$	
25'	24,0	} $v = 1,12$
66	24,0	

$T$  ist konstant.

Fall IV.

Der Stützstift ist eingeschaltet und der obere dämpfende Magnet aufgesetzt; die Entfernung der Pole ist ziemlich gross.

$\theta$	$T$	
24'	29,9	} $v = 1,41$
86	29,9	
112	29,6	

Die Periode  $T$  ist merklich grösser geworden, möglicherweise als Folge einer Änderung der Neigung der Drehungsaxe beim Aufsetzen des Magneten.  $T$  ist fast unabhängig von  $\theta$ .

$\varepsilon$  ist bedeutend grösser geworden.

Fall V.

Derselbe Fall wie IV, nur wurde die Periode verkleinert.

$\theta$	$T$	
7'	23,4	} $v = 1,30$
21	24,3	
95	23,4	

Die Werte von  $\varepsilon$  bei IV und V stimmen gut überein;  $v$  ist kleiner, weil  $T$  kleiner geworden ist<sup>1)</sup>.

Fall VI.

Derselbe Fall wie V, das Pendel hat aber eine ganze Nacht über still gestanden.

$\theta$	$T$
23'	22,4.

---

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad \Lambda &= \text{Log } v = \frac{\text{Lg } \varepsilon}{2} T'. \\ T' &= T \sqrt{1 + 0,53720 \Lambda^2}. \end{aligned} \right\} \text{ Siehe die Formeln (15) und (9).}$$

Die Eigenperiode des Pendels hat sich etwas vermindert. Ausserdem zeigte sich jetzt eine gewisse Abhängigkeit von  $T$  von  $\theta$ .

Fall VII.

Der Stützstift ist eingeschaltet und um  $\frac{3}{4} \frac{m}{m}$  verschoben. Der obere dämpfende Magnet ist aufgesetzt. (Derselbe Fall wie VI, aber am Abend desselben Tages).

$\theta$	$T$	
16'	22,2	}
61	25,3	
		$v = 1,36$
		$\varepsilon = 0,024.$

$T$  wächst jetzt mit  $\theta$ .

Fall VIII.

Derselbe Fall wie VII, aber bei einer anderen Periode<sup>1)</sup>.

$\theta$	$T$	
4'	23,7	}
13	24,7	
64	26,6	
		$v = 1,40$
		$\varepsilon = 0,025.$

$T$  wächst mit  $\theta$ .

Fall IX.

Als Kontrolle wurde der obere Magnet entfernt. Der Stützstift ist eingeschaltet.

$\theta$	$T$	
9'	23,8	}
20	23,9	
86	24,3	
		$v = 1,22$
		$\varepsilon = 0,016.$

---

<sup>1)</sup> Es möge dabei ausdrücklich betont werden, dass man, wenn der Stützstift einmal eingeschaltet ist, die Eigenperiode des Pendels nicht mehr durch Änderung der Neigung des Pendelgestelles variieren darf, sonst wird die wahre Verschiebung des Stützstiftes ganz anders ausfallen. Man muss zuerst den Stützstift ausschalten, dann die Periode ändern. Nachher kann man wieder den Stift einführen, was nur eine ganz kleine Änderung der Periode des Pendels nach sich zieht. Man muss dabei ebenfalls darauf Acht geben, dass vor der Einschaltung des Stützstiftes das Ende der Spitze möglichst nah an der wahren Drehungsaxe des Pendels zu stehen kommt.

$T$  ändert sich jetzt recht wenig.

$\varepsilon$  ist bedeutend grösser geworden, als in den Fällen II und III.

Dies mag wohl eine Folge der Abstumpfung der Spitze sein. In der Tat, wegen der Erschütterungen durch den Strassenverkehr stösst der Stützstift öfters heftig auf die Platte. Diese Stösse sind deutlich zu hören. Unter einem Mikroskop gesehen zeigte der Stift in Wirklichkeit eine ganz bedeutende Abflachung.

#### Fall X.

Der obere Magnet ist aufgesetzt, der Stützstift eingeschaltet.

$\theta$	$T$	
4'	23,0	}
11	23,0	
59	26,3	

$v = 1,40$   
 $\varepsilon = 0,025.$

Für grössere  $\theta$  ist  $T$  grösser.

Diese Beobachtungen zeigen also, dass, wenn der obere dämpfende Magnet entfernt ist,  $T$  praktisch von  $\theta$  als unabhängig betrachtet werden darf.

Ist aber der dämpfende Magnet aufgesetzt, so bleibt am Anfang  $T$  wiederum ziemlich unabhängig von  $\theta$ , mit der Zeit aber macht sich eine Abhängigkeit von  $\theta$  geltend.

Zur weiteren Kontrolle wurden ähnliche Beobachtungen über das eigentümliche Verhalten dieses Pendels später nochmals angestellt. Die Pendeldrähte wurden dabei durch feine Platin-Iridium-Drähte, von Heräus in Hanau bezogen, ersetzt.

Es ergaben sich dabei folgende Resultate.

#### Fall I.

Alle vier Magnete sind ganz entfernt. Der Stützstift ist ausgeschaltet.

$\theta$	$T$	$\varepsilon$
22'	24,0	0,001
45	24,1	0,001
81	24,2	0,002
165	24,7	0,006

Fall II.

Alle Magnete sind entfernt. Der Stützstift ist eingeschaltet und um  $\frac{3}{4} \frac{m}{m}$  verschoben.

$\theta$	$T$	$\varepsilon$
24'	23,7	0,001
45	23,8	0,001
84	24,1	0,002
161	24,4	0,006

Fall III.

Drei Magnete sind aufgesetzt. Der Stützstift ist eingeschaltet.

$\theta$	$T$	$\varepsilon$
21'	29,2	0,021
63	29,0	0,028

Fall IV.

Derselbe Fall wie III.

$\theta$	$T$	$\varepsilon$
19'	30,3	0,022
69	30,8	0,027

Aus diesen Zahlen lassen sich folgende Schlüsse ziehen.

In allen vier Fällen kann  $T$  für kleine Werte von  $\theta$  praktisch als unabhängig von  $\theta$  betrachtet werden. Für grössere Werte von  $\theta$  nimmt  $T$  ein wenig zu.

Mit wachsendem  $\theta$  nimmt  $\varepsilon$  in allen Fällen etwas zu.

Die Einschaltung des Stützstiftes ändert weder den Wert von  $\varepsilon$ , noch die Abhängigkeit von  $T$  von  $\theta$ . Dieses Resultat ist insofern von Bedeutung, als es zeigt, dass die Einführung des Stützstiftes die Empfindlichkeit des Pendels in keiner merklichen Weise beeinflusst.

Beim Aufsetzen der Magnete nimmt  $T$  bedeutend zu, möglicherweise infolge einer Änderung der Neigung der Drehungsaxe.

In diesem Falle ändert sich wiederum  $T$  recht wenig mit  $\theta$ . Dieses trifft aber nur am Anfang zu. Liess man das Pendel ganze zwei Tage still stehen und wiederholte alsdann die Beobachtungen für den Fall IV, so liess sich schon, im Einklang mit den früheren Beobachtungen, eine wesentliche Abhängigkeit der Periode  $T$  von  $\theta$  bemerken, wie die folgenden Zahlen es zeigen.

Fall V.

Derselbe Fall wie III und IV, aber nach zwei Tagen.

Die Periode wurde aber etwas verkleinert und der Stützstift ausgeschaltet, da er die Resultate gar nicht beeinflusste.

$\theta$	$T$	$\epsilon$
21'	24,6	0,022
65	27,5	0,026

Wenn  $\theta$  von 21' bis auf 65' wächst, nimmt  $T$  um 2,9 zu;  $\epsilon$  behält seine früheren Werte.

Diese Abhängigkeit der Periode von  $\theta$ , welche sich mit der Zeit zeigt, mag wohl davon herrühren, dass sich bei diesem Pendel in der Nähe der Magnetpole gewisse magnetische Massen befanden.

Dieser Übelstand ist jedoch von keiner grossen Bedeutung, da man bei seismischen Beobachtungen fast immer mit ganz kleinen Ausschlägen ( $\theta$ ) zu tun hat; für solche kann aber  $T$  praktisch als konstant betrachtet werden, denn eine kleine Änderung von  $T$ , wenn der absolute Wert von  $T$  hinreichend gross ist, beeinträchtigt den aus den Seismogrammen abgeleiteten Wert von  $x_m$  recht wenig.

In der Tat haben später die mit einem ähnlichen Pendel ausgeführten Beobachtungen gezeigt, dass für sehr kleine  $\theta$  der bei schwacher Dämpfung aus Schwingungsbeobachtungen abgeleitete Wert von  $n = \frac{2\pi}{T}$  mit dem Wert von  $n$  bei starker Dämpfung sehr gut übereinstimmt (wenn alle Magnete aufgesetzt sind und ihre Pole nahe aneinander liegen) und sogar noch, wenn die Grenze der Aperiodizität schon überschritten ist. Die Bestimmung von  $n$  in diesen letzten Fällen erfolgte nach meiner neuen Methode<sup>1)</sup>, die die direkte Bestimmung der Eigenperiode des Pendels bei sehr starker Dämpfung ermöglicht.

---

<sup>1)</sup> Siehe «Über die Bestimmung der Konstanten von stark gedämpften Horizontalpendeln». Bulletin de l'Académie Impériale des sciences de St.-Petersbourg. № 9. (1908).

Es ergab sich dabei folgendes.

Aus Schwingungsbeobachtungen bei schwacher Dämpfung

$$n = 0,258 \quad T = 24,4.$$

Aus der direkten Bestimmung von  $n$  bei starker Dämpfung und bei kleinen  $\theta$

$h = \frac{\epsilon}{n}$	$v$	$\epsilon$	$n$	$T$
0,872	272	0,225	0,258	24,4
1,064	$\infty$	0,276	0,259	24,3

Die Übereinstimmung der Werte von  $T$  ist eine sehr befriedigende.

Wir sehen also, dass für kleine Ausschläge des Pendels die dämpfenden Magnete keine störende Einwirkung ausüben. Es müssen dabei aber bei der Bestimmung der Pendelkonstanten immer kleine Ausschläge verwendet werden.

Zum Schluss wollen wir den Einfluss der etwaigen Rückwirkung der Galvanometerspule auf die Pendelbewegung etwas näher betrachten. Die entsprechenden Versuche wurden in ähnlicher Weise wie beim Pendel I ausgeführt. Das Pendel und das Galvanometer befanden sich dabei beide möglichst nah an der Grenze der Aperiodizität.

Die Entfernung  $D$  der Skala vom Pendelspiegel betrug dabei  $5885 \frac{\text{m}}{\text{m}}$ , und die entsprechende Entfernung  $D_1$  für den Galvanometerspiegel  $1000 \frac{\text{m}}{\text{m}}$ .

Es ergab sich unter Benutzung einer fremden Stromquelle

$$m_1 = 254,0 \frac{\text{m}}{\text{m}} \quad m = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{m}},$$

also

$$\varphi = 428' \quad \theta = 0,15.$$

Folglich wird

$$\frac{\theta}{\varphi} = 0,00035 = 0,035\%.$$

Die Rückwirkung ist also zu vernachlässigen.

### *Pendel III.*

Gesamtmasse des beweglichen Teils des Pendels  $M = 64,1$  Gr. Reduzierte Pendellänge  $l = 190 \frac{\text{m}}{\text{m}}$ .

Dicke der dämpfenden Kupferplatte  $0,74^m/m$ .

Durchmesser des für die Induktionsspule verwendeten Drahtes  $0,07^m/m$ .  
(Die Spulen sind parallel geschaltet).

Entfernung der Mitte der Spulen von der Drehungsaxe des Pendels etwa  $165^m/m$ .

Die bei diesem Pendel verwendeten vier permanenten Magnete hatten etwas kleinere Dimensionen. Ihre Polflächen betragen je  $25,0 \times 19,0 \text{ cm}^2$ . Diese Magnete standen auf einem besonderen kleinen Gestell. Mittelst besonderer Schrauben konnte ihre Poldistanz  $H$  variiert werden.

Für die Feldstärke  $F$  zwischen den Polen eines solchen Magnetenspaars wurden nach der ballistischen Methode bei verschiedenen Poldistanzen  $H$  folgende Werte erhalten:

$H$	$F$
$11,2^m/m$	470 C. G. S.
7,7	610
5,7	760

Die Entfernung  $H_1$  der Magnetenpole bei den Induktionsspulen wurde auf  $5,7^m/m$  eingestellt und alsdann unverändert gelassen.

Um nun die Aperiodizitätsgrenze festzustellen, wurden die Kurven der Eigenbewegung dieses Pendels bei verschiedenen Poldistanzen  $H$  der dämpfenden Magnete aufgenommen (bei geschlossenem Stromkreis) und aus ihnen nach der ersten früher beschriebenen Methode (unter Mitberücksichtigung der Korrektur für die Nulllinie) die Werte von  $\epsilon$  und  $n$  abgeleitet.

Es wurden in der Nähe der Aperiodizitätsgrenze folgende Werte ermittelt:

$H$	$\epsilon$	$n$	$k = \frac{\epsilon}{n}$
$4,2^m/m$	0,435	0,453	0,960
4,0	0,529	0,464	1,140
3,5	0,581	0,450	1,291

Die Grenze der Aperiodizität trifft für  $H = 4,16^m/m$  ein.

Die entsprechende Eigenperiode  $T$  des Pendels betrug dabei im Mittel etwa  $13,7$ .

Nach der Aufstellung dieses Pendels in Pulkowa wurde dasselbe von neuem untersucht, nicht nur in bezug auf die Aperiodizitätsgrenze, sondern auch zum Zweck der Bestimmung des Wertes des Übertragungsfaktors  $k$ . In diesem Falle habe ich von meiner neuen Methode Gebrauch gemacht.

Es ergaben sich dabei folgende Werte ( $H_1$  war wie früher gleich  $5,7^m/m$ ).

$$T = 13,5. \quad (n = 0,467)$$

$$H = 4,0^m/m$$

$$k_1 = 18,12 \quad k_2 = 18,54$$

$$\mu^2 = 0,0628 \quad \varepsilon = 0,452 \quad h = 0,968$$

$$H = 3,5^m/m.$$

$$k_1 = 18,12 \quad k_2 = 15,92$$

$$\nu^2 = (-\mu^2) = 0,3304 \quad \varepsilon = 0,538 \quad h = 1,151.$$

Die Grenze der Aperiodizität trifft für diesen Wert von  $T$  bei  $H_{\text{lim}} = 3,91^m/m$  ein.

Für den wahren Wert des Übertragungsfaktors erhält man

$$k = 18,13.$$

Am Anfang der Beobachtungen in Pulkowa war für dieses Pendel  $T = 14,9$  (bei  $H = 4,16^m/m$ ). Auf Grund der eben angeführten Zahlen wird dann  $\nu^2 = 0,1484$  sein. Später fand man  $T = 14,0$ ;  $\nu^2 = 0,0139$ .

Am Anfang März wurde  $H$  etwa bis auf  $H = 3,9^m/m$  verkleinert, um das Pendel (bei  $T = 13,4$ ) möglichst genau an die Grenze der Aperiodizität ( $\nu^2 = 0$ ) einzustellen.

Alle Zahlendaten, welche zur Auswertung der Seismogramme gedient haben, sind wiederum in der Tabelle am Schluss dieses Paragraphen angegeben.

Es möge hier bemerkt werden, dass  $k$  für dieses Pendel ziemlich klein ist. Dies erwies sich als notwendig, da sich bei grösseren Werten von  $k$ , wie ich zuerst versucht hatte, in Anbetracht der kleinen Pendelmasse, die Rückwirkung der Galvanometerbewegung auf die Pendelbewegung schon bemerkbar machte.

Wollen wir nun jetzt die Abhängigkeit der Eigenperiode dieses Pendels  $T$  (ohne Dämpfung) von der Amplitude des Winkelausschlages  $\theta$  etwas näher betrachten.

Die Beobachtungen haben folgende Resultate ergeben. (Der Stromkreis beim Galvanometer blieb dabei fortwährend offen).

Fall I.

Alle Magnete sind entfernt. Die Dämpfung ist äusserst klein.

$\theta$	$T$
8'	15,6
110	16,8
309	20,5
375	21,6

Diese Zahlen zeigen, dass die Eigenperiode dieses Pendels bei grösseren Werten von  $\theta$  auch bei ganz schwacher Dämpfung sehr stark zunimmt.

Dies ist eine recht unangenehme Eigenschaft dieser Art Pendel, welche sich auf zwei Spitzen stützen.

Fall II.

Alle Magnete sind aufgesetzt.

$H = 15,1^m/m$ ,  $H_1 = 5,7^m/m$ . Die anfängliche Periode ist eine andere.

$\theta$	$T$	} $v = 1,46.$
13'	13,4	
80	14,8	

Diese Abhängigkeit der Periode  $T$  von  $\theta$  würde die Beobachtungen mit einem solchen Pendel sehr erschweren, wenn nicht die günstige Bedingung zustatten käme, dass bei wirklichen seismometrischen Beobachtungen für entfernte Beben  $\theta$  immer sehr klein bleibt, infolgedessen können wir, wenigstens in erster Annäherung, von der Veränderlichkeit von  $T$  absehen. Es muss nur aber bei der Auswertung der Seismogramme für die Eigenperiode des Pendels derjenige Wert von  $T$  gewählt werden, welcher ganz kleinen Ausschlägen  $\theta$  entspricht.

Was nun die Rückwirkung der Galvanometerbewegung auf dieses Pendel № III bei dem gewählten kleinen Wert von  $k$  betrifft, so haben die Versuche folgendes gezeigt<sup>1)</sup>. Das Galvanometer und das Pendel standen dabei möglichst nahe an der Grenze der Aperiodizität.

<sup>1)</sup> Siehe die früheren Bezeichnungen.

$$D_1 = 1000 \text{ m/m} \quad D = 5778 \text{ m/m}$$

$$m_1 = 56,4 \text{ m/m} \quad m \text{ etwa} = 2 \text{ m/m}$$

$$\varphi = 97' \quad \theta = 0,59.$$

Folglich wird

$$\frac{\theta}{\varphi} = 0,0061 = 0,61\%.$$

Die Rückwirkung ist jedenfalls grösser als bei den beiden anderen Pendeln, aber sie ist immer noch klein und kann folglich, wenigstens in erster Annäherung, vernachlässigt werden.

In der folgenden Tabelle II sind nun alle Zahlendaten für diese drei Pendel zusammengestellt.

Die Bedeutung der verschiedenen Buchstaben ist früher angegeben worden. Die erste Kolumne gibt das Zeitintervall an, für welches die entsprechenden Konstanten gültig sind.

Tabelle II.

	Zeitintervall.	$T$	$\mu^2$	$v$	$k$	$H$	$A_1$	$l$	$T_1$
Pendel I Galv. II	2/XII—1/III	23,5	0,4675	28,6	116,6	9,7 <sup>m</sup> /m	959 <sup>m</sup> /m	201 <sup>m</sup> /m	17,34
	Vom 3/III ab	23,6	0	$\infty$	116,6	8,75	922	—	—
Pendel II Galv. I	2/XII—6/II	22,9	0,3070	112	113,8	7,0	772	184,4	14,63
	7/II—21/II	23,3	0,2825	149	113,8	7,0	772	—	—
	21/II—1/III	23,3	0,2825	149	113,8	7,0	720	—	—
	Vom 3/III ab	24,6	0	$\infty$	110,9 <sup>1)</sup>	6,2	772	—	—
Pendel III Galv. III	2/XII—6/II	14,9	-0,1484 <sup>2)</sup>	$\infty$	18,13	4,0	959	190	11,60
	7/II—1/III	14,0	-0,0139	$\infty$	18,13	4,0	959	—	—
	Vom 3/III ab	13,4	0	$\infty$	18,13	3,9	948	—	—

<sup>1)</sup> Die Entfernung der Magnetenpole bei der Induktionsspule wurde etwas geändert.

<sup>2)</sup> —  $v^2$ .

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass die Pendel №№ I und II während der Beobachtungen nicht immer ganz aperiodisch waren, trotzdem aber war das Dämpfungsverhältnis immer sehr gross. Für das Pendel № I ergab sich das kleinste Dämpfungsverhältnis  $v$  gleich 28,6 und für das Pendel № II  $v=112$ . Diese Zahlen übersteigen bei weitem die gewöhnlich anzuwendenden Dämpfungsverhältnisse. Die Stärke der zur Zeit herrschenden Dämpfung wurde selbstverständlich bei der Bearbeitung der Seismogramme mitberücksichtigt.

Die Tabelle lehrt ausserdem, dass alle drei Pendel verschieden empfindlich waren. Am wenigsten empfindlich war das Pendel № III.

Um ein vergleichendes Urteil über die Empfindlichkeit dieser drei Pendel zu gewinnen, sind in der folgenden Tabelle III die Werte der entsprechenden optischen Hebellängen  $\mathfrak{A}$ , welche nach der Formel (30) für verschiedene Perioden  $T_p$  der einfallenden Erdbebenwellen berechnet sind, zusammengestellt<sup>1)</sup>.

Tabelle III.

$T_p$	$\mathfrak{A}$		
	Pendel I Galvan. II	Pendel II Galvan. I	Pendel III Galvan. III
5 <sup>s</sup>	79,0 Meter	61,0 Meter	11,5 Meter
10	128 »	92,8 »	15,7 »
15	147 »	99,7 »	15,4 »
20	147 »	95,0 »	13,8 »
25	139 »	86,9 »	12,1 »
30	129 »	78,5 »	10,7 »
35	118 »	71,0 »	9,5 »
40	108 »	64,3 »	8,5 »
$T_p = T_1; \mathfrak{A} \text{ max.}$	148 Meter	99,7 Meter	15,9 Meter

Es mag nochmals daran erinnert werden, dass  $\mathfrak{A}$  diejenige Entfernung bedeutet, in welcher die Registriertrommel vom Spiegel am Pendel selbst, unter Voraussetzung der direkten optischen Registrierung, aufgestellt sein

<sup>1)</sup> Auf Grund der vom 3/III für jedes der drei Pendel gültigen Zahlenwerte (siehe Tabelle II).

müsste, um dieselbe Empfindlichkeit zu erzielen, wie bei Anwendung der galvanometrischen Registriermethode.

Wollen wir noch die Werte des Vergrößerungsverhältnisses  $\mathfrak{B}$  bei verschiedenen  $T_p$  für diese drei Pendel tabellarisch zusammenstellen.

Bedeute  $y_1$  den der Amplitude  $x_m$  entsprechenden linearen Ausschlag am Galvanometer, so wird  $y_1 = 2A_1 \varphi$  oder nach der Formel (24)

$$\mathfrak{B} = \frac{y_1}{x_m} = \frac{kA_1}{\pi l} \cdot \frac{T_p}{(1+u_1^2)(1+u^2)\sqrt{1-\mu^2 f(u)}} \dots \dots \dots (64)$$

Für die Berechnung von  $\mathfrak{B}$  wollen wir diejenigen Zahlenwerte benutzen, welche dem Falle  $\mu^2 = 0$  zukommen (siehe die Tabelle II).

Die Zahlen der letzten Zeile der folgenden Tabelle IV entsprechen dem maximalen Wert von  $\mathfrak{B}$ . Das entsprechende  $u = \frac{T_p}{T}$  ergibt sich aus der Beziehung

$$u = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{1}{6} \{ \sqrt{1+14\lambda^2+\lambda^4} - (1+\lambda^2) \}},$$

wo  $\lambda = \frac{T}{T_1}$  gesetzt wird<sup>1)</sup>.

Tabelle IV.

$T_p$	$\mathfrak{B}$		
	Pendel I	Pendel II	Pendel III
5 Sek.	752	635	107
10	1082	863	106
15	1040	788	72
20	851	620	45
25	652	464	28
30	489	342	19
35	367	254	13
40	278	191	9
Max. von $\mathfrak{B}$	$\left\{ \begin{array}{l} T_p = 11^s,54 \\ \mathfrak{B} = 1099 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} T_p = 10^s,59 \\ \mathfrak{B} = 866 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} T_p = 7^s,18 \\ \mathfrak{B} = 116 \end{array} \right.$

<sup>1)</sup> Siehe «Die elektromagnetische Registriermethode», L. c. § 11. Formel (161).

Die Zahlen der beiden letzten Tabellen III und IV lehren uns, dass die Empfindlichkeit bei den Pendeln №№ I und II eine recht grosse war, die sich jedoch mit äusserst einfachen Hilfsmitteln, ohne Anwendung irgend welcher Hebelvorrichtungen, erzielen liess. Das Pendel № III war für grosse Werte von  $T_p$  wenig empfindlich.

Diese Tabellen geben ein sehr anschauliches Bild über die Leistungsfähigkeit der galvanometrischen Registriermethode.

---

§ 4.

### Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa.

Diese Beobachtungen wurden am 28. November 1907 (neuen Stils) begonnen und endigten am 17. Mai 1908.

Alle Zeitmomente sind weiter in mittlerer Greenwicher Zeit angegeben<sup>2)</sup>, wobei die Stunden von 0 bis 24, d. h. von Mitternacht bis Mitternacht gezählt wurden.

Während dieses Zeitraumes sind bis 37 grössere Erdbeben beobachtet worden. Die ganz kleinen Beben wurden nicht verarbeitet und nur als kleine Bodenstörungen notiert; dieselben sollen jedoch nicht mit den mikro-seismischen Bewegungen, die zuweilen Tage lang andauerten, verwechselt werden.

Die stärkeren und charakteristischeren Beben wurden, wenn möglich, nach den Seismogrammen aller drei Pendel ausgewertet, nur die kleineren und am wenigsten interessanten sind nach den Seismogrammen eines einzigen Pendels verarbeitet worden.

Die Bearbeitung der Seismogramme bestand im Wesentlichen im Folgenden.

Es wurden erstens, wenn möglich, die Momente des Eintreffens der ersten und zweiten Vorläufer ermittelt, wobei als erster Vorläufer nach meinen Seismogrammen der zuweilen sehr deutlich und ausgeprägt erscheinende Anfang der charakteristischen kurzperiodischen Schwingungen, — falls dieselben vorhanden waren —, bei  $T_p$  etwa gleich 1,5 Sekunden, angenommen wurde (preliminary tremors). Diese beiden Vorphasen seien wie üblich durch  $P$  und  $S$  bezeichnet. Die Angabe der etwaigen reflektierten

---

<sup>2)</sup> Länge der seismometrischen Station in Pulkowa  $2^h 1^m 19^s$  E von Greenwich.

Wellen habe ich jedoch meistens unterlassen, da meiner Ansicht nach bei ihrer Bestimmung zur Zeit noch sehr viel Willkür herrscht, weil bisweilen Fälle auftreten können, wo die Welle, die man für eine reflektierte hält, wohl nur eine charakteristische Eigenschaft der ursprünglichen am Herde stattgefundenen Bodenbewegung sein mag.

Gleichfalls wurde der Anfang der langen Wellen ( $L$ ) bestimmt. Der entsprechende Zeitmoment lässt sich meistens nur angenähert, zuweilen aber gar nicht angeben.

Weiter wurden die regelmässigen, sinusartigen Stellen der Seismogramme ausgesucht und für sie die entsprechenden Werte von  $T_p$  und  $x_m$  in der früher angegebenen Weise bestimmt. Diese Maxima sind durch  $M_1, M_2, M_3$  u. s. w. notiert. Unter  $M$  sollen nicht etwa irgend welche absoluten Maxima verstanden werden, sondern diejenigen Teile, welche einer möglichst harmonischen Bodenbewegung entsprechen. Die bei den verschiedenen  $M$  angegebenen Zeitmomente entsprechen dem Moment des maximalen Ausschlages auf der entsprechenden *Galvanometerkurve*, gleichgültig ob derselbe oberhalb oder unterhalb der Nulllinie liegt. Um dieselben jedoch auf die wahren Momente der maximalen Bodenverschiebung  $x_m$  zu reduzieren, müsste man die Zeitverspätungen  $\tau$  und  $\tau_1$  in Betracht ziehen. Dies habe ich jedoch fürs Erste unterlassen.

Zum Schluss wurde die Zeit des Bebenendes ( $F$ ) bestimmt. Dasselbe lässt sich wiederum nur ganz angenähert angeben, da die Erdbeben fast immer ganz allmählich abklingen.

Aus der Differenz der Momente des Eintreffens der ersten und zweiten Vorläufer ( $P$  und  $S$ ) wurde nun die angenäherte Herddistanz  $s$  ermittelt, wozu ich die neulich vom Prof. Wiechert und Zöppritz publizierten, so wertvollen Laufzeitkurven benutzt habe.

Wenn für ein bestimmtes Beben die Elemente  $P, S, L$ , die verschiedenen  $x_m$  und  $T_p$  nebst den diesen Maxima  $M_i$  entsprechenden Zeitmomenten  $t$  und auch  $F$  nach den Seismogrammen von zwei oder drei Pendeln einmal bestimmt waren, so wurden diese Zahlen unter sich verglichen, um zu sehen, wie weit die Angaben verschiedener Arten von Pendeln, deren Empfindlichkeit ebenfalls verschieden war, miteinander übereinstimmen.

Weiter wurden diese Angaben mit den Daten der Göttingener seismischen Station neben einander gestellt<sup>1)</sup>.

Dieser Vergleich bezog sich auf die Momente des Eintreffens der Phasen  $P, S, L$  und  $F$ . Was nun den Vergleich der verschiedenen  $M$  anbelangt, so ist derselbe meistens ziemlich schwierig, da man nie ganz sicher sein

---

<sup>1)</sup> Aus den Göttingener wöchentlichen Erdbebenberichten entnommen.

kann, dass die Maxima, welche in Göttingen und Pulkowa bestimmt worden sind, eigentlich identisch sind. Ausserdem kommt der Umstand hinzu, dass man, wenn eigentlich ein ganz rationeller Vergleich der verschiedenen in Göttingen und Pulkowa auftretenden Maxima angestellt werden sollte, nicht die Momente des Auftretens der Maxima auf den Seismogrammen mit einander vergleichen, sondern auf die Momente der maximalen Bodenverschiebung  $x_m$  etwa in der  $N-S$  Richtung zurückgreifen müsste.

In einigen Fällen jedoch, wo ich über die Identität dieser Maxima nicht im Zweifel war, habe ich diese Daten benutzt, um den angenäherten Wert der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Oberflächenwellen zu bestimmen, und zwar wenn die Bodenstörung sich etwa längs dem grossen Kreis Pulkowa — Göttingen ausbreitete. Dies trifft gerade für die Japanischen Beben zu, und in dieser Hinsicht ist die Lage der seismischen Stationen Pulkowa — Göttingen ziemlich günstig.

Die aus der Differenz der Momente des Eintreffens der beiden ersten Vorläufer  $P$  und  $S$  abgeleitete Herddistanz (für Pulkowa  $s$ , für Göttingen  $s_1$ ) habe ich nun, wenn möglich, mit der wahren Entfernung des Epizentrums von den beiden Stationen verglichen. Diese wahren Entfernungen seien durch  $\sigma$  und  $\sigma_1$  bezeichnet. Die Daten über die wahre Lage der verschiedenen Epizentren habe ich aus dem Zentralbureau in Strassburg i. E. von Prof. Rudolph nach der Beendigung meiner Bestimmungen erhalten. Für einige Beben war die Lage des Epizentrums unbekannt, für andere dagegen nicht mit voller Sicherheit festgestellt. Trotzdem schien es mir vom Interesse zu sein, die verschiedenen  $s$  und  $\sigma$  mit einander zu vergleichen. Für die Berechnung von  $\sigma$  und  $\sigma_1$  habe ich folgende Daten zugrunde gelegt.

<i>Pulkowa</i>	<i>Göttingen</i>
Breite $\varphi = 59^\circ 46' N$	Breite $\varphi = 51^\circ 33' N$
Länge $\lambda = 30^\circ 20' E$ von Greenwich.	Länge $\lambda = 9^\circ 58' E$ von Greenwich.

Mittlerer Erdradius  $R = 6371$  klm.

Entfernung Pulkowa—Göttingen längs dem grossen Kreis  $s_0 = 1559$  klm.

Im Allgemeinen verfolgte ich bei diesem Vergleich der verschiedenen Pulkowaer und Göttingener Erdbebendaten den Zweck zu entscheiden, inwieweit sich die von mir auf der seismischen Station zu Pulkowa verwendeten Beobachtungsmethoden zur Erforschung von Erdbebenstörungen eignen.

Bei den mikroseismischen Störungen sind zwei Arten von mikroseismischen Bewegungen zu unterscheiden.

Es treten erstens auf den Seismogrammen ganz regelmässige periodische Schwingungen auf mit verhältnismässig kurzer Periode von etwa 4—7 Sekunden.

Dieselben werde ich mikroseismische Bewegungen erster Art nennen. Sie sind zuweilen sehr ausgeprägt und schön ausgebildet und lassen sich nach den Seismogrammen von allen drei Pendeln verfolgen.

Diese Bewegungen waren fast immer vorhanden, bald schwächer, bald stärker.

Ausserdem traten bei den Pendeln I und II andere Störungen auf, die ich als mikroseismische Bewegungen zweiter Art bezeichnen werde. Dieselben sind weniger charakteristisch. Sie besitzen eine viel grössere Periode und sind meistens ziemlich unregelmässig. Ihre Ursache mag vielleicht in dem direkten oder *indirekten* Einfluss von meteorologischen Faktoren zu suchen sein. Freilich waren die Pendel I und II von der äusseren Luft durch spezielle Kästen getrennt, da aber der Verschluss keineswegs ein hermetischer war, so konnten wohl äussere Luftströmungen eine direkte Einwirkung auf diese Pendel ausüben. Bei dem Pendel III, welches ganz hermetisch von der äusseren Luft abgeschlossen war, war diese Art mikroseismischer Bewegungen nicht zu erkennen; freilich war auch die Empfindlichkeit dieses Pendels eine viel geringere, sodass möglicherweise diese kleinen Schwankungen nicht bemerkt werden konnten.

Diese mikroseismischen Bewegungen beiderlei Art traten bei dem Pendel II auch zum Vorschein, wenn der Stützstift eingeschaltet wurde. Infolgedessen sind diese Bewegungen nicht auf irgend welche sekundären Perioden der Pendel bei der Zöllner'schen freien Aufhängung zurückzuführen, sondern werden wohl ganz bestimmten Boden- oder Luftstörungen entsprechen.

Bei der Erforschung von Erdbeben ist es ganz zweckmässig, zwei oder drei Pendel von verschiedener Empfindlichkeit zu benutzen, wie dies bei mir der Fall war. Die empfindlichsten Pendel dienen zur Erforschung von schwachen Bodenstörungen; bei stärkeren Beben aber gehen dabei erfahrungsgemäss einige Details infolge der zu grossen Ausschläge verloren und man muss dann die Aufzeichnungen der weniger empfindlichen Pendel zur Hilfe nehmen.

Das Pendel I war bei mir das empfindlichste. Bei stärkeren Beben wurden die Ausschläge am zugehörigen Galvanometer zuweilen enorm gross. So z. B. bei dem grossen Mexikanischen Beben am  $\frac{26}{27}$  III 1908 erreichte die doppelte Amplitude  $2y_1$  bei dem Pendel I  $301,1^m/m$ . Dies ist allerdings für ein entferntes Beben ein kolossaler Ausschlag, der auch nicht direkt aufgezeichnet wurde.

Am wenigsten empfindlich war das Pendel № III. Dasselbe hatte den grossen Nachteil, dass die Spitzen, auf welchen es ruhte, mit der Zeit etwas stumpf wurden. Dadurch büsste es seine Empfindlichkeit etwas ein.

Die Beobachtungen ergaben in der Tat, dass mit der Zeit das Pendel III ziemlich unempfindlich geworden war. Daher wurden die Spitzen am 27./III 1908 durch neue ersetzt und das Pendel auf die frühere Eigenperiode von  $13^{\frac{3}{4}}$  wiederum eingestellt.

Die weggenommenen Spitzen erwiesen sich in der Tat als abgestumpft, obgleich die bewegliche Masse dieses Pendels ganz klein war (64,1 gr.).

Bei den empfindlichsten Pendeln kam es zuweilen vor, dass bei den stärkeren Beben die Lichtstrahlen ausserhalb der totalreflektierenden Prismen oder horizontalen Cylinderlinsen fielen, wodurch die entsprechenden Seismogramme an den Stellen der maximalen Phasen der Ausschläge als abgeschnitten erschienen. Der entsprechende Maximalausschlag  $y_1$  wurde dann für die regelmässigen Stellen der Seismogramme durch Extrapolation ermittelt in der Weise, wie dies in meinem früheren Aufsatz «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa» (l. c. § 5. Erbeben am 4/I 1907) beschrieben ist.

Während dieses etwa 6 Monate andauernden Beobachtungszeitraumes hat die Pulkowa'sche seismische Station fast ununterbrochen regelmässig funktioniert. Nur am Anfang war das Pendel II nicht in Ordnung und wurden daher nur die Seismogramme von den Pendeln I und III ausgewertet. Nach einigen Tagen wurden aber die Fehler beim Pendel II beseitigt. Auch im April war der regelmässige Betrieb der Station etwas gestört. Die galvanometrische Registriermethode hat sich als sehr praktisch und bequem erwiesen und die Anwendung von permanenten Magneten hat sich ebenfalls vollkommen bewährt.

Jetzt werde ich die verschiedenen von mir bearbeiteten Erdbeben der Reihe nach beschreiben, möchte jedoch vorher an dieser Stelle dem Assistenten am Physikalischen Laboratorium der Akademie der Wissenschaften Herrn Wilip, der mir bei dieser Arbeit, wie überhaupt bei der Leitung der seismischen Station in Pulkowa so behülflich war, meinen herzlichsten Dank aussprechen.

#### **Erdbeben am 2/XII. 1907. Seism. № 8.**

Sehr schwaches Beben. Bearbeitet wurde nur das Seismogramm vom Pendel I.

Die Bodenbewegung war sehr unregelmässig. Regelmässige Perioden fehlen fast gänzlich.

$P$  ist sehr deutlich.  $S$  ist schwer zu finden, da die mikroseismischen

Bewegungen zweiter Art sehr störend einwirken. Es wurde nur ein  $M$  ermittelt<sup>1)</sup>.

	<i>Pulkowa.</i>	<i>Göttingen.</i>
$P$	14 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup> 3 <sup>s</sup>	14 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup>
$S$	14 12 52 (?)	14 15 15
$L$	14 28,2	— — —
$M$	14 34,6 $\left\{ \begin{array}{l} T_p = 19,8 \\ x_m = 4^\mu \end{array} \right.$	14 43,5 $\left\{ \begin{array}{l} T_p = 17^s \\ A_E = 2^\mu \\ A_N = 3^\mu \end{array} \right.$
$F$	14 41	15
$s$	7400 klm.	8500 klm.

Epizentrum bei Japan, östlich von der Küste von Jesso. Nimmt man für die geographischen Koordinaten der Ostküste von Jesso etwa

$$\varphi = 43,3 \text{ } N$$

$$\lambda = 145,8 \text{ } E \text{ v. Gr.},$$

so ergibt sich

$$\sigma = 7140 \text{ klm.}$$

$$\sigma_1 = 8640 \text{ »}$$

Da das Epizentrum noch weiter nach Osten liegt, so müssten  $\sigma$  und  $\sigma_1$  noch grösser sein.

#### Erdbeben am 15/XII. 1907. Seism. №№ 33 und 34.

Schwaches Beben. Verarbeitet wurde nur das Seismogramm vom Pendel I.

$P$  und  $S$  sind wenig deutlich ausgesprochen. Die entsprechenden Momente sind nur als Annäherungswerte zu betrachten.

Ausserdem können wegen eines Versehens des Gehülfen auf der Station in der Zeitnotierung möglicherweise die absoluten Momente um 1 oder 2 Minuten zu klein sein.

<sup>1)</sup>  $A_N$  ist die  $N-S$  Komponente und  $A_E$  die  $E-W$  Komponente in Göttingen;  $x_m$  die  $N-S$  Komponente in Pulkowa.

In der unmittelbaren Nähe der Stelle, die für  $P$  angenommen wurde, sind Spuren von kurzperiodischen Schwingungen zu bemerken.

Auf dem Seismogramm sind einige regelmässige Stellen zu erkennen, welche verarbeitet wurden. Während des Bebens wurde das Papier gewechselt, sodass ein Teil der Aufzeichnungen fehlt.

	<i>Pulkowa.</i>	<i>Göttingen.</i>
$P$	$17^h 51^m 20^s$	
$S$	18 5 50	$18^h 4^m 50^s$
$L$	18 17,3	$18 28\frac{1}{2}$
$F$	20 16,6	20 20
$s$	ca. 13500 km. <sup>1)</sup>	ca. 15000 km.

	$t$	$T_p$	$a_m$		$t$	$T_p$	$\Delta E$	$\Delta N$
$M_1$	$18^h 24^m 39^s$	$31^{\circ}0$	$38^{\mu}$					
$M_2$	18 28 31	27,0	39					
$M_3$	18 31 24	19,0	21	$M'$	$18^h 38\frac{3}{4}^m$	$26^s$	$25^{\mu}$	$40^{\mu}$
$M_4$	18 34 50	20,5	14	$M''$	18 39	20	18	22

Epizentrum an der Nordküste von Deutsch Neu-Guinea. Angenommene Koordinaten des Epizentrums:

$$\varphi_E = 4,5 S$$

$$\lambda_E = 145,0 E.$$

Also

$$\sigma = 11800 \text{ km.}$$

$$\sigma_1 = 13350 \text{ »}$$

**Erdbeben am 23/XII. 1907. Seism. № 47.**

Schwaches Beben. Verarbeitet wurde nur das Seismogramm vom Pendel I.

<sup>1)</sup> Nach der ersten Formel von Laska abgeleitet. Die Laufzeitkurven reichen nicht so weit.

*P* und *S* sind sehr ausgeprägt.

	<i>Pulkowa.</i>	<i>Göttingen.</i>
<i>P</i>	1 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 50 <sup>s</sup>
<i>S</i>	1 31 52	1 34 31
<i>L</i>	1 44,5 ( $T_p > 40^s$ )	1 49 <sup>1/2</sup>
<i>F</i>	2 21,5	2 20
<i>s</i>	7000 klm.	8300 klm.

	<i>t</i>	$T_p$	$\alpha_m$		<i>t</i>	$T_p$	$A_E$	$A_N$
$M_1$	1 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup>	20,3	16 <sup>μ</sup>					
$M_2$	1 55 18	12,1	6	$M'$	1 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	22 <sup>s</sup>	9 <sup>μ</sup>	11 <sup>μ</sup>
$M_3$	1 58 30	12,8	5					

Epizentrum in Nord-Japan, wie am 2/XII. 1907.

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_E = 43,3 \text{ } N \\ \lambda_E = 145,8 \text{ } E \end{array} \right\} \text{ Ostküste von Jesso.}$$

$$\sigma = 7140 \text{ klm.}$$

$$\sigma_1 = 8640 \text{ »}$$

**Erdbeben am 25/XII. 1907. Seism. No 53.**

Ein ganz ungewöhnliches Beben: sehr kurzdauernd und sehr reich an kurzperiodischen Schwingungen ( $T_p = \text{etwa } 1,5^s$ ), hauptsächlich am Anfang.

*P* und *S* sind deutlich zu erkennen. Eigentliche lange Wellen fehlen. Die kurzperiodischen Schwingungen sind auch nach *S* vorhanden. Im weiteren Verlauf der Kurve scheint es, als ob zwei Hauptwellenarten sich überlagert hätten, die eine mit einer Periode von etwa 10—15 Sekunden, die andere mit einer Periode von etwa 2 Sekunden.

Die Ausschläge des Pendels III waren sehr klein.

Pulkowa.

Göttingen.

	Pendel I	Pendel II	
<i>P</i>	22 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup>	22 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup>	22 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>
<i>S</i>	22 47 41	22 47 42	—
<i>F</i>	23 5,7	—	23 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>
<i>s</i>	3400 klm.	—	

Es wurden einige Perioden und Amplituden gemessen, um die Grössenordnung von  $x_m$  festzustellen.

Pulkowa.

Göttingen.

	<i>t</i>		$T_p$			$x_m$		<i>t</i>	$T_p$	$A_E$	$A_N$
	Pend. I	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II						
$M_1$	22 <sup>h</sup> 42,7 <sup>m</sup>	1,45 <sup>s</sup>	1,45 <sup>s</sup>	5 <sup>μ</sup>	5 <sup>μ</sup>						
$M_2$	22 44,0	1,53	1,48	4	3						
$M_3$	22 46,5	1,50	1,50	—	—						
$M_4$	22 52,5	9,6	—	8	6	( <i>M'</i> )	22 <sup>h</sup> 55 <sup>3/4</sup> <sup>m</sup>	7 <sup>s</sup>	?	3 <sup>μ</sup>	

Es ist zu bemerken, dass auf den Seismogrammen für grössere Werte von  $T_p$  die maximalen Ausschläge des Galvanometers  $y_1$  viel grösser ausfallen, als für kleine Perioden. Trotzdem unterscheiden sich die berechneten Werte von  $x_m$  recht wenig von einander.

Es ist z. B. für das Pendel I:

$$\begin{aligned}
 T_p = 1,45 & \quad y_1 = 1,4^m/m & \quad x_m = 5^\mu \\
 T_p = 9,6 & \quad y_1 = 10,6 & \quad x_m = 8^\mu.
 \end{aligned}$$

Man muss diesen Umstand (den Einfluss der Periode  $T_p$ ) sehr beachten, wenn man bei einer flüchtigen Betrachtung der Seismogramme Schlüsse über die Grösse der Amplitude der Bodenschwankungen ziehen will.

Epizentrum Kokan.

$$\varphi_E = 40,5 \text{ } N$$

$$\lambda_E = 70,9 \text{ } E$$

$$\sigma = 3510 \text{ km.}$$

$$\sigma_1 = 4720 \text{ »}$$

**Erdbeben am 30/XII. 1907. Seism. №№ 61—62.**

Der Lichtpunkt vom Pendel I war nicht in Ordnung. Verarbeitet wurden nur die Seismogramme von den Pendeln II und III. Die Amplituden vom Pendel III waren sehr klein, infolgedessen lässt das entsprechende Seismogramm keine sehr genaue Bestimmung von  $T_p$  zu (sehr flache Kurve). Zur Berechnung von  $x_m$  wurden die Perioden  $T_p$  nach dem Pendel II genommen.

Bei diesem Beben traten einige sehr regelmässige Sinusoiden auf.

	<i>Pulkowa.</i>		<i>Göttingen.</i>
<i>P</i>	5 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	} Nach dem Pendel II.	5 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup>
<i>S</i>	5 49 43		5 49 40
<i>L</i>	5 53,8		6 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
<i>F</i>	ca. 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> <sup>h</sup>		7 20
<i>s</i>	9500 klm.)		9000 klm.

	<i>Pulkowa.</i>						<i>Göttingen.</i>			
	<i>t</i>		<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>		<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>A<sub>E</sub></i>	<i>A<sub>N</sub></i>
	Pend. II	Pend. III	Pend. II	Pend. III	Pend. II	Pend. III				
<i>M<sub>1</sub></i>	6 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup>	6 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	19 <sup>s</sup> 4	18 <sup>s</sup> 4	31 <sup>μ</sup>	37 <sup>μ</sup>	<i>M'</i> 6 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	29 <sup>s</sup>	—	100 <sup>μ</sup>
<i>M<sub>2</sub></i>	6 22 55	6 22 53	18,6	17,9	52	61				
<i>M<sub>3</sub></i>	6 28 32	6 28 30	18,3	18,0	31	35				
<i>M<sub>4</sub></i>	6 31 25	6 31 23	14,8	15,7 <sup>1)</sup>	13	16				

1) Unregelmässige Sinusoide.

Epizentrum bei Managua (Nicaragua).

$$\varphi_E = 12,0 \text{ N}$$

$$\lambda_E = 86,3 \text{ W}$$

$$\sigma = 10260 \text{ km.}$$

$$\sigma_1 = 9400 \text{ »}$$

**Erdbeben am 11. Januar 1908. Seism. № 84.**

Starkes Beben. Verarbeitet wurden verschiedene Maxima nach allen drei Pendeln. Die Ausschläge bei den Pendeln I und II wurden zuweilen so gross, dass die entsprechenden  $y_1$  durch Extrapolation gefunden wurden. Für solche starke Beben waren die Pendel I und II eigentlich zu empfindlich.

In der Nähe von  $P$  kurze Perioden, von etwa  $T_p = 1,5$ ; ausserdem eine längere Periode von etwa  $T_p = 10\frac{1}{2}$  Sek.

Die verschiedenen Phasen ( $P$ ,  $S$ ,  $L$  und  $F$ ) wurden nach den beiden Pendeln I und II ermittelt.

	<i>Pulkowa.</i>		<i>Göttingen.</i>
	Pendel I	Pendel II	
$P$	3 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 0 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 59 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup>
$S$	3 55 8	3 55 7	3 57 37
$L$	4 10 39	4 10 38	4 15 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
$F$	5 34,7	—	6 15
$s$	7800 km.		9300 km.

Die Differenz der Werte von  $s$  für Pulkowa und Göttingen beträgt 1500 km. Da nun die wahre Entfernung zwischen diesen beiden Stationen (1559 km.) sich recht wenig von 1500 km. unterscheidet, so können wir annehmen, dass das Beben sich ungefähr auf dem grossen Kreise Pulkowa — Göttingen ausgebreitet hat und folglich etwa aus einer Gegend südlich von Japan stammt.

Das Epizentrum befand sich in der Tat in Formosa.  
Für das Nordende von Formosa können wir setzen

$$\varphi_E = 25,3 \text{ } N$$

$$\lambda_E = 121,6 \text{ } E$$

und für das Südende dieser Insel

$$\varphi_E = 21,9 \text{ } N$$

$$\lambda_E = 120,9 \text{ } E.$$

Dementsprechend ergibt sich im ersten Falle

$$\sigma = 7670 \text{ klm.}$$

$$\sigma_1 = 9200 \text{ »}$$

und im zweiten

$$\sigma = 7950 \text{ klm.}$$

$$\sigma_1 = 9460 \text{ »}$$

Nach dem Eintreffen der langen Wellen traten mehrere regelmässige Maxima auf. Es wurden 17 Maxima gemessen.

Die Ausmessung der Seismogramme lieferte folgende Werte.

Die angeführten Perioden  $T_p$  sind im allgemeinen Mittelwerte aus den Angaben der Pendel I und II.

	$t$			$T_p$	$x_m$		
	Pend. I	Pend. II	Pend. III		Pend. I	Pend. II	Pend. III
$M_1$	4 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 39 <sup>s</sup>	—	—	21,7	113 <sup>μ</sup>	137 <sup>μ</sup>	106 <sup>μ</sup>
$M_2$	—	4 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 0 <sup>s</sup>	—	19,5	—	186	—
$M_3$	4 15 37	4 15 40	4 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup>	18,4	66	65	67
$M_4$	4 15 55	4 15 56	4 15 55	12,5	44	39	39
$M_5$	—	—	—	13,5	56	50	52
$M_6$	4 16 6	4 16 8	4 16 7	13,8	49	41	51
$M_7$	4 19 13	4 19 16	4 19 15	16,5	65	63	68

	$t$			$T_p$	$x_m$		
	Pend. I	Pend. II	Pend. III		Pend. I	Pend. II	Pend. III
$M_8$	4 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	4 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup>	4 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	16,3	55 <sup>μ</sup>	50 <sup>μ</sup>	60 <sup>μ</sup>
$M_9$	4 19 56	4 19 59	4 19 57	15,8	52	50	57
$M_{10}$	4 21 16	4 21 19	4 21 18	15,7	75	70	76
$M_{11}$	4 22 35	—	4 22 35	13,5	23	20	22
$M_{12}$	4 23 1	4 23 2	4 23 1	13,4	25	23	24
$M_{13}$	—	—	—	13,5	23	19	22
$M_{14}$	4 27 5	4 27 7	4 27 5	18,3	40	38	41
$M_{15}$	—	—	—	19,1	45	41	42
$M_{16}$	4 57 13	4 57 15	4 57 13	16,5	27	26	26
$M_{17}$	4 57 31	4 57 33	4 57 31	15,3	26	22	23

Die Zahlen dieser Tabelle weisen, in Anbetracht der Schwierigkeit der genauen Bestimmung von  $x_m$  infolge gewisser Unsicherheiten in den wahren Werten von  $T$ ,  $\mu^2$  etc., eine recht befriedigende Übereinstimmung auf. Nicht nur die Momente des Eintreffens verschiedener Maxima nach allen drei Pendeln, sondern auch die wahren Amplituden  $x_m$  der Bodenverschiebung, stimmen im allgemeinen recht gut überein.

Trotz der verschiedenen Empfindlichkeit und verschiedenen Eigenperioden dieser drei fast aperiodischen Pendel, weisen die von ihnen gelieferten Seismogramme einen ganz ähnlichen Gang auf.

Dieses wird durch die Tafel I veranschaulicht. Die oberen zwei Kurven geben einen Teil der Seismogramme von den Pendeln I und III<sup>1)</sup>, verkleinert im Verhältnis von etwa 0,44 zu 1 wieder. Die untere Kurve gibt den entsprechenden Teil des Seismogramms vom Pendel II in halber Grösse wieder, sodass die Länge einer Minute auf allen Kurven gleich gross ausfällt. Die Minuten werden durch kurze Unterbrechungen der Kurven (von den Pendeln III und II) gekennzeichnet. Die angegebene Zeit ist immer die mittlere Greenwich'sche.

<sup>1)</sup> Für das Pendel III die innere Kurve.

Eine genaue Betrachtung dieser Kurven lässt sofort erkennen, dass sie einen ganz ähnlichen Verlauf aufweisen. Verschiedene Details der einen Kurve (hauptsächlich bei den empfindlicheren Pendeln I und II) lassen sich auf der anderen Kurve sofort wiederfinden. Man hat also wirklich etwas Reelles in der Hand und die Eigentümlichkeiten jedes Pendels selbst kommen also, wenn die Bedingung einer sehr starken Dämpfung erfüllt ist, nicht mehr zur Geltung.

Ein solches günstiges Resultat lässt sich eben durch die von mir angewandte sehr starke Dämpfung erzielen. Obgleich diese Pendel ganz nahe an der Grenze der Aperiodizität waren, war die Empfindlichkeit der Pendel I und II recht gross, wie aus den Kurven unmittelbar zu ersehen ist.

Dies alles beweist also die völlige Zweckmässigkeit der getroffenen Anordnung, die nicht nur in der Praxis sich als sehr einfach und bequem erwiesen hat, sondern auch keine komplizierten und kostspieligen Vorrichtungen erfordert.

Für das betrachtete Beben finden sich in den Göttingener Wochenberichten folgende drei Maxima:

	$t$	$T_p$	$A_E$	$A_N$
$M'$	$4^{\frac{1}{2}} 21\frac{1}{3}^m$	$30^s$	$66^\mu$	$85^\mu$
$M''$	$4 24\frac{1}{2}$	19	60	70
$M'''$	$4 28\frac{1}{2}$	14	60	12

Das Maximum  $M'''$  in Göttingen ist höchst wahrscheinlich identisch mit dem Maximum  $M_{10}$  in Pulkowa, da in der Nähe desselben vorher und nachher die Amplituden in Pulkowa kleiner waren.

Die Differenz der entsprechenden Momente  $\Delta t$  beträgt  $7,2^m$ .

Nun muss aber nach den Formeln (24) und (27) eine kleine Zeitverspätung  $\tau_1$  für das entsprechende Galvanometerseismogramm in Pulkowa hinzutreten. Für  $T_p = 15,7$  Sek. beträgt diese Zeitverspätung etwa  $0,1^m$ .

Sind nun diese Maximen in Pulkowa und Göttingen wirklich identisch, so lässt sich aus ihnen der angenäherte Wert für die Geschwindigkeit der Ausbreitung der Oberflächenwellen  $V$  berechnen.

Es wird etwa

$$V = \frac{1559}{7,3 \times 60} = 3,6 \text{ km./sec.}$$

Erdbeben am 12/I. 1908. Seism. № 88.

*P* ist sehr deutlich.

*S* ist nicht zu finden.

In den Göttingener Wochenberichten ist dieses Beben nicht angegeben.

*Pulkowa.*

<i>P</i>	10 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 6 <sup>s</sup>
<i>S</i>	—
<i>L</i>	10 35½
<i>F</i>	11 7¼

Es wurden weiter vier Maxima für alle drei Pendel gemessen. Für die Berechnung von  $x_m$  wurde der Mittelwert von  $T_p$  aus den Angaben der Pendel I und II genommen.

	<i>t</i>			<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>		
	Pend. I	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. III
$M_1$	10 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 3 <sup>s</sup>	14,1	14,7	9 <sup>μ</sup>	8 <sup>μ</sup>			7 <sup>μ</sup>
$M_2$	10 41 30	14,7	14,3	8	7			7
$M_3$	10 42 30	13,1	13,3	8	8			7
$M_4$	10 42 43	14,3	14,4	6	5			7

Die Amplituden an der Galvanometerkurve vom Pendel III waren recht klein. Das Maximum von  $2y_1$  war nur gleich  $1,3^m/m$ .

Erdbeben am 15/I. 1908. Seism. № 94.

Die Seismogramme von allen drei Pendeln zeigen einen ganz ähnlichen Verlauf.

	Pulkowa.		Göttingen.
	Pendel I	Pendel II	
<i>P</i>	13 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>	—	13 <sup>h</sup> 9 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup>
<i>S</i>	13 17 15	13 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup>	13 19 46
<i>L</i>	13 31 13	13 31 12	13 36 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
<i>F</i>	14 23	—	14 50
<i>s</i>	7550 klm.	—	9100 klm.

Die Differenz der Werte von *s* für Pulkowa und Göttingen beträgt 1550 klm.<sup>1)</sup> Infolgedessen hat sich dieses Beben wahrscheinlich ebenfalls annähernd längs dem grossen Kreis Pulkowa — Göttingen ausgebreitet.

Das Epizentrum lag etwas östlich von Japan. Nehmen wir für die Koordinaten des Epizentrums die Koordinaten des östlicheren Punktes von Nipon, also

$$\varphi_E = 39,5 \text{ } N$$

$$\lambda_E = 142,1 \text{ } E,$$

dann ergibt sich

$$\sigma = 7350 \text{ klm.}$$

$$\sigma_1 = 8870 \text{ »}$$

In Wirklichkeit müssten  $\sigma$  und  $\sigma_1$  etwas grösser sein.

Es wurden nun weiter 13 verschiedene Maxima ausgemessen.

	<i>t</i>		<i>T<sub>p</sub></i>		<i>a<sub>m</sub></i>		
	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. III
<i>M<sub>1</sub></i>	13 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup>	13 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>	21,0	20,7	25 <sup>μ</sup>	24 <sup>μ</sup>	27 <sup>μ</sup>
<i>M<sub>2</sub></i>	13 35 54	13 35 54	15,1	15,0	16	16	17
<i>M<sub>3</sub></i>	—	—	13,7	13,7	11	11	12

<sup>1)</sup> Die Entfernung Pulkowa — Göttingen  $s_0$  beträgt 1559 klm.

	$t$		$T_p$		$x_m$		
	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. III
$M_4$	13 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 8 <sup>s</sup>	13 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 8 <sup>s</sup>	13,1	13,7	10 <sup>μ</sup>	9 <sup>μ</sup>	9 <sup>μ</sup>
$M_5$	—	—	16,2	16,2	16	14	12
$M_6$	13 36 24	13 36 24	17,9	17,6	21	20	19
$M_7$	13 36 52	13 36 52	17,2	17,1	22	21	22
$M_8$	13 40 0	13 40 0	15,5	15,8	31	32	33
$M_9$	13 40 45	13 40 46	16,1	16,0	34	34	33
$M_{10}$	—	—	17,0	16,4	33	34	36
$M_{11}$	13 41 3	13 41 4	17,5	17,5	27	28	33
$M_{12}$	—	—	18,4	18,2	26	26	27
$M_{13}$	13 44 45	—	16,9	—	18	—	17

Die Übereinstimmung in den Werten von  $x_m$  ist eine sehr gute.

In den Göttingener Wochenberichten ist nur ein Maximum bei  $t = 13^h 43\frac{1}{3}^m$  angegeben, wobei

$$T_p = 26^s$$

und

$$A_{\bar{z}} = 45^{\mu}$$

$$A_N = 16^{\mu}$$

war.

Dieses Maximum lässt sich mit keinem der früher angegebenen Maxima identifizieren, da  $T_p$  viel grösser war.

Eine nähere Betrachtung des Seismogramms vom Pendel I lässt jedoch ein Maximum mit  $T_p = 25^s$  erkennen bei  $t = 13^h 35\frac{3}{4}^m$ , wobei  $x_m = 17^{\mu}$  sich ergab.

Für dieses  $T_p$  berechnet sich  $\tau_1$  nach der Formel (27) zu etwa  $0,2''$ .

Sind nun diese beiden Maxima wirklich identisch, so folgt für die Geschwindigkeit  $V$  der Oberflächenwellen etwa

$$V = \frac{1559}{8,1 \cdot 60} = 3,2 \text{ km./sec.}$$

Erdbeben am 27/I. 1908. Seismogramm № 118.

Am Tage dieses Bebens herrschte in Pulkowa starke mikroseismische Unruhe, welche die ersten und zweiten Vorläufer verdeckte. Aus demselben Grunde war es schwer  $L$  und  $F$  zu bestimmen.

Das Beben hatte einen ziemlich unregelmässigen Charakter. Es wurden nur zwei Maxima nach den Pendeln I und II verwertet. Zur Berechnung von  $x_m$  wurde der entsprechende Mittelwert von  $T_p$  (aus den Angaben der Pendel I und II) genommen.

	Pulkowa.						Göttingen.				
	$t$		$T_p$		$x_m$		$t$	$T_p$	$A_E$	$A_N$	
	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II					
$M_1$	16 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	16 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup>	17 <sup>s</sup> 6	18 <sup>s</sup> 1	16 <sup>μ</sup>	16 <sup>μ</sup>					
$M_2$	16 24 3	16 24 1	16,3	16,9	13	14	$M'$	16 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup> <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	11 <sup>s</sup>	10 <sup>μ</sup>	8 <sup>μ</sup>

Erdbeben am 31/I. 1908. Seismogramm № 125.

Das Beben hatte einen unregelmässigen Charakter und war reich an kleinen Perioden.

Es wurden nur die Aufzeichnungen des Pendels I verarbeitet und nur ein Maximum ausgemessen;  $S$  ist unsicher.

Pulkowa.				Göttingen.				
$P$	4 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup>			$i(P)$	4 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup> 1 <sup>s</sup>			
$S$	5 0 55				—			
$L$	—			$eL$	5 11			
$F$	5 15 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>				5 23			
$s$	= 4800 klm. (unsicher).				—			
	$t$	$T_p$	$x_m$		$t$	$T_p$	$A_E$	$A_N$
$M$	5 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup>	6 <sup>s</sup> 3	9 <sup>μ</sup>	$M'$	5 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	14 <sup>s</sup>	3 <sup>μ</sup>	2 <sup>μ</sup>

Epizentrum am Syr Darja etwa in der Nähe von Aulie-ata

$$\varphi_E = 42^{\circ}9 \text{ N}$$

$$\lambda_E = 71^{\circ}3 \text{ E}$$

$$\sigma = 3330 \text{ km.}$$

$$\sigma_1 = 4590 \text{ »}$$

**Erdbeben am  $\frac{1}{2}$  II. 1908. Seismogramm № 128.**

Infolge starker mikroseismischer Bewegungen beider Arten war es unmöglich  $P$  und  $S$  zu bestimmen. In der Nähe des Anfanges des Bebens fehlten die gewöhnlichen kurzperiodischen Bewegungen.

Es kann angenommen werden, dass das Beben etwa bei  $23^h 35^m$  anfang.

Es waren mehrere regelmässige Perioden auf den Seismogrammen zu erkennen. Es wurden im Ganzen 19 verschiedene Maxima ausgemessen und  $x_m$  für alle drei Pendel bei Zugrundelegung der Mittelwerte von  $T_p$  aus den Angaben der Pendel I und II abgeleitet.

*Pulkowa.*

*Göttingen.*

$$L \quad 23^h 46\frac{1}{2}^m \quad 23^h 35^m$$

$$F \quad \text{ca. } 1^h \quad 1^h$$

*Pulkowa.*

	$t$		$T_p$		$x_m$		
	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. III
$M_1$	$0^h 0^m 56^s$	$0^h 0^m 56^s$	$23,0$	$22,7$	$21^{\mu}$	$19^{\mu}$	$21^{\mu}$
$M_2$	$0 \ 1 \ 19$	$0 \ 1 \ 19$	$23,0$	$22,3$	$22$	$20$	$18$
$M_3$	$0 \ 1 \ 42$	$0 \ 1 \ 42$	$23,0$	$22,7$	$16$	$18$	$10$
$M_4$	—	—	$23,8$	$22,7$	$20$	$16$	$18$
$M_5$	$0 \ 3 \ 8$	$0 \ 3 \ 9$	$22,3$	$22,0$	$14$	$13$	$10$
$M_6$	$0 \ 4 \ 50$	$0 \ 4 \ 50$	$19,7$	$19,7$	$14$	$12$	$11$

	$t$		$T_p$		$x_m$		
	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. III
$M_7$	—	—	19 <sup>s</sup> ,5	19 <sup>s</sup> ,7	15 <sup>μ</sup>	13 <sup>μ</sup>	13 <sup>μ</sup>
$M_8$	0 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	0 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	19,4	19,4	14	13	12
$M_9$	—	—	19,0	18,3	11	10	11
$M_{10}$	0 5 28	0 5 28	18,2	18,3	9	9	5
$M_{11}$	0 6 22	0 6 20	19,7	19,4	13	14	12
$M_{12}$	—	—	19,7	19,4	12	12	13
$M_{13}$	0 9 51	0 9 51	16,7	17,0	6	6	6
$M_{14}$	—	—	15,4	16,2	7	6	6
$M_{15}$	0 10 6	0 10 7	16,5	15,9	8	7	6
$M_{16}$	—	—	16,7	15,9	8	7	8
$M_{17}$	0 11 50	0 11 50	16,1	15,8	8	8	8
$M_{18}$	—	—	15,9	15,8	7	7	8
$M_{19}$	0 12 5	0 12 5	15,9	16,0	7	7	7

Die Übereinstimmung in den Werten von  $t$ ,  $T_p$  und  $x_m$  ist im allgemeinen eine ganz befriedigende.

In Göttingen sind folgende Maxima bestimmt worden.

*Göttingen.*

	$t$	$T_p$	$A_E$	$A_N$
$M'$	23 <sup>h</sup> 56 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> <sup>m</sup>	26 <sup>s</sup>	13 <sup>μ</sup>	7 <sup>μ</sup>
$M''$	0 1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	19	15	10
$M'''$	0 5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	17	15	14
$M''''$	0 10 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	14	11	6

Eine sichere Identifizierung der Maxima in Pulkowa mit den für Göttingen ist kaum möglich.

Erdbeben am 9/II. 1908. Seismogramme №№ 142 und 143.

Verarbeitet wurden nur die Seismogramme von den Pendeln I und III, da das Pendel II an diesem Tage nicht in Ordnung war. Während dieses Bebens wurde das Papier auf der Trommel gewechselt; infolgedessen findet sich in den Aufzeichnungen dieses Bebens eine Lücke.

Der Eintritt der verschiedenen Phasen, so wie die  $T_p$  wurden nach dem Pendel I ermittelt.

$P$  ist, wegen der starken mikroseismischen Bewegungen beider Arten, schwer zu finden.

$S$  ist sehr ausgeprägt: ein starker, plötzlicher Ausschlag.

Dieses Beben besass einen sehr charakteristischen Typus von Fernbeben und hatte mehrere regelmässige Maxima. Für zwei Maxima bei dem Pendel I konnte man die entsprechenden  $y_1$  nicht mit Sicherheit bestimmen.

*Pulkowa.*

*Göttingen.*

$P$	18 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 56 <sup>s</sup>	18 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>
$S$	18 30 39 ( $T_p=13^s$ sofort nach $S$ )	18 33 1 ( $T_p=9^s$ )
$L$	18 41,0	18 50
$F$	19 56 $\frac{1}{2}$	20
$s$	8400 klm.	ca. 9500 klm.

	$t$		$T_p$		$x_m$			$t$		$T_p$	$A_E$	$A_N$
	Pend. I	Pend. I	Pend. I	Pend. II								
$M_1$	18 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 6 <sup>s</sup>	17 <sup>s</sup> 9	—	59 <sup>u</sup>								
$M_2$	18 48 14	16,4	—	37								
$M_3$	18 49 44	13,6	21 <sup>u</sup>	19								
$M_4$	18 49 56	11,2	17	17	$M'$	18 <sup>h</sup> 52 <sup>3/4</sup> <sup>m</sup>	21 <sup>s</sup>	14 <sup>u</sup>	45 <sup>u</sup>			
$M_5$	18 50 8	12,5	21	20	$M''$	18 57 <sup>1/4</sup>	14	20	9			
$M_6$	19 14 9	17,0	11	13								

Epizentrum unbekannt.

**Erdbeben am 14/II. 1908. Seismogramm No 152.**

Schwaches und sehr unregelmässiges Beben. Regelmässige Stellen fehlen fast gänzlich.

Es wurde nur der Eintritt einiger Phasen nach dem Pendel I bestimmt.

*P* ist sehr undeutlich: die mikroseismischen Bewegungen stören. Der entsprechende Moment soll nur als Annäherungswert betrachtet werden. Vor diesem *P* sind Spuren von kleinperiodischen Bewegungen noch erkennbar.

*S* ist sehr scharf und ausgeprägt.

<i>Pulkowa.</i>			<i>Göttingen.</i>	
<i>P</i>	( 9 <sup>h</sup> 9 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup> )		<i>i</i>	9 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup> 19 <sup>s</sup>
<i>S</i>	9 17 34			—
<i>L</i>	—		<i>eL</i>	9 16 2
<i>F</i>	10 11		<i>F</i>	9 29
<i>s</i>	(6800 klm.)			—

**Erdbeben am 5/III. 1908. Seismogramm No 187.**

Sehr charakteristisches Beben mit mehreren ausgesprochenen regelmässigen Maxima.

Das Pendel III hat in diesem Fall recht wenig angezeigt. Wie es sich nachher herausgestellt hat, waren seine Spitzen ganz abgestumpft; daher wurden dieselben am 27/III durch neue ersetzt. Dieses zeitweilige Abstumpfen der Spitzen bildet eben einen der Hauptnachteile dieser Art Pendel.

Die Kurven der Pendel I und II haben einen ganz auffallend ähnlichen Verlauf aufgewiesen. Dies wird durch die Tafel II veranschaulicht, auf welcher ein Teil der Aufzeichnungen dieser beiden Instrumente wiedergegeben ist.

Die obere Kurve entspricht den Aufzeichnungen des Pendels I verkleinert im Verhältnis von 0,88 zu 1, die untere den Aufzeichnungen des Pendels II in natürlicher Grösse. Die Länge einer Minute ist auf beiden Kurven dieselbe.

Diese Kurven haben einen ganz ähnlichen Gang, wobei alle Details der einen Kurve auf der anderen wiederzufinden sind.

Für den Eintritt der verschiedenen Phasen ergaben sich folgende Werte.

*Pulkowa.*

*Göttingen.*

	Pendel I	Pendel II	
<i>P</i>	2 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 6 <sup>s</sup> ( $T_p = 7^s,6$ )	2 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup> ( $T_p = 7^s,2$ )	2 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 4 <sup>s</sup> ( $T_p = 6^s$ )
<i>S</i>	2 39 35	2 39 34	2 41 36
<i>L</i>	2 57 10	2 57 10	3 5
<i>F</i>	5 30	—	5 14
<i>s</i>	ca. 9500 km.	—	9500 km.E—W-lich.

Nach diesen Daten war die Herddistanz von Pulkowa und Göttingen ungefähr dieselbe und zwar etwa gleich 9500 km. Dies stimmt nicht mit der Lage des Epizentrums überein. Nach Prof. Rudolph's Angaben befand sich das Epizentrum dieses Bebens in Taruna (Gross-Sangi-Inseln).

$$\varphi_E = 3^{\circ},7 \text{ N}$$

$$\lambda_E = 125^{\circ},5 \text{ E.}$$

Folglich ist

$$\sigma = 9940 \text{ km.}$$

und

$$\sigma_1 = 11400 \text{ »}$$

Es wurden nun 30 verschiedene mehr oder weniger regelmässige Maxima für die Pendel I und II ausgemessen. Man erhielt dabei folgende Werte, wobei für die Berechnung von  $x_m$  die entsprechenden Mittelwerte von  $T_p$  nach beiden Pendeln zugrunde gelegt wurden.

	<i>Pulkowa.</i>		$T_p$		$x_m$	
	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II
$M_1$ <sup>1)</sup>	2 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup>	2 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 50 <sup>s</sup>	16,2	15,0	40 <sup>m</sup>	34 <sup>m</sup>
$M_2$	3 0 40	3 0 42	34,8	35,1	146	121
$M_3$	3 1 14	3 1 15	34,8	36,0	141	113
$M_4$	3 3 26	3 3 28	23,8	23,4	115	98
$M_5$	3 3 51	3 3 52	25,2	24,8	108	90

1) Fast sofort nach dem Eintritt von *S*.

*Pulkowa.*

	$t$		$T_p$		$\alpha_m$	
	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II
$M_6$	3 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup> 19 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup>	26,4	26,2	88 <sup>h</sup>	74 <sup>h</sup>
$M_7$	—	—	27,2	26,9	72	61
$M_8$	3 7 30	3 7 31	17,5	17,6	42	35
$M_9$	—	—	17,7	17,8	42	36
$M_{10}$	3 7 49	3 7 50	19,1	18,4	42	35
$M_{11}$	3 9 24	3 9 24	21,5	21,6	48	41
$M_{12}$	3 10 4	3 10 4	18,0	17,8	42	32
$M_{13}$	3 10 22	3 10 22	18,5	18,3	39	31
$M_{14}$	3 11 55	3 11 57	19,4	20,0	53	48
$M_{15}$	3 12 13	3 12 15	17,4	17,9	41	39
$M_{16}$	—	—	16,6	16,8	26	25
$M_{17}$	3 13 19	3 13 21	18,5	18,2	37	32
$M_{18}$	3 15 10	3 15 9	16,8	16,6	31	25
$M_{19}$	3 15 26	3 15 26	17,6	17,5	29	26
$M_{20}$	3 15 47	3 15 48	19,7	19,7	33	29
$M_{21}$	—	—	20,9	20,8	38	32
$M_{22}$	3 21 50	3 21 52	16,9	17,4	20	15
$M_{23}$	—	—	17,0	18,0	21	19
$M_{24}$	3 23 7	3 23 8	20,5	20,7	17	13
$M_{25}$	—	—	20,9	20,8	17	14
$M_{26}$	3 25 9	3 25 9	18,0	18,2	20	16
$M_{27}$	3 29 40	3 29 39	20,5	19,9	12	9
$M_{28}$	3 32 20	3 32 19	16,9	17,0	12	10
$M_{29}$	3 32 36	3 32 36	16,6	17,0	10	9
$M_{30}$	—	—	16,7	17,0	11	8

Die Übereinstimmung in den Momenten des Eintreffens der verschiedenen Maxima und in den Werten von  $T_p$  nach beiden Pendeln ist im Allgemeinen als eine recht befriedigende zu bezeichnen.

Was nun die Werte von  $x_m$  anbelangt, so sind dieselben nach dem Pendel II durchweg etwas kleiner als nach dem Pendel I ausgefallen, jedoch ist der Unterschied im Allgemeinen nicht bedeutend. Dies mag wohl von einer gewissen Unsicherheit in den Werten der Eigenperioden  $T$  und der wahren Werte von  $\mu^2$  herrühren. Es wurde hier angenommen, dass beide Pendel genau an der Grenze der Aperiodizität ständen (siehe die Tabelle II auf Seite 45). Diese Bedingung genau zu treffen ist jedoch eine ziemlich schwierige Sache. Es kommt auch noch der Umstand hinzu, dass die Form der Kurven in der Nähe der Maxima zuweilen von der einer regelmässigen Sinusoide etwas abweicht, was selbstverständlich einen gewissen Einfluss auf die berechneten Werte von  $x_m$  haben muss.

Ausserdem ist es wohl denkbar, dass das Pendel I (vom gewöhnlichen Zöllner'schen Typus) wegen seiner konstruktiven Eigenschaften überhaupt etwas grössere Werte für  $x_m$  ergeben muss. In der Tat ist seine Masse bedeutend grösser als bei dem Pendel II und es ist wohl denkbar, dass bei periodischen Schwingungen des Bodens das ganze System (Masse + Drähte) infolge der Elastizität der Drähte gewisse Seitenverschiebungen erfährt, was eine Vergrösserung der entsprechenden Amplitude  $y_1$  bei der Galvanometerkurve nach sich ziehen kann.

Es sei noch hier zum Schluss darauf aufmerksam gemacht, dass auf der Galvanometerkurve die grössten Ausschläge des Galvanometers nicht immer mit den grössten Ausschlägen der Bodenbewegung zusammenfallen, da für die Ableitung der wahren  $x_m$  die Periode  $T_p$  der entsprechenden Welle sehr maassgebend ist. Dies wird sich durch die Vergleichung der Werte von  $x_m$  aus der früheren Tabelle mit den Kurven auf der Tafel II deutlich erkennen lassen. (Siehe auch die Formel (29)).

In den Göttingener Wochenberichten sind für dieses Beben drei Maxima angegeben.

Göttingen.

	$t$		$T_p$	$A_E$	$A_N$
$M'$	3 <sup>h</sup>	9 <sup>m</sup>	33 <sup>s</sup>	40 <sup>μ</sup>	70 <sup>μ</sup>
$M''$	3	13 <sup>1/2</sup>	23	40	80
$M'''$	3	21	20	40	40

Das Maximum  $M'$  in Göttingen ist wahrscheinlich identisch mit einem der beiden Maxima  $M_2$  oder  $M_3$  in Pulkowa (man vergleiche die  $T_p$ ).

**Erdbeben am 12/III. 1908. Seismogramm № 203.**

Schwaches und wenig charakteristisches Beben. Eigentliche lange Wellen, sowie regelmässiger Stellen auf den Kurven fehlen.

$P$  ist nicht sehr deutlich, während  $S$  ausserordentlich deutlich auf den Kurven von allen drei Pendeln auftritt. Verarbeitet wurden nur die Aufzeichnungen des Pendels I.

Kurzperiodische Bewegungen dauern auch nach dem Eintritt der zweiten Vorphase ( $S$ ) fort.

	<i>Pulkowa.</i>	<i>Göttingen.</i>
$P$	19 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 39 <sup>s</sup>	19 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>
$S$	19 38 23	19 40 44
Max.	19 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> — 19 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	19 52 <sup>1/2</sup> $T_p = 10^s$ $A_E = 2^\mu$ $A_N = 2^\mu$ .
$F$	20 <sup>h</sup> 2 <sup>m</sup> ,4	20 11
$s$	4000 Klm.	4800 Klm.

Epizentrum Passa-Hissar. Die Koordinaten von Hissar sind nun

$$\varphi_E = 38,5 N$$

$$\lambda_E = 68,5 E,$$

also

$$\sigma = 3570 \text{ Klm.}$$

$$\sigma_1 = 4680 \text{ »}$$

**Erdbeben am 13/III. 1908. Seismogramme №№ 203 und 204.**

Sehr schwaches und ganz unregelmässiges Beben.

$P$  und  $S$  lassen sich nicht ermitteln.

Anfang der Bodenbewegungen in Pulkowa (vielleicht  $L$ ) 18<sup>h</sup> 37<sup>m</sup>

Ende » » » » ca. 19 38

In Göttingen.

$eL$  18<sup>h</sup> 37<sup>m</sup>

$F$  19 26.

**Erdbeben am 14/III. 1908. Seismogramm № 207.**

Schwaches und sehr kurzdauerndes Beben.

$P$  und  $S$  sind ziemlich deutlich auf den Kurven von den Pendeln I und II. Nur ein einziges regelmässig aussehendes Maximum ist vorhanden.

	Pulkowa.			Göttingen.	
$P$	19 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup>	} Nach dem Pendel I	}	19 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup>	}
$S$	19 36 56			$i(S)$ 19 35 47	
$L$	19 40,8			—	
$F$	19 49,8			20	
$s$	2700 Klm.			2100 <sup>1)</sup>	

	Pulkowa.					Göttingen.			
	$t$		$T_p$		$\alpha_m$	$t$	$T_p$	$A_E$	$A_N$
	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. I				
$M_1$	19 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	10 <sup>s</sup> ,8	11 <sup>s</sup> ,1	4 <sup>μ</sup>	4 <sup>μ</sup>	$M'$ 19 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	9 <sup>s</sup>	1 <sup>μ</sup>	—
						$M_N$ 19 42 <sup>1/2</sup>	9	—	2 <sup>μ</sup>

Nach Prof. Rudolph's Angaben ist das Epizentrum unbekannt, aber vermutlich

$$\varphi_E = 38^\circ N$$

$$\lambda_E = 30 E,$$

also

$$\sigma = 2420 \text{ Klm.}$$

$$\sigma_1 = 2170 \text{ »}$$

<sup>1)</sup> Unter der Annahme, dass  $i(S)$  in Göttingen wirklich mit der zweiten Vorphase identisch ist.

Erdbeben am 15/III. 1908. Seismogramm № 208.

Schwaches Beben. Verarbeitet wurden nur die Aufzeichnungen der Pendel I und II.

*P* ist sehr deutlich. Vor *P* Spuren von kurzperiodischen Bewegungen.

*S* ist schwer zu finden, da auch die mikroseismischen Bewegungen sehr störend einwirken.

*L* und *F* lassen sich schwer bestimmen.

Einige regelmässige Maxima sind vorhanden, aber die entsprechenden Amplituden ( $y_1$ ) waren verhältnismässig sehr klein.

Dieses Beben hatte vielleicht noch nicht ganz aufgehört, als wiederum kurzperiodische Bewegungen (preliminary tremors) nach Art der ersten Vorphase aufgetaucht waren. Diese Vorphase sei durch *P'* bezeichnet. *P'* ist jedoch sehr undeutlich und wurde also nur angenähert bestimmt. Die entsprechende zweite Vorphase (*S'*) war aber sehr deutlich zu erkennen.

Im weiteren Verlauf der Kurven fehlen die langen Wellen und regelmässigeren Stellen; die Bodenbewegung klang überhaupt sehr rasch ab.

Pulkowa.

Göttingen.

	Pendel I	Pendel II	
<i>P</i>	9 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	9 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup>	9 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup>
<i>S</i>	—	—	9 42 23
<i>s</i>	—	—	ca. 13000 Klm. N—S-lich.
<i>P'</i>	(11 19 9)	—	11 19 27
<i>S'</i>	11 22 42	11 22 40	(?) 11 21 42
<i>s'</i>	(2100 Klm.) <sup>1)</sup>	—	—

Für das erste dieser zwei Beben wurden 5 verschiedene Maxima ausgemessen. Es ergab sich folgendes.

1) Nahes Beben.

<i>Pulkowa.</i>						<i>Göttingen.</i>				
<i>t</i>		<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>		<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>A<sub>E</sub></i>	<i>A<sub>N</sub></i>	
Pendel I	Pendel II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II					
$M_1$	10 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup>	10 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup>	22,1	21,5	4 <sup>μ</sup>	3 <sup>μ</sup>	$M'$	10 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>	4 <sup>μ</sup>	6 <sup>μ</sup>
$M_2$	10 37 21	10 37 20	18,8	19,5	3	2	$M''$	10 36 21	2	6
$M_3$	10 40 11	10 40 10	24,2	24,8	4	3				
$M_4$	10 59 1	10 59 0	19,5	18,1 <sup>1)</sup>	3	2	$M'''$	10 56 19	3	4
$M_5$	11 4 17	11 4 16	20,8	21,2	6	4				

Epizentrum unbekannt.

**Erdbeben am 17/III. 1908. Seismogramm No 211.**

Sehr kurzdauerndes, unregelmässiges und schwaches Beben.

Die beiden Vorläufer sind weder in Pulkowa noch in Göttingen zu erkennen. Es scheint, als ob das Beben direkt mit den langen Wellen angefangen hätte.

Es ist nur ein einziges ziemlich regelmässiges Maximum zu verzeichnen.

<i>Pulkowa.</i>		<i>Göttingen.</i>
$L$	1 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	Nach Pendel I
$F$	1 45	
		1 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>
		1 51

<i>Pulkowa.</i>						<i>Göttingen.</i>				
<i>t</i>		<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>		<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>A<sub>E</sub></i>	<i>A<sub>N</sub></i>	
Pendel I	Pendel II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II					
$M$	1 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 23 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup>	16,7	16,0	6 <sup>μ</sup>	5 <sup>μ</sup>	$M'$	1 <sup>h</sup> 38 <sup>3/4</sup> <sup>m</sup> 19 <sup>s</sup>	2 <sup>μ</sup>	3 <sup>μ</sup>

<sup>1)</sup> Angenähert.

**Erdbeben am 19/III. 1908. Seismogramm № 215.**

Äusserst schwaches Beben. Die Vorläufer sind nicht zu erkennen. Nur zwischen  $4^h 20^m$  und  $4^h 23^m$  befinden sich einige regelmässige Wellenzüge.

Es hat wiederum den Anschein, als ob das Beben mit den langen Wellen begonnen hätte.

Die mikroseismischen Bewegungen zweiter Art wirken bei dem Pendel I sehr störend ein. Es wurden daher nur die Aufzeichnungen des Pendels II, welches viel besser vor den äusseren Luftbewegungen geschützt war, verarbeitet.

<i>Pulkowa.</i>				<i>Göttingen.</i>			
<i>L</i>	$4^h 8^m 7^s$			<i>eL</i>	$4^h 13^m$		
<i>F</i>	$4 38$				$5$		
	$t$	$T_p$	$x_m$		$t$	$T_p$	$A_E$
<i>M</i>	ca. $4^h 21^m$	$20^s, 2$	$2^{\mu}$	<i>M'</i>	$4^h 21^m$	$30^s$	—
							$3^{\mu}$

**Erdbeben am 23/III. 1908. Seismogramm № 224.**

Ziemlich unregelmässiges Beben.

*P* ist sehr undeutlich, *S* ist sehr schwer zu finden. Die mikroseismischen Bewegungen wirken ebenfalls störend ein.

<i>Pulkowa.</i>		<i>Göttingen.</i>	
<i>P</i>	$12^h 39^m 59^s$		—
<i>(S)</i>	$12 48 31$	<i>(eS)</i>	$12^h 52^m 13^s$
<i>L</i>	$\left\{ \begin{array}{l} 13 1 \\ 13 11 \end{array} \right.$	<i>eL</i>	$13 19$
<i>F</i>	$14 1$		$13 50$

	Pulkowa.						Göttingen.			
	$t$		$T_p$		$x_m$		$t$	$T_p$	$A_E$	$A_N$
	Pendel I	Pendel II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II				
$M_1$	13 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup>	13 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup>	20,3	20,9	15 <sup>μ</sup>	12 <sup>μ</sup>				
$M_2$	13 19 56	13 19 56	21,7	21,3	22	18	$M'$	13 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>	36 <sup>s</sup>	26 <sup>μ</sup> 45 <sup>μ</sup>
$M_3$	13 25 14	13 25 12	19,8	20,1	10	8				
$M_4$	13 34 8	13 34 8	17,6	17,9	5	4				

**Erdbeben am 24/III. 1908. Seismogramm № 227.**

Sehr unregelmässiges Beben, am Anfang ziemlich reich an kleinen Perioden. Eigentliche lange Wellen fehlen.  $P$  ist ziemlich undeutlich,  $S$  ist nicht zu finden.

Es wurden nur die Angaben des Pendels I verarbeitet und dabei nur zwei Maxima gemessen, die jedoch keinen sehr regelmässigen Charakter hatten.

Die entsprechenden Angaben für Göttingen fehlen.

$P$  22<sup>h</sup> 14<sup>m</sup> 17<sup>s</sup>

$S$  —

$F$  ca. 22 35

	$t$	$T_p$	$x_m$
$M_1$	22 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> 4 <sup>s</sup>	11,1	3 <sup>μ</sup>
$M_2$	22 32 4	12,1	3

**Erdbeben am 25/III. 1908. Seismogramm № 229.**

Ziemlich unregelmässiges Beben. Ein Maximum ist ziemlich ausgeprägt und charakteristisch.

$P$  liess sich nicht bestimmen.

$S$  ist etwas unsicher.

Die Feststellung von  $F$  ist infolge der mikroseismischen Bewegungen schwierig.

Pulkowa.

Göttingen.

	Pendel I	Pendel II	
<i>P</i>	—	—	19 <sup>h</sup> 7 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>
( <i>S</i> )	19 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup>	19 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup>	19 18 6
<i>L</i>	19 34,4	19 34,4	<i>eL</i> 19 35
<i>F</i>	—	20 32	20 11
<i>s</i>	—	—	9200 Klm.

Pulkowa.

Göttingen.

	Pulkowa.						Göttingen.			
	<i>t</i>		<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>		<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>A<sub>E</sub></i>	<i>A<sub>N</sub></i>
	Pendel I	Pendel II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II				
<i>M</i>	19 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	19 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	17;9	18;3	6 <sup>μ</sup>	5 <sup>μ</sup>	<i>M'</i>	19 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 21 <sup>s</sup>	7 <sup>μ</sup>	7 <sup>μ</sup>

Epizentrum unbekannt.

**Erdbeben am 26/27 III. 1908. Seismogramm № 231.**

Grosses Erdbeben in Mexico, wobei Jalapa zerstört wurde.

In Pulkowa hat dieses Beben bei den Pendeln I und II enorm grosse Ausschläge hervorgerufen.

Die allergrösste totale Amplitude  $2y_1$  beim Pendel I betrug  $301,1 \frac{m}{m}$  (durch Extrapolation ermittelt), also fast  $\frac{1}{3}$  Meter. Das Pendel III hat ebenfalls ziemlich gut gezeichnet, da es aber seine Empfindlichkeit, wie früher erwähnt wurde, durch Abstumpfen der Spitzen eingebüsst hatte, so sind die aus seiner Bewegungskurve abgeleiteten Werte von  $x_m$  nicht vertrauenswert; somit werde ich dieselben hier nicht anführen.

Der Eintritt der ersten und zweiten Vorläufer ist sehr deutlich ausgeprägt. Zwischen *P* und *S* befindet sich ein ganz merklicher Bebenstoss (*i*), welcher möglicherweise von einer reflektierten Welle herrührt.

Der Eintritt der langen Wellen *L* lässt sich nicht mit Sicherheit angeben; überhaupt liegt in der Bestimmung des Anfanges von *L* zuweilen sehr viel Willkür.

Der Gang dieses Bebens in Pulkowa wird durch die drei Kurven auf der Tafel III veranschaulicht. Die unteren Kurven bilden die Fortsetzung der oberen. Sie sind eine Abbildung der Aufzeichnungen des Pendels II

in halber Grösse. Die Minuten sind durch die Unterbrechungen der Kurven gekennzeichnet.

Diese Kurven, welche dem wichtigsten Teile dieses Bebens entsprechen, sind sehr scharf und anschaulich. Die charakteristischen Phasen des Bebens lassen sich sehr gut erkennen und die verschiedenen Wellenzüge treten sehr schön zum Vorschein. Bedenkt man noch, dass diese Tafel eine Reproduktion des Originalseismogrammes in halber Grösse ist, so erkennt man sofort die grosse Empfindlichkeit der angewandten Pendel I und II. Dies alles spricht sehr zu Gunsten der galvanometrischen Registriermethode unter Anwendung von aperiodischen Pendeln, da in der Tat die verschiedenen Vorteile dieser Methode bei diesen Kurven in anschaulichster Weise zum Vorschein treten.

	<i>Pulkowa.</i>		<i>Göttingen.</i>
<i>P</i>	23 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup> ( $T_p = 21,5$ ) Sofort nach <i>P</i> .	} Nach Pend. I.	23 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup>
<i>i</i>	23 20 32		<i>PR</i> <sub>1</sub> 23 19 40
<i>S</i>	23 27 29 ( $T_p = 19,5$ ) Sofort nach <i>S</i> .		23 26 52
<i>L</i>	—		<i>eL</i> 23 45
<i>F</i>	2 <sup>1/2</sup> <sup>h</sup> 1)		3
<i>s</i>	9800 Klm.		9700 Klm.

Nehmen wir an, dass Jalapa gerade in der Mitte der Epizentralgegend liegt, so ist

$$\varphi_E = 19,5 N$$

$$\lambda_E = 96,9 W.$$

Dann ist

$$\sigma = 10000 \text{ Klm.}$$

$$\sigma_1 = 9430 \text{ » .}$$

Auf den Seismogrammen von den Pendeln I und II wurde eine grosse Anzahl mehr oder weniger regelmässiger Stellen ausgemessen und dann wurden die Werte von  $x_m$  abgeleitet, wobei ich die entsprechenden Mittelwerte von  $T_p$  nach den Pendeln I und II zugrunde gelegt habe. Die ausgemessenen Stellen lassen sich auf den Kurven der Tafel III wiederfinden.

Die Resultate dieser Bestimmungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

1) Nachher dauert die schwache Bodenbewegung immer noch fort.

*Pulkowa.*

	<i>t</i>		<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>	
	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II
<i>M</i> <sub>1</sub>	23 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 46 <sup>s</sup>	23 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup>	14,7	14,5	24 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>
<i>M</i> <sub>2</sub>	23 58 12	23 58 13	22,8	22,4	175	147
<i>M</i> <sub>3</sub>	23 59 39	23 59 40	20,3	20,4	132	114
<i>M</i> <sub>4</sub>	—	—	19,7	—	150	—
<i>M</i> <sub>5</sub>	0 0 36	—	20,3	—	179	—
<i>M</i> <sub>6</sub>	—	—	20,5	21,0	184	151
<i>M</i> <sub>7</sub>	0 0 57	0 0 56	20,7	21,0	166	136
<i>M</i> <sub>8</sub>	—	—	20,1	19,7	144	121
<i>M</i> <sub>9</sub>	0 3 31	—	19,9	19,7	133	110
<i>M</i> <sub>10</sub>	—	—	18,9	18,6	104	88
<i>M</i> <sub>11</sub>	0 3 50	0 3 53	16,0	16,1	67	56
<i>M</i> <sub>12</sub>	—	—	14,7	15,0	46	39
<i>M</i> <sub>13</sub>	0 4 7	0 4 9	15,8	15,9	42	35
<i>M</i> <sub>14</sub>	—	—	14,4	14,6	37	31
<i>M</i> <sub>15</sub>	0 5 49	0 5 49	14,4	14,8	36	29
<i>M</i> <sub>16</sub>	0 6 40	—	17,1	17,5	71	61
<i>M</i> <sub>17</sub>	—	—	19,9	19,9	51	41
<i>M</i> <sub>18</sub>	0 9 56	0 9 57	20,5	20,1	63	52
<i>M</i> <sub>19</sub>	0 10 49	0 10 50	15,8	15,6	50	42
<i>M</i> <sub>20</sub>	0 13 58	0 14 1	19,7	20,2	96	80
<i>M</i> <sub>21</sub>	0 15 49	—	17,2	17,1	54	44
<i>M</i> <sub>22</sub>	0 16 6	—	17,2	17,3	54	45
<i>M</i> <sub>23</sub>	0 17 30	—	19,2	19,3	47	38
<i>M</i> <sub>24</sub>	—	—	18,0	18,2	40	33
<i>M</i> <sub>25</sub>	0 21 49	—	20,3	20,0	34	29

Die Übereinstimmung in den Werten von  $t$  und  $T_p$  ist im Allgemeinen eine recht befriedigende.

Was nun die Grössen von  $x_m$  anbelangt, so fallen sie bei dem Pendel II durchweg etwas kleiner als bei dem Pendel I aus. Dies ist wahrscheinlich teilweise eine Folge gewisser Änderungen in den Werten der Konstanten beider Pendel (etwa  $T$  und hauptsächlich  $\mu^2$ ), welche mit der Zeit eingetreten waren, da freilich diese Konstanten seit dem 3/III nicht mehr kontrolliert wurden. Es können aber auch andere Gründe dafür vorhanden sein (man vergleiche das Seismogramm № 187).

Die grösste totale Bodenschwankung  $2x_m$  war für Pulkowa gleich  $0,368^m/m$ .

Für Göttingen sind nur folgende zwei Maxima angegeben.

	$t$	$T_p$	$A_E$	$A_N$
$M'$	$23^h 55^m$	$21^s$	$260^\mu$	$160^\mu$
$M''$	0 0	—	—	—

**Erdbeben am 27/III. 1908. Seismogramm № 231.**

An demselben Tage fand ein zweites ziemlich starkes Beben in Mexico statt.

Zwischen den entsprechenden  $P$  und  $S$  trat wieder ein ausgeprägter Bebenstoss ( $i$ ) zum Vorschein.

( $i$ ) und  $S$  sind sehr deutlich.

Es wurden die Aufzeichnungen der Pendel I und II verwertet und dabei 14 Maxima ausgemessen. Das Pendel № III war an diesem Tage nicht in Ordnung.

	Pulkowa.		Göttingen.
	Pendel I.	Pendel II.	
$P$	$4^h 0^m 39^s$	$4^h 0^m 39^s$	$4^h 0^m 12^s$
	4 4 22	4 4 22	$PR_1$ 4 3 38
$S$	4 11 13	4 11 13	4 10 50
$L$	—	—	$eL$ 4 29
$F$	ca. $6\frac{3}{4}^h$	—	6 40
$s$	9500 Klm.	—	9500 Klm.

*Pulkowa.*

	$t$		$T_p$		$x_m$	
	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II
$M_1$	4 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	—	28,5	28,1	70 <sup>μ</sup>	57 <sup>μ</sup>
$M_2$	4 39 22	—	28,2	27,9	65	53
$M_3$	4 40 18	4 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>	25,7	26,0	76	62
$M_4$	4 40 43	—	26,1	—	84	—
$M_5$	—	—	26,0	—	78	—
$M_6$	4 42 49	4 42 51	21,8	21,8	67	56
$M_7$	—	—	22,0	22,0	69	56
$M_8$	4 43 11	4 43 13	21,8	21,6	65	53
$M_9$	—	—	20,8	20,7	57	47
$M_{10}$	4 43 33	4 43 34	19,3	19,6	46	38
$M_{11}$	4 44 28	4 44 30	20,6	20,2	59	49
$M_{12}$	4 48 3	4 48 4	18,4	18,4	29	24
$M_{13}$	4 54 12	4 54 13	18,2	18,4	33	28
$M_{14}$	4 54 30	4 54 30	18,0	18,2	36	30

Die Übereinstimmung in den Werten von  $t$  und  $T_p$  ist wiederum eine ganz gute.

Die absoluten Werte von  $x_m$  fallen bei dem Pendel II etwas kleiner aus, aber *der Gang* dieser Maxima mit der Zeit ist für beide Pendel genau derselbe.

Für Göttingen ist nur ein Maximum angegeben.

	$t$	$T_p$	$A_E$	$A_N$
$M'$	4 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	18 <sup>s</sup>	60 <sup>μ</sup>	30 <sup>μ</sup>

Epizentrum in Chilpancingo (Mexico).

$$\varphi_E = 17^{\circ}5' N$$

$$\lambda_E = 99^{\circ}4' W$$

$$\sigma = 10310 \text{ Klm.}$$

$$\sigma_1 = 9760 \quad \text{»}$$

**Erdbeben am 27/III. 1908. Seismogramme NoNo 232 und 233.**

Drittes Beben an demselben Tage.

*P* ist ziemlich deutlich. *S* ist sehr charakteristisch — grosser Ausschlag. Infolge des Papierwechsels findet sich in den Aufzeichnungen eine Lücke.

Die erhaltenen Seismogramme weisen keine regelmässigen Wellen auf und das Beben hatte überhaupt einen sehr unregelmässigen Charakter.

*F* ist infolge der mikroseismischen Bewegungen schwer zu bestimmen.

In Göttingen sind die Momente des Eintritts von *P* und *S* nicht angegeben.

	<i>Pulkowa.</i>		<i>Göttingen.</i>
	Pendel I	Pendel II	
<i>P</i>	19 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup>	19 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup>	—
<i>S</i>	19 9 45	19 9 44	—
<i>L</i>	—	—	Von 19 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> bis 20 <sup>h</sup>
<i>F</i>	20 <sup>h</sup>	20 <sup>h</sup>	—
<i>s</i>	8100 Klm.		—

Epizentrum unbekannt.

**Erdbeben am 2/IV. 1908. Seismogramme NoNo 243 und 244.**

*P* ist sehr deutlich.

Nach *P* trat ein charakteristischer Bebenstoss *i* auf, nach welchem die kurzen Perioden der ersten Vorphase noch zu erkennen sind.

*S* ist nicht so charakteristisch.

Infolge des Papierwechsels findet wiederum eine Unterbrechung in den Aufzeichnungen statt.

	<i>Pulkowa.</i>				<i>Göttingen.</i>			
<i>P</i>	6 <sup>h</sup>	3 <sup>m</sup>	19 <sup>s</sup>	} Nach Pendel I	6 <sup>h</sup>	2 <sup>m</sup>	18 <sup>s</sup>	
<i>i</i>	6	11	21		<i>ePR</i> <sub>1</sub>	6	9	— (die Sekunden fehlen).
<i>S</i>	6	15	8		6	13	26	
<i>L</i>	6	29,7			—			
<i>F</i>	ca. 7	6	nach Pendel II		7	20		
<i>s</i>			11500 Klm.		ca.	10500	Klm.	

Das Epizentrum ist unbekannt.

**Erdbeben am 10/IV. 1908. Seismogramm № 258.**

*P* und *S* sind ziemlich undeutlich, speziell *S*.

Der Eintritt der langen Wellen ist ziemlich charakteristisch.

Auf den langen Wellen überlagern sich öfters die mikroseismischen Bewegungen erster Art.

Ein Maximum (*M*<sub>2</sub>) ist sehr ausgeprägt.

	<i>Pulkowa.</i>			<i>Göttingen.</i>		
<i>P</i>	0 <sup>h</sup>	10 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	} Die Angaben fehlen			
<i>S</i>	(0	19		10)		
<i>L</i>	0	36,6		<i>eL</i>	0 <sup>h</sup>	14 <sup>m</sup>
<i>F</i>	1	24 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		1	25	
<i>s</i>		(6700)		—		

	<i>Pulkowa.</i>					
	<i>t</i>		<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>	
	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II
<i>M</i> <sub>1</sub>	0 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup>	0 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 37 <sup>s</sup>	32 <sup>s</sup> ,7	33 <sup>s</sup> ,0	10 <sup>μ</sup>	10 <sup>μ</sup>
<i>M</i> <sub>2</sub>	0 47 32	0 47 33	23,8	24,0	13	12

Für Göttingen ist kein Maximum angegeben.  
Das Epizentrum ist unbekannt.

**Erdbeben am 16/IV. 1908. Seismogramm № 264.**

Am Tage fand ein schwaches und ziemlich unregelmässiges Beben statt, welches am Anfang reich an kurzperiodischen Bewegungen war.

Beide Registrierapparate in Pulkowa waren an diesem Tage nicht in Ordnung. Auf den Aufzeichnungen des grossen Registrierapparates war nur ein Teil des Bebens registriert.

In den Göttingener Wochenberichten finden sich folgende Daten.

*Göttingen.*

*P* 17<sup>h</sup> 46<sup>m</sup> 39<sup>s</sup>

*S* 17 52 58

*F* 18 30

*s* 4000 Klm.

**Erdbeben am 19/IV. 1908. Seismogramm № 269.**

Verarbeitet wurden nur die Aufzeichnungen des Pendels I.

*P* ist sehr deutlich, gleichfalls *S* (sehr ausgeprägter und starker Ausschlag).

Zwischen *P* und *S* finden sich drei ziemlich scharf hervortretende Erdbebenstösse (vielleicht reflektierte Wellen), die ich durch  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  bezeichnen werde.

Nach *S* finden wiederum drei Stösse ( $S_1$ ,  $S_2$  und  $S_3$ ) statt, die ziemlich grosse Ausschläge hervorriefen. Die unten angegebenen Zeitmomente entsprechen dem Anfang dieser Stösse.

Der Anfang der *L* lässt sich schwer genau angeben. Es wurden zwei regelmässiger Maxima ausgemessen, die dabei jedoch nicht die allergrössten waren.

Der Ausschlag des Galvanometers bei *S* ist bedeutend grösser, als bei allen folgenden Maxima.

Nach Eintritt von *S* liessen sich die kurzperiodischen Bewegungen noch für einige Zeit erkennen.

	<i>Pulkowa.</i>	<i>Göttingen</i> <sup>1)</sup> .
<i>P</i>	8 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup>	8 <sup>h</sup> 9 <sup>m</sup> 37 <sup>s</sup>
<i>P</i> <sub>1</sub>	8 9 54	<i>i</i> 8 11 22
<i>P</i> <sub>2</sub>	8 12 2	
<i>P</i> <sub>3</sub>	8 12 48	
<i>S</i>	8 15 51	8 18 32
<i>S</i> <sub>1</sub>	8 17 10	
<i>S</i> <sub>2</sub>	8 18 49	
<i>S</i> <sub>3</sub>	8 19 55	
<i>L</i>	—	—
<i>F</i>	ca. 9 14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	9 39
<i>s</i>	5900 Klm.	7400 Klm. <sup>2)</sup>

*Pulkowa.*

	<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>x<sub>m</sub></i>
<i>M</i> <sub>1</sub>	8 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup>	13 <sup>s</sup> ,9	7 <sup>h</sup>
<i>M</i> <sub>2</sub>	8 42 40	11,9	4

In Göttingen fällt die Maximalbewegung in den Papierwechsel.  
 Das Epizentrum liegt im *NE* von Aomori (Japan).  
 Die Koordinaten dieses Punktes sind

$$\varphi = 40^{\circ}8' N$$

$$\lambda = 140^{\circ}8' E.$$

Die entsprechenden Entfernungen von Pulkowa und Göttingen sind

$$\sigma = 7170 \text{ Klm.}$$

$$\sigma_1 = 8700 \text{ » .}$$

<sup>1)</sup> Siehe die später angegebene Zeitkorrektur — 1<sup>s</sup>.

<sup>2)</sup> In den Wochenberichten ist der Wert von *s* nicht angegeben.

Erdbeben am 21/IV. 1908. Seismogramm № 273.

Schwaches Beben.

*P* und *S* sind ziemlich gut zu erkennen, obgleich die entsprechenden Ausschläge sehr klein waren.

<i>Pulkowa.</i>		<i>Göttingen.</i>	
<i>P</i>	15 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup> 1 <sup>s</sup>	} Die Angaben fehlen.	
<i>S</i>	15 29 43		
<i>L</i>	15 42,4		<i>eL</i> 15 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>
<i>F</i>	16 16½		16 18
<i>s</i>	7300 Klm.		—
Nach Pendel I.			

Es wurde nur ein Maximum ausgemessen.

<i>Pulkowa.</i>						
	<i>t</i>		<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>	
	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II
<i>M</i>	15 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	15 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	19,0	19,3	7 <sup>μ</sup>	6 <sup>μ</sup>

<i>Göttingen.</i>				
	<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>A<sub>E</sub></i>	<i>A<sub>N</sub></i>
<i>M<sub>E</sub></i>	15 <sup>h</sup> 55½ <sup>m</sup>	25 <sup>s</sup>	6 <sup>μ</sup>	4 <sup>μ</sup>
<i>M<sub>N</sub></i>	16 1	24	3	7

Das Epizentrum ist unbekannt.

Erdbeben am 23/IV. 1908. Seismogramm № 276.

$P$  und  $S$  liessen sich nicht bestimmen; vielleicht sind sie durch die mikroseismischen Bewegungen verdeckt.

Der Anfang der langen Wellen ist ebenfalls nicht deutlich zu sehen.

Dieses Beben hat ziemlich lange gedauert.

Es wurde ausserdem durch folgenden Umstand charakterisiert. Nach der Abnahme der Maximalphase, wo die Bodenbewegungen schon recht klein geworden waren, setzte wiederum eine stärkere Bodenbewegung ein mit einigen ziemlich gut ausgeprägten Maxima. Es scheint, als ob sich ein zweites Beben oder vielleicht ein Nachbeben dem ersten Beben unmittelbar anschlossen hätte.

Es wurden für beide Teile dieses Bebens einige Maxima ausgemessen.

Ich möchte hier nochmals daran erinnern, dass unter  $M$  nicht immer die allergrössten Ausschläge verstanden werden sollen, sondern diejenigen Teile des Seismogrammes, wo die Boden- resp. Galvanometerbewegung einen möglichst harmonischen Charakter aufweist, da es mir hauptsächlich darauf ankam, nicht etwa die Bodenbewegung an und für sich zu studieren, sondern einen Vergleich zwischen verschiedenen Arten von Pendeln anzustellen.

Merkwürdig ist es, dass in den Göttingener Wochenberichten überhaupt irgend welche Angaben über dieses Beben fehlen, welches jedoch in Pulkowa ziemlich ausgeprägt war, da an einer Stelle die Amplitude der Bodenbewegung  $x_m$  etwa  $40^h$  erreichte.

An diesem Tage (23/IV 1908) ist nur ein schwaches Beben in Göttingen notiert und dabei nur angegeben

$L$  von  $20^h 5^m$  bis  $20^h 11^m$ ,

aber die Stunden stimmen durchaus nicht überein.

*Pulkowa.*

$P$  —

$S$  —

$L$   $0^h 31^m 3$

$F$  3  $1\frac{1}{2}$  (Ende des zweiten Bebens).

*Erstes Beben.*

	$t$		$T_p$		$x_m$	
	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II
$M_1$	0 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>	0 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	34,2	35,4	38 <sup>μ</sup> 1)	47 <sup>μ</sup>
$M_2$	0 48 48	0 48 50	17,4	17,1	14	11
$M_3$	0 52 4	—	17,0	—	10	—
$M_4$	0 53 18	—	19,9	20,1	13	12
$M_5$	0 57 59	—	13,8	14,5	9	7
$M_6$	1 9 31	—	17,2	—	7	—

*Zweites Beben.*

	$t$		$T_p$		$x_m$	
	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II	Pendel I	Pendel II
$M_1$	2 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup>	2 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup>	16,2	16,4	5 <sup>μ</sup>	4 <sup>μ</sup>
$M_2$	2 19 37	2 19 37	16,6	17,3	5	4

**Erdbeben am 3/V. 1908. Seismogramm № 297.**

Es wurden nur die Aufzeichnungen des Pendels I ausgewertet.

*P* und *S* treten deutlich hervor.

*L* und *F* lassen sich schwer genau angeben.

Es wurden drei *M* ausgemessen.

	<i>Pulkowa.</i>	<i>Göttingen.</i>
<i>P</i>	1 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 34 <sup>s</sup>
<i>S</i>	2 4 45	1 10 23
<i>L</i>	2 23,3	<i>eL</i> 1 19
<i>F</i>	ca. 4	2 45
<i>s</i>	7000 Klm.	8400 Klm.

1) An dieser Stelle hatte die entsprechende Sinusoide bei dem Pendel I einen sehr unregelmässigen Charakter; vielleicht hat sich deshalb  $x_m$  beim Pendel II etwas grösser ergeben.

Vergleicht man die Momente der verschiedenen Phasen für Pulkowa mit denen für Göttingen, so muss man wohl annehmen, dass sich ein Fehler von 1 Stunde eingeschlichen hat; entweder muss man von den Pulkowa'schen Daten eine Stunde abziehen oder zu den Göttingener Daten eine Stunde hinzufügen.

<i>Pulkowa.</i>			<i>Göttingen.</i>					
	<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>x<sub>m</sub></i>		<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>A<sub>E</sub></i>	<i>A<sub>N</sub></i>
<i>M<sub>1</sub></i>	2 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> 0 <sup>s</sup>	18;3	15 <sup>μ</sup>					
<i>M<sub>2</sub></i>	2 26 42	15,9	14	<i>M'</i>	1 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	14 <sup>s</sup>	3 <sup>μ</sup>	10 <sup>μ</sup>
<i>M<sub>3</sub></i>	2 45 10	15,4	6					

Inbezug auf die Lage des Epizentrums ist nur so viel bekannt, dass Jesso sich am Rande des Schüttergebietes befand.

#### Erdbeben am 4/V. 1908. Seismogramm № 300.

Nur die Spuren eines sehr schwachen Bebens.

Nach dem Pendel I ist nur eine Andeutung von *P* zu erkennen (Auf-tauchen ganz kurzperiodischer Schwingungen).

$$P \quad 19^h 12^m 17^s$$

Weiter ist nichts bestimmtes zu finden.

Für Göttingen fehlen irgend welche Daten.

#### Erdbeben am 5/V. 1908. Seismogramme №№ 300 und 301.

*P* ist sehr undeutlich, *S* dagegen scharf.

Nach dem Eintritt von *S* wurde das Papier gewechselt, somit ging ein Teil der Aufzeichnungen verloren.

Auf dem folgenden Seismogramm traten schon die langen Wellen mit einigen *M* zum Vorschein.

Bei diesem Beben, welches nicht so schwach war, hatte das Pendel III, nachdem seine Spitzen vertauscht worden waren, ziemlich gut gezeichnet.

Es ist wohl möglich, dass die Momente in Pulkowa um 1 Minute zu früh sind.

<i>Pulkowa.</i>				<i>Göttingen.</i>	
<i>P</i>	6 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 51 <sup>s</sup>	} Nach dem Pendel I.		<i>eP</i>	6 <sup>h</sup> 31 <sup>1/2</sup> <sup>m</sup>
<i>S</i>	6 41 37			<i>iS</i>	6 43 36 <sup>s</sup>
<i>L</i>	—			<i>eL</i>	7 8
<i>F</i>	ca. 8 51				9
<i>s</i>	9800 Klm.				Fehlt.

	<i>t</i>			<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>		
	Pend. I	Pend. II	Pend. III	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. III
<i>M<sub>1</sub></i>	7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>	—	—	23 <sup>s</sup> ,0	—	53 <sup>μ</sup>	—	—
<i>M<sub>2</sub></i>	7 17 47	—	7 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	21,3	—	41	—	47 <sup>μ</sup>
<i>M<sub>3</sub></i>	7 20. 4	7 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 4 <sup>s</sup>	7 20 2	18,1	18 <sup>s</sup> ,9	15	13 <sup>μ</sup>	14
<i>M<sub>4</sub></i>	7 23 54	7 23 56	7 23 53	21,5	21,7	25	26	27
<i>M<sub>5</sub></i>	7 28 21	7 28 24	7 28 20	19,6	19,8	19	18	18
<i>M<sub>6</sub></i>	7 32 23	7 32 24	—	19,8	20,1	10	10	—

Die Übereinstimmung in den Werten von  $x_m$  bei den verschiedenen Pendeln ist wiederum eine ganz gute.

<i>Göttingen.</i>				
	<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>A<sub>E</sub></i>	<i>A<sub>N</sub></i>
<i>M'</i>	7 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	21 <sup>s</sup>	60 <sup>μ</sup>	70 <sup>μ</sup>
<i>M''</i>	7 20 <sup>1/2</sup>	30	50	25

*M'* in Göttingen ist möglicherweise identisch mit *M<sub>1</sub>* in Pulkowa.  
Epizentrum Menado (Celebes).

$$\varphi_E = 1,5 N$$

$$\lambda_E = 124,8 E$$

$$\sigma = 10100 \text{ Klm.}$$

$$\sigma_1 = 11550 \text{ »}$$

**Erdbeben am 5/V. 1908. Seismogramm № 301.**

Zweites, aber sehr schwaches Beben an demselben Tage.

*P* ist ziemlich gut zu erkennen.

*S* ist ganz undeutlich; der entsprechende Moment ist also sehr unsicher.

Es gab weiter ein schwaches, aber sehr regelmässiges Maximum.

Die Feststellung von *F* ist ganz unmöglich, da die kleinen Bodenunruhen, welche den mikroseismischen Bewegungen zweiter Art sehr ähnlich waren, immer weiter fort dauerten.

	<i>Pulkowa.</i>		<i>Göttingen.</i>
<i>P</i>	11 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> 34 <sup>s</sup>	<i>e</i>	11 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> 1/2 <sup>s</sup>
<i>S</i>	(11 37 29) Unsicher	<i>i</i>	{ 11 36 51 <sup>s</sup> 11 41 59
<i>L</i>	—	<i>eL</i>	11 51
<i>F</i>	—		12 45

	<i>Pulkowa.</i>						<i>Göttingen.</i>				
	<i>t</i>		<i>T<sub>p</sub></i>		<i>x<sub>m</sub></i>		<i>t</i>	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>A<sub>E</sub></i>	<i>A<sub>N</sub></i>	
	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. II					
<i>M</i>	12 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup>	12 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>	18 <sup>s</sup> ,8	18 <sup>s</sup> ,9	5 <sup>μ</sup>	5 <sup>μ</sup>	<i>M'</i>	12 <sup>h</sup> 6 <sup>m</sup>	17 <sup>s</sup>	3 <sup>μ</sup>	2 <sup>μ</sup>

*M'* ist wahrscheinlich identisch mit *M*.

**Erdbeben am 15/V. 1908. Seismogramm № 321.**

Sehr charakteristisches Beben mit einem sehr entwickelten System von langen Wellen.

Das Pendel I hat eine ausgezeichnet scharfe und übersichtliche Kurve geliefert.

*P* tritt ungemein deutlich hervor.

*S* ist auch gut zu erkennen.

Das Pendel III hat gleichfalls gut gezeichnet; in der Nähe von *P* traten auch bei ihm die kurzperiodischen Schwingungen zum Vorschein.

Mit dem Pendel II ist etwas passiert gewesen, da es sehr unzuverlässige Werte von  $x_m$  geliefert hat. Höchstwahrscheinlich war seine freie Bewegung durch irgend etwas gehemmt; somit erhielt man viel zu kleine Werte von  $x_m$ .

Dies würde die abgeleiteten Werte von  $x_m$  sehr beeinträchtigen, aber für die Bestimmung der Momente des Eintretens der verschiedenen Phasen, sowie der Perioden der Bebenwellen ist dieser Umstand von keiner grossen Bedeutung.

	<i>Pulkowa.</i>		<i>Göttingen.</i>
	Pendel I	Pendel II	
<i>P</i>	8 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup>	8 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 46 <sup>s</sup>	8 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup>
<i>S</i>	8 48 7	8 48 6	8 51 27
<i>L</i>	8 59 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	<i>eL</i> 9 6
<i>F</i>	ca. 12 (ganz angenähert)	—	11 45
<i>s</i>	6800 Klm.		7500 Klm.

Auf den Pulkowa'schen Seismogrammen wurden 10 Maxima ausgemessen.

	<i>Pulkowa.</i>			$T_p$		$x_m$	
	Pend. I	Pend. II	Pend. III	Pend. I	Pend. II	Pend. I	Pend. III
$M_1$	9 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	—	9 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup> 44 <sup>s</sup>	21,8	21,1	33 <sup>μ</sup>	29 <sup>μ</sup>
$M_2$	9 6 10	9 <sup>h</sup> 6 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	9 6 8	17,4	17,6	26	21
$M_3$	9 7 6	9 7 7	9 7 3	17,5	18,1	30	26
$M_4$	9 9 1	9 9 1	9 8 58	15,2	15,1	66	55
$M_5$	9 9 23	9 9 23	9 9 21	17,7	18,0	54	47
$M_6$	9 9 50	9 9 51	9 9 47	16,4	16,7	59	49
$M_7$	9 10 50	9 10 50	9 10 48	15,7	15,8	44	37
$M_8$	9 13 21	9 13 22	9 13 19	17,0	17,2	34	28
$M_9$	9 14 10	9 14 10	9 14 7	15,2	15,0	28	23
$M_{10}$	9 16 30	9 16 30	9 16 28	15,4	14,9	20	16

Die Übereinstimmung in den Werten von  $t$  und  $T_p$  ist im Allgemeinen eine ganz befriedigende.

Es muss aber darauf aufmerksam gemacht werden, dass bei dem Pendel III, infolge seiner relativ kleinen Empfindlichkeit, die entsprechenden Kurven viel flacher aussehen; infolgedessen ist die genaue Feststellung der Momente des Eintretens der verschiedenen Phasen viel schwieriger. Aus demselben Grunde eignen sich die Kurven von dem Pendel III weniger zur Bestimmung der Perioden der Erdbebenwellen  $T_p$ .

Was nun die Werte von  $x_m$  anbelangt, so fallen dieselben bei dem Pendel III immer kleiner als bei I aus, der Unterschied ist aber nicht sehr bedeutend. Das mag wohl eine Folge der später eingetretenen unbedeutenden Abstumpfung der Spitzen sein.

Für Göttingen ist nur ein echtes Hauptmaximum angegeben.

Göttingen.

	$t$	$T_p$	$A_E$	$A_N$
$M'$	$9^h 13^{2/m}_3$	$16^s$	$6^m$	$40^m$

Wahrscheinlich ist  $M'$  in Göttingen identisch mit einem der Maxima  $M_4$ ,  $M_5$  oder  $M_6$  in Pulkowa.

Das Epizentrum ist unbekannt.

§ 5.

### Ergebnisse der seismometrischen Beobachtungen in Pulkowa.

Die erste gestellte Aufgabe, nämlich das Verhalten dreier fast aperiodischer Horizontalpendel von verschiedener Konstruktion (nämlich ohne Stützpunkt, mit einem und mit zwei Stützpunkten) und verschiedener Empfindlichkeit mit einander zu vergleichen, hat zu sehr befriedigenden Resultaten geführt.

Es erwies sich, dass unter Anwendung einer *sehr starken magnetischen Dämpfung* diese verschieden beschaffenen Pendel im Allgemeinen recht übereinstimmende Werte für die Momente des Eintreffens der verschiedenen Phasen des Bebens, wie  $P$ ,  $S$ ,  $M$ ,  $F$  etc., so wie auch für die Perioden  $T_p$  der entsprechenden harmonischen Erdbebenwellen ergeben haben. Der zeitliche Gang dieser Pendel während der Bodenerschütterungen hatte einen

ganz ähnlichen Verlauf, wie dies durch die Kurven auf den Tafeln I und II am allerdeutlichsten veranschaulicht wird. Die Kurven von verschiedenen Pendeln stimmen nicht nur in bezug auf ihren allgemeinen Charakter überein, sondern wenn die Empfindlichkeit der Pendel genügend gross ist, lassen sich auch sofort alle Details der einen Kurve auf der anderen wiederfinden. Ein solches günstiges Resultat lässt sich aber nur unter Anwendung einer sehr starken Dämpfung erzielen, welche die charakteristischen Eigenschaften der Pendel selbst, resp. ihre Eigenbewegung herabdrückt und so den wahren Charakter der Bodenbewegung zum Vorschein treten lässt.

Unter Anwendung von fast aperiodischen Pendeln erfordert die Bestimmung der Elemente der verschiedenen Teile der harmonischen Bodenbewegung (Periode  $T_p$  und Amplitude  $x_m$ ) ganz einfache und wenig zeitraubende Messungen und Rechnungen, wodurch das Problem der Auswertung der Seismogramme, wenigstens was die harmonischen Teile derselben anbelangt, im hohen Maasse vereinfacht wird. Hätte man aber statt dreier fast aperiodischer Pendel drei ungedämpfte oder schwach gedämpfte Pendel aufgestellt, so würde man bekanntlich ganz verschiedene Kurven erhalten haben und von einem parallelen Verlauf derselben könnte nicht mehr die Rede sein, wie dies schon genügend oft bewiesen worden ist. Ich möchte aber hier nochmals betonen, dass damit gar nicht gesagt sein soll, dass es auch in diesem Falle nicht möglich wäre die wahren Elemente ( $T_p$  und  $x_m$ ) der Bodenbewegung herauszufinden. Die Möglichkeit dazu ist vollkommen geboten; das habe ich immer ausdrücklich gesagt, aber um dieses zu verwirklichen muss man eine recht mühsame Analyse der entsprechenden Kurven vornehmen, eine Anzahl aequidistanter Ordinaten messen und mit denselben eine Reihe rechnerischer Operationen durchführen oder in irgend welcher anderen Weise die Eigenbewegung des Pendels eliminieren. Erst dann bekommt man ein Bild der wahren stattgefundenen Bodenbewegung. Wenn die Anhänger der ungedämpften Pendel sich vor einer solchen Arbeit nicht scheuen und über genügend freie Zeit verfügen, so mögen sie diese umständliche Methode anwenden. Ich glaube aber meinerseits, dass man, wenn man zur Erzielung eines und desselben Resultates anstatt einiger Stunden etwa eine Viertelstunde gebrauchen kann, allerdings das letztere vorziehen wird.

Eine Integrierung der Kurven mit Bezugnahme auf die differentielle Grundgleichung der Pendelbewegung hätte einen Sinn, wenn es sich um eine Rekonstruierung der wahren Bodenbewegung während der ganzen Dauer des Bebens, oder wenigstens für die wichtigsten Teile desselben, handelte; bei dem jetzigen Stande der Seismometrie halte ich aber eine solche Arbeit für verfrüht. Es genügt zur Zeit, die rein periodischen Teile der Seismogramme an verschiedenen Orten und bei verschiedenen Beben unter Ablei-

tung der Perioden und Amplituden derselben gründlich zu erforschen und aus ihnen weitere Schlüsse zu ziehen. Dies ist so wie so eine kolossale Arbeit, die die Kräfte einer ganzen Menge von Fachgelehrten in Anspruch nehmen wird. Erst wenn die verschiedenen Fragen bezüglich der periodischen Teile der Bodenbewegungen genügend aufgeklärt sein werden, wird es sich lohnen zu dem allgemeinen Fall überzugehen und die Verschiebungen der Bodenelemente als Funktion der Zeit in ihrem allgemeinen Gang darzustellen.

Eine zweckmässige Integrierung der Seismogramme erfordert ausserdem recht scharfe und ausgeprägte Kurven, eine genügend grosse Trommelgeschwindigkeit (etwa  $20-30^m/m$  pro Minute) und einen regelmässigen Gang der Trommelbewegung selbst (gleiche Minutenlängen). Das sind Bedingungen, die zur Zeit leider nicht immer erfüllt sind, ganz besonders gilt dieses inbezug auf die gleichmässige Trommelbewegung.

Aus allen diesen Gründen habe ich mich bei der Auswertung meiner Seismogramme nur auf die periodischen Teile derselben beschränkt.

Wie schon früher gesagt wurde, haben meine drei verschieden beschaffenen, fast aperiodischen Pendel einen ganz ähnlichen Verlauf während der Bodenerschütterungen aufgewiesen.

Es kommt aber jetzt darauf an zu sehen, inwieweit die nach diesen Seismogrammen abgeleiteten Werte der wahren Amplitude  $x_m$  der Bodenbewegung nach den verschiedenen Pendeln mit einander im Einklang sind.

Eine nähere Betrachtung der in dem früheren Paragraphen angeführten Zahlendaten lässt die Übereinstimmung im Allgemeinen als eine ganz befriedigende bezeichnen. Freilich sind zwischen den Werten von  $x_m$  grössere Differenzen vorhanden, als zwischen denen der Momente  $t$  und der Perioden  $T_p$ , aber es darf hierbei nicht vergessen werden, dass die genaue Bestimmung der Amplituden eine viel schwierigere Aufgabe ist, die eine sehr genaue Kenntnis der verschiedenen Pendelkonstanten erfordert.

Hätte man die Konstanten der Pendel, speziell  $T$  und hauptsächlich  $\mu^2$  viel öfter kontrolliert, als ich es bei dieser Beobachtungsreihe in Wirklichkeit getan habe, so würde man ohne Zweifel eine noch bessere Übereinstimmung in den Werten von  $x_m$  bekommen haben. Bei der neuen, im September 1908 begonnenen dritten Beobachtungsreihe, von welcher an einer anderen Stelle berichtet werden soll, habe ich eben eine öftere Kontrollierung der Pendelkonstanten vorgenommen. Die Periode der Pendel ändert sich mit der Zeit gewöhnlich nicht viel und ist nur in der ersten Zeit nach der Aufstellung mehr nachzukorrigieren,  $\mu^2$  aber ist im allgemeinen grösseren Änderungen unterworfen, und es kommt bei der Auswertung der Seismogramme sehr darauf an die richtige Grösse von  $\mu^2$  zu treffen.

Das allereinfachste wäre  $\mu^2 = 0$  zu machen, d. h. das Pendel genau auf die Grenze der Aperiodizität einzustellen. Dies erfordert aber eine sehr feine Einstellung der Entfernung der Pole der dämpfenden Magnete bis auf einen kleinen Bruchteil eines Millimeters. Bei den bei dieser Beobachtungsreihe angewandten Pendeln war dies allerdings schwer zu erzielen, aber es sind zur Zeit eben zwei neue Pendel konstruiert worden, wo eine feine Mikrometerverstellung für die Magnete angebracht ist, mit welcher ich imstande zu sein hoffe, meine Pendel genau an der Aperiodizitätsgrenze zu halten. Ich nehme deshalb an, dass die zuweilen nicht volle Übereinstimmung in den Werten von  $x_m$  hauptsächlich davon herrührt, dass die bei dieser Ableitung von  $x_m$  zugrunde gelegten Konstanten nicht immer ganz zutreffend waren. Ein anderer Grund für die Abweichungen in den Werten von  $x_m$  liegt darin, dass die ausgemessenen Stellen der Seismogramme nicht immer einem vollkommen harmonischen Bewegungsgesetz entsprachen, was aber bei der Ableitung der zur Bestimmung von  $x_m$  dienenden Formeln vorausgesetzt ist. Infolge dieser Unregelmässigkeiten der Kurven kann auf eine völlige Übereinstimmung in den Werten von  $x_m$  kein Anspruch erhoben werden. Obgleich ich bei der Auswertung meiner Seismogramme nur auf die regelmässigeren Stellen meine Aufmerksamkeit gelenkt habe, ganz unabhängig davon, ob dieselben wahre absolute Maxima darstellten oder nicht, so kamen trotzdem gewisse Fälle vor, wo die Form der Kurven ganz merklich von einer echten Sinusoide abwich. Dies muss allerdings einen Einfluss auf die Grösse der abgeleiteten Werte von  $x_m$  haben.

Weiter kommt noch der Umstand hinzu, dass bei der Ausmessung der Ordinaten immer gewisse Fehler begangen werden, was für kleinere Ausschläge, wie z. B. bei dem Pendel III, grössere prozentische Fehler verursacht. Ausserdem können, infolge von Temperaturschwankungen und der sie begleitenden Änderungen des Widerstandes der verschiedenen Drähte, die Galvanometer aus der Aperiodizitätsgrenze etwas heraustreten.

Trotz alledem scheint es bei einer näheren Betrachtung der in dem früheren Paragraphen mitgeteilten Zahlendaten, als ob das Pendel I etwas grössere Werte von  $x_m$  gegeben hätte, als die Pendel II und III. Ob dies wirklich eine Folge der konstruktiven Eigenschaften dieser Art Pendel ist oder nicht, lässt sich nicht mit Sicherheit entscheiden, aber es ist, wie ich früher bemerkt habe, wohl denkbar, dass infolge der grösseren Masse dieses Pendels, das ganze bewegliche System (Pendelmasse + Drähte) bei periodischen Bodenschwankungen infolge der Elastizität der Aufhängedrähte gewisse kleine Seitenverschiebungen erfährt, die sich zu den Ausschlägen hinzuaddieren, was eine Vermehrung der entsprechenden Amplitude  $y_1$  bei der Galvanometerkurve nach sich ziehen würde.

Ogleich mehrere Ursachen für die Abweichungen in den Werten von  $x_m$  denkbar sind, wird man doch wohl zugestehen, dass im Allgemeinen die Übereinstimmung in den nach den verschiedenen Pendeln abgeleiteten Werten von  $x_m$  eine ganz befriedigende ist. Der Unterschied beträgt meistens nur einige Mikronen, und nur in den ungünstigsten Fällen für grössere Werte von  $x_m$  von etwa 100—150 Mikronen und mehr steigt dieser Unterschied bis zu etwa 20—30 Mikronen.

Zum Vergleich ist es interessant zu sehen, welche Übereinstimmung in den Werten von  $x_m$  auf anderen seismischen Stationen mit Instrumenten von verschiedener Art und mit verschieden empfindlichen Pendeln erzielt wurde.

Auf der seismischen Station in Göttingen stehen zur Erforschung der horizontalen Bodenverschiebungen drei Typen von Pendeln, leider aber sind die Einzelangaben derselben weder in den Wochenberichten, noch in den Berichten über die Tätigkeit dieser Station in den Jahren 1905 und 1906 von Angenheister und Zöpplitz angeführt. Infolgedessen kann für Göttingen dieser Vergleich nicht vorgenommen werden.

Anders steht es mit den seismischen Registrierungen in Potsdam. Aus den Berichten von Prof. Hecker für die Jahre 1905 und 1906 lässt sich manches Interessante ersehen. Dort sind die Werte von  $x_m$  nach dem Wiechert'schen astatischen Seismometer und nach einem kleinen Horizontalpendel vom Rebeur-Paschwitz'schen Typus angegeben. Wir können also die Werte von  $x_m$ , d. h. für die N-S Komponente, für Potsdam mit einander vergleichen.

Die N-S Komponente nach dem kleinen Horizontalpendel sei, wie bei Prof. Hecker, durch II und die entsprechende Grösse nach dem Wiechert'schen astatischen Seismometer durch N bezeichnet.

Das Dämpfungsverhältnis  $\nu$  dieser Pendel war das folgende:

	$\nu$	
	1905	1906
Kleines Horizontalpendel . . . . .	2,5	4, später 5.
Wiechert'sches Seismometer . . .	5,5	5.

In den zwei folgenden Tabellen V und VI habe ich nun die Daten aus den Berichten für Potsdam zusammengestellt und zwar unter der Voraussetzung, dass die dort angegebenen Werte von  $x_m$  sich wirklich auf eine und dieselbe Erdbebenwelle beziehen. Diese Daten entsprechen im allgemeinen den Maximal-Amplituden während der ersten und zweiten Vorphase und während des ersten, zweiten und dritten Teiles des Hauptbebens.

Tabelle V.

Registrierungen in Potsdam im Jahre 1905.

II — kleines Horizontalpendel.

N — Wiechert'sches astatisches Seismometer.

Datum	$x_m$		Datum	$x_m$	
	II	N		II	N
20 / I	2 <sup>h</sup> 6 160	8 <sup>h</sup> 20 130	1 / VI	10 <sup>h</sup> 450	15 <sup>h</sup> 575
22 / I	5 45	10 45	2 / VI	25 45 100	23 26 90
14 / II	18 70 120 400 320	14 45 320 370 305	3 / VI	5 25 105	5 32 75
17 / II	50 255	25 240	6 / VII	20 50 170 515 170	15 50 450 370 110
4 / III	25 32 38	25 30 32	9 / VII	135 375	85 280
4 / 5 / III	18 50 50 95	10 46 46 65	11 / VII	400	195
19 / III	75 30 50 80 50	45 17 25 50 70	14 / VII	75 620 120	70 280 110
22 / III	16 45 125	15 25 80	4 / VIII	230	150
4 / IV	25 580 1200	85 375 800	8 / IX	200	85
29 / IV	260	240	15 / IX	85 165 260 470 380	40 70 250 850 435
18 / V	17 20 50 75	7 25 100 115	26 / IX	15 85	5 55
31 / V	8 265 165	12 135 110	8 / X	50 475	25 > 350
			21 / X	25 105 280	30 50 230
			17 / XII	25 100 80 125	10 90 75 50

Tabelle VI.

Registrierungen in Potsdam im Jahre 1906.

II — kleines Horizontalpendel.

N — Wiechert'sches astatisches Seismometer.

Datum	$\alpha_m$		Datum	$x_m$			
	II	N		II	N		
21 / I	65 <sup>u</sup>	40 <sup>u</sup>	17 / VIII	400 <sup>u</sup>	600 <sup>u</sup>		
	270	150		430	> 880		
	190	115		480	> 950		
31 / I	140	70	25 / VIII	12	12		
	1100	570		145	120		
	510	670					
1 / II	20	12	7 / IX	5	5		
	28	25		20	12		
	35	35		55	100		
				80	160		
19 / II	30	12	14 / IX	25	15		
	40	15		50	ca. 100		
	130	70		400	1350		
23 / II	8	9		900	2200		
	50	40		360	1000		
	30	30					
	55	35					
16 / 17 / III	85	100	2 / X	8	7		
				30	40		
				270	250		
				290	360		
19 / III	250	150	17 / X	15	15		
				190	135	80	40
10 / 11 / IV	40	12		120	150		
				245	225	75	65
13 / IV	3	1	24 / X	15	15		
	15	6		365	650		
	120	50					
14 / IV	45	8	14 / XI	2	4		
	60	15		40	10		
14 / IV	10	20		60	60		
				50	75		
				50	80		
				100	25		
18 / IV	22	15	19 / XII	20	35		
				170	180	25	15
						60	75
						75	20
1 / VI	20	5	22 / XII	90	70		
				20	10		
				480	320		
				225	500		
				ca. 350	440		
17 / VIII	40	15	26 / XII	7	12		
				55	145		
				600	580		
				700	830		
				400	680		

Betrachtet man die Zahlen dieser Tabellen, so erkennt man, dass die Differenzen zwischen den  $x_m$  nach II und N zuweilen ganz gering sind, aber es kommen auch sehr oft grosse Abweichungen vor, wo von einer befriedigenden Übereinstimmung in den Werten von  $x_m$  nicht mehr die Rede sein kann.

Man vergleiche z. B. die folgenden Zahlen für 1905: 6 und 20, 50 und 25, 25 und 85, 50 und 100, 85 und 40, 25 und 10, 125 und 50 u. s. w.; und für 1906: 140 und 70, 40 und 15, 40 und 12, 120 und 50, 45 und 8 (!), 60 und 15 (!), 100 und 25 (!), 20 und 5 (!), 40 und 15, 55 und 145, 55 und 100, 80 und 160, 80 und 40, 40 und 10 (!), 75 und 20, 40 und 70 u. s. w.

Solche grosse Abweichungen, speziell für kleinere Amplituden ( $x_m < 100^{\mu}$ ), sind in Pulkowa, wo die Pendel viel stärker gedämpft waren, niemals vorgekommen.

Es treten auch in Potsdam zuweilen ganz merkbliche Abweichungen für die Perioden der Erdbebenwellen nach diesen beiden Pendeltypen auf.

Dieser Vergleich zeigt also, inwiefern es eigentlich zweckmässig ist, die zu seismometrischen Zwecken dienenden Instrumente mit einer sehr starken Dämpfung zu versehen und sogar diese Dämpfung bis zur Aperiodizitätsgrenze zu treiben. Die individuellen Eigenschaften der Pendel selbst machen sich dabei fast gar nicht mehr geltend und es ist ohne Zweifel möglich, wenn die Pendelkonstanten genügend oft kontrolliert werden, ganz übereinstimmende Werte von  $T_p$  und  $x_m$  zu erhalten. Man kann nur wünschen, dass die Einführung der starken Dämpfung bald grössere Verbreitung findet. Nur dann wäre es vollkommen möglich, zu einem systematischeren Studium der absoluten Verschiebungen der Erdoberfläche überzugehen und alsdann verschiedene Fragen, bezüglich der Eigenschaften der Bebenwellen, der Art ihrer Fortpflanzung, Absorption u. s. w. aufzuklären. Dabei muss auch auf Folgendes Acht gegeben werden. Will man die Momente des Eintreffens gewisser Maxima mit einander vergleichen, so darf man eigentlich nicht die Momente des Eintretens dieser Maxima auf den Seismogrammen einander gegenüberstellen, sondern, um wirklich ganz systematisch zu verfahren, müsste man auf die Momente des Eintreffens der maximalen Bodenverschiebungen  $x_m$  zurückgehen und diese mit einander vergleichen. Dies lässt sich ohne Schwierigkeit durchführen, da die Zeitverspätungen  $\tau$  und  $\tau_1$  des Auftretens dieser Maxima auf den Seismogrammen sich nach den früher entwickelten Formeln leicht berechnen lassen. Dies habe ich jedoch bei meinen Pendeln fürs erste unterlassen und einfach einen Vergleich der Momente  $t$  des Auftretens einer und derselben Phase auf den Seismogrammen meiner drei Pendel vorgenommen, da die Unterschiede in den Werten von

$t$  sich im Allgemeinen recht klein ergeben haben und die anzubringende Korrektion in den meisten Fällen nicht gross ist.

Die Pendel I und II haben sich für seismometrische Zwecke als recht praktisch und bequem erwiesen. Selbst wenn sie aperiodisch gemacht wurden, war ihre Empfindlichkeit, bei Anwendung der galvanometrischen Registrieremethode, eine recht beträchtliche, wie die Kurven auf den Tafeln I, II und III es sofort erkennen lassen. Der Stützstift beim Pendel II erwies sich für entfernte Beben als überflüssig, da die schädlichen sekundären Schwingungen sich gar nicht mehr bemerkbar machen, wenn das an Drähten hängende Pendel nur genügend stark gedämpft ist.

Das kleine Rebeur-Paschwitz'sche Pendel (Pendel III) besitzt den grossen Nachteil, dass mit der Zeit seine Spitzen sich abstumpfen, wodurch es an Empfindlichkeit sehr viel einbüsst. Ausserdem kann wegen seiner kleinen Masse der Übertragungsfaktor  $k$  nicht sehr gross gewählt werden, sonst können störende Rückwirkungen eintreten. Die Empfindlichkeit seiner Registrierung lässt sich also nicht über eine gewisse Grenze treiben, oder man müsste dazu ein besonderes Galvanometer konstruieren.

Für stärkere Beben jedoch kann es ganz gute Dienste leisten, da es überhaupt wünschenswert ist, auf seismischen Stationen ersten Ranges für dieselbe Komponente der Bodenbewegung mindestens zwei Instrumente von verschiedener Empfindlichkeit zu haben, da bei stärkeren Beben gewisse Details der Bodenerschütterungen auf den Kurven der sehr empfindlichen Pendel verloren gehen, die aber auf den Kurven der weniger empfindlichen Pendel sehr deutlich hervortreten.

Wollen wir jetzt zu der zweiten gestellten Frage übergehen und einen Vergleich der Aufzeichnungen der Bodenstörungen in Pulkowa und Göttingen vornehmen.

Die Bestimmung des Eintreffens der ersten und zweiten Vorläufer  $P$  und  $S$  auf den Pulkowa'schen Seismogrammen liess sich in manchen Fällen sehr gut durchführen, da die entsprechenden Ausschläge sehr scharf auf den Galvanometerseismogrammen auftraten. In anderen Fällen war der Einsatz der ersten Vorläufer nicht so scharf zu erkennen, da dieselben für entfernte Beben auf ein Horizontalpendel nur wenig einwirken; zu diesem Zweck müsste man eigentlich über ein Vertikalseismometer verfügen, das jedoch in Pulkowa noch nicht aufgestellt ist. Die Bestimmung von  $S$  bietet zuweilen gewisse Schwierigkeiten dar, weil man gewissermaassen im Zweifel sein kann, welcher Ausschlag für den Einsatz der zweiten Vorphase gewählt werden muss, da für gewisse Herddistanzen möglicherweise reflektierte Wellen sich in der Nähe befinden können. Ausserdem wirken in einigen Fällen die mikroseis-

mischen Bewegungen sehr störend ein und erschweren ganz erheblich die genaue Bestimmung von  $P$  und  $S$ . Trotz alldem wird man sich mit einiger Übung in dieser Frage bald zurecht finden.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich darauf aufmerksam machen, dass die in meinem früheren Aufsatz «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa»<sup>1)</sup> gegebenen Daten «Anfang des Bebens, erster Vorstoss, zweiter Vorstoss», in manchen Fällen nicht als die eigentlichen  $P$  oder  $S$  aufgefasst werden dürfen, da ich damals keine genügende Übung in diesen Bestimmungen hatte. Die dort angegebenen Daten entsprechen vielfach nur einigen schärfer auftretenden Ausschlägen auf den entsprechenden Seismogrammen. In dieser Abhandlung dagegen sollen die angegebenen Werte von  $P$  und  $S$  wirklich die Momente des Eintretens der ersten und zweiten Vorläufer darstellen, wie sich dieselben nach meinen Galvanometerseismogrammen ergeben haben.

Die genaue Bestimmung des Eintretens der langen Wellen ( $L$ ) ist gewöhnlich sehr schwierig, dürfte aber durch die galvanometrische Registrierungsmethode bedeutend erleichtert werden, da diese Methode auch noch für sehr lange Perioden eine ziemlich grosse Empfindlichkeit besitzt.

Der entsprechende Moment lässt sich meistens nur angenähert angeben, da freilich in der Bestimmung von  $L$  sehr viel Willkür liegt.

Dies ist um so mehr für die Bestimmung des Endes ( $F$ ) eines Bebens gültig, da die Beben fast immer ganz allmählig abklingen, und es recht schwierig ist genau anzugeben, wo eigentlich die Bodenstörungen aufgehört haben. Dazu kommt noch der Umstand, dass die Bewegungen öfters direkt von mikroseismischen Störungen derselben Grössenordnung verdeckt werden.

Trotzdem findet man, wenn man die Momente des Eintreffens der verschiedenen Bebenphasen in Pulkowa und Göttingen vergleicht, in den meisten Fällen eine sehr befriedigende Übereinstimmung; die Momente sind fast immer annähernd dieselben, wobei die noch vorhandenen Unterschiede ohne Zweifel meistens auf die verschiedenen Entfernungen des Bebenherdes von den seismischen Stationen in Pulkowa und Göttingen zurückzuführen sind. Diese Entfernungen lassen sich sogar nach dem Zeitunterschiede zwischen den Momenten des Eintreffens der  $P$  und  $S$  nach den Laufzeitkurven von Wiechert-Zöppritz direkt bestimmen.

In der folgenden Tabelle VII sind nun für diese Beobachtungsreihe die aus den Seismogrammen abgeleiteten Herddistanzen von Pulkowa und Göt-

---

<sup>1)</sup> Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III. Livr. 1. St.-Pétersbourg.

tingen  $s$  und  $s_1$ , so wie die wahren Entfernungen bis zu den entsprechenden Epizentren  $\sigma$  und  $\sigma_1$  zusammengestellt. Von den im § 4 besprochenen 37 Erdbeben ist nur in 15 Fällen die Lage der Epizentren einigermaassen bekannt, und dennoch sind in manchen Fällen die angenommenen geographischen Koordinaten des Epizentrums recht problematisch, in anderen Fällen sogar sind sie sicher nicht zutreffend<sup>1)</sup>.

Tabelle VII.

Datum.	Epizentrum.	Angenommene Koordinaten des Epizentrums.		$s$	$s_1$	$\sigma$	$\sigma_1$	Bemerkungen.
		$\varphi_E$	$\lambda_E$					
1907.				Klm.	Klm.	Klm.	Klm.	
2 / XII	Östlich von Jesso . . . . .	43,3 N	145,8 E	7400	8500	7140	8640	$\sigma$ und $\sigma_1$ müssen noch grösser sein.
15 / XII	Nordküste von Deutsch Neu-Guinea . . . . .	4,5 S	145,0 E	13500	15000	11800	13350	—
23 / XII	Nord-Japan, wie am 2 / XII 1907 . . . . .	43,3 N	145,8 E	7000	8300	7140	8640	—
25 / XII	Kokan . . . . .	40,5 N	70,9 E	3400	—	3510	4720	—
30 / XII	Managua (Nicaragua) . . . . .	12,0 N	86,3 W	9500	9000	10260	9400	—
1908.								
11 / I	Formosa . . . . .	25,3 N 21,9 N	121,6 E 120,9 E	7800	9300	7670 7950	9200 9460	Zwei Punkte auf Formosa.
15 / I	Östlich von Japan . . . . .	39,5 N	142,1 E	7550	9100	7350	8870	$\sigma$ und $\sigma_1$ müssen noch grösser sein.
31 / I	Aulie-ata . . . . .	42,9 N	71,3	4800	—	3330	4590	$s$ ist sehr unsicher.
5 / III	Taruna . . . . .	3,7 N	125,5 E	9500	9500	9940	11400	
12 / III	Hissar . . . . .	38,5 N	68,5 E	4000	4800	3570	4680	
14 / III	Klein Asien . . . . .	38 N	30 E	2700	2100	2420	2170	Epizentrum eigentlich unbekannt.
26 / 27 III	Jalapa (Mexico) . . . . .	19,5 N	96,9 W	9800	9700	10000	9430	
27 / III	Chilpancingo . . . . .	17,5 N	99,4 W	9500	9500	10810	9760	
19 / IV	NE von Aomori (Japan) . . . . .	40,8 N	140,8 E	5900	7400	7170	8700	
5 / V	Menado (Celebes) . . . . .	1,5 N	124,8 E	9800	—	10100	11550	

Ausserdem kommt noch der Umstand hinzu, dass das Epizentrum eines Bebens keineswegs als ein bestimmter Punkt aufgefasst werden darf. Das

<sup>1)</sup> Siehe die Erdbeben vom 2 / XII 1907, 15 / I 1908 und 19 / IV 1908.

Epizentralgebiet kann eine mehr oder weniger ausgedehnte Fläche umfassen und in dieser Hinsicht ist die Bestimmung der Herddistanzen nach den Seismogrammen mit vielen Unsicherheiten verknüpft. Bedenkt man noch dabei, dass in einigen Fällen die genaue Feststellung der Momente des Eintreffens der ersten und zweiten Vorläufer recht schwierig ist und dass ein Fehler von nur einem Grad auf einem grossen Kreisbogen schon 111 Kilometern entspricht, so wird es sofort einleuchten, dass diese Vergleichung der vorausgerechneten und wahren Epizentraldistanzen auf keine besondere Genauigkeit Anspruch erheben kann.

Trotzdem lehren die Zahlen der Tabelle VII, dass in Anbetracht der Schwierigkeit dieser Bestimmungen, die Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Werten von  $s$  und  $\sigma$ , sowohl für Pulkowa als auch für Göttingen, im allgemeinen als eine befriedigende bezeichnet werden darf. Wäre die Lage der Epizentren genauer bekannt, so würde sich ohne Zweifel eine viel bessere Übereinstimmung ergeben haben.

In der Tat habe ich für andere spätere Beben, von welchen an einer anderen Stelle berichtet werden soll, wo sowohl die Lage der Mitte des Epizentralgebietes genau bekannt war, als auch die beiden Vorläufer scharf auf den Seismogrammen auftraten, eine ausserordentlich gute Übereinstimmung zwischen den vorausgerechneten und wahren Herddistanzen  $s$  und  $\sigma$  bekommen, was ihrerseits auch die völlige Zuverlässigkeit der Wiechert-Zöppritz'schen Laufzeitkurven beweist.

Dieser Vergleich zwischen den verschiedenen Pulkowa'schen und Göttingen'schen Erdbebendaten lässt also sofort erkennen, dass sich die von mir in Pulkowa angewandte galvanometrische Registriermethode recht gut zur Bestimmung der verschiedenen Bebenphasen eignet.

Ein rationeller Vergleich zwischen den Momenten des Eintreffens verschiedener Maxima in Pulkowa und Göttingen lässt sich nicht durchführen, erstens weil ich bei der Bearbeitung meiner Seismogramme nicht die absoluten Maxima ins Auge gefasst, sondern mich nur auf die regelmässigeren sinusartigen Stellen beschränkt habe, wobei ein Maximum des Ausschlages des Apparates nicht immer dem Maximum der Bodenverschiebung  $x_m$  entsprach, da die Grösse der Periode  $T_p$  der entsprechenden Bebenwelle dabei sehr maassgebend ist. Man darf nicht eigentlich, wie schon früher betont wurde, die Momente der maximalen Ausschläge auf den Seismogrammen mit einander vergleichen, sondern man muss auf die Momente der maximalen Bodenverschiebung zurückgreifen, und dabei noch mitberücksichtigen, nach welcher Richtung dieselbe stattfand. Weiter müsste man nicht allein die Komponenten mit einander vergleichen, sondern auch die totale Amplitude der Bodenschwankung und die entsprechende Schwin-

gungsrichtung in Rechnung ziehen. Nur unter diesen Bedingungen lässt sich ein rationeller Vergleich zwischen den an verschiedenen Orten auftretenden Maxima der Bodenbewegungen anstellen. Dies ist aber eine sehr komplizierte und mühsame Aufgabe, die zur Zeit für Pulkowa nicht durchgeführt werden konnte, da auf dieser Station bisjetzt nur die eine N-S Komponente der Bodenbewegung registriert wurde<sup>1)</sup>.

Zur Erleichterung dieser Aufgabe wäre es wünschenswert, ganz ähnliche Instrumente und ganz ähnliche Beobachtungsmethoden auf verschiedenen Stationen anzuwenden. Wenn es mit der Zeit gelingt, die Registrierung der drei Verschiebungskomponenten in Pulkowa und zugleich auch in Irkutsk und Tifis nach der galvanometrischen Methode einzuführen, so wird wohl dann die Möglichkeit geboten sein, in Anbetracht der grossen Empfindlichkeit dieser Methode und der anderen praktischen Vorteile derselben, die Frage eines rationellen Vergleiches der verschiedenen Maxima auf zwei weit von einander entfernten seismischen Stationen in Angriff zu nehmen.

Trotzdem liessen sich, wie aus den früher angeführten Daten hervorgeht, bei zwei Japanischen Beben (am 11. und 15. Januar 1908), die sich ungefähr auf dem grossen Kreise Pulkowa-Göttingen ausbreiteten, zwei Maxima indentifizieren und aus ihnen ein *angenäherter* Wert für die Geschwindigkeit  $V$  der Ausbreitung der Oberflächenwellen berechnen. Es ergab sich dabei im Mittel

$$V = 3,4 \frac{\text{Klm.}}{\text{Sec.}}$$

ein Wert, welcher mit den früheren Bestimmungen dieser Grösse in guter Übereinstimmung steht.

Aus der Zusammenstellung aller hier mitgeteilten Daten über den Vergleich verschiedener Pendel mit einander, so wie der seismischen Registrierungen in Pulkowa und Göttingen lässt sich wohl der Schluss ziehen, dass sich die in Pulkowa getroffenen Versuchsanordnungen und Beobachtungsmethoden völlig bewährt haben. Die Anwendung von sehr stark gedämpften, sogar aperiodischen Pendeln zeigte sich als sehr zweckmässig, wobei diese starke Dämpfung mit aller Leichtigkeit mit Hilfe von kleinen permanenten Magneten erreicht werden konnte.

Die galvanometrische Registriermethode erwies sich ebenfalls als sehr praktisch; sie gestattet eine sehr grosse Empfindlichkeit der Registrierung und ist in ihrer Handhabung sehr einfach und bequem.

Die erhaltenen Kurven zeichnen sich durch eine ausserordentliche

---

<sup>1)</sup> Vom 27. Januar 1909 an werden in Pulkowa beide Komponenten registriert.

Schärfe und Präzision aus, wobei, wegen der verhältnismässig grossen Drehungsgeschwindigkeit der Registriertommel, alle Details der Aufzeichnungen sehr schön zum Vorschein treten. Die verschiedenen Bebenphasen lassen sich auf ihnen gut erkennen, wobei die charakteristischen Eigenschaften verschiedener Fern- und Nahbeben ebenfalls sehr gut wiedergegeben werden. Einer der wesentlichsten Vorteile dieser Registriermethode besteht nicht nur in ihrer grossen Empfindlichkeit, die allerdings mit aller Leichtigkeit variiert werden kann, sondern auch darin, dass dieselbe eine Fernregistrierung gestattet, so dass der Raum, wo die eigentlichen Seismographen aufgestellt sind, nicht mehr betreten zu werden braucht.

Dies alles lässt sich durch sehr einfache Hilfsmittel erreichen; es sind dazu keine schweren Pendel mit kolossalen Massen erforderlich und alle komplizierten Hebelübertragungen fallen vollkommen weg.

Alles, was dazu nötig ist, besteht nur aus einem nicht zu grossen Horizontalpendel, zwei Paaren kleiner Magnete, einem Galvanometer und einem guten Registrierapparat.

---

## § 6.

### Die mikroseismischen Bewegungen.

Die Frage nach der Ursache und den Eigenschaften der mikroseismischen Bewegungen hat bis jetzt keine bestimmte Antwort erhalten. Es herrschen über sie zur Zeit sehr verschiedene Meinungen und erst dann wird es möglich sein, etwas bestimmtes auszusagen, wenn ein genügendes Beobachtungsmaterial gesammelt und verarbeitet worden sein wird.

Bei Gelegenheit dieser zweiten Pulkowa'schen Beobachtungsreihe, die fast ein halbes Jahr umfasst hat, sind manche Daten über die mikroseismischen Bewegungen gesammelt worden. Dieselben mögen jetzt kurz mitgeteilt werden.

Ich werde, wie früher erwähnt wurde, diese mikroseismischen Bewegungen in zwei Klassen teilen.

Es kommen erstens die sehr regelmässigen, periodischen Bewegungen mit einer Periode, die etwa zwischen 4 und 7 Sekunden schwankt vor und welche zuweilen sehr scharf und prägnant auftreten. Dieselben nenne ich mikroseismische Bewegungen erster Art.

Dann treten zweitens öfters ziemlich unregelmässige wellenförmige Bewegungen auf mit einer viel längeren Periode von etwa 30<sup>s</sup> (im Mittel). Diese will ich mikroseismische Bewegungen zweiter Art nennen.

Welches sind nun die Ursachen beider Bewegungsarten? Welchen Zu-

sammenhang haben mit ihnen die verschiedenen meteorologischen Faktoren, wie Windstärke, Windrichtung, Luftdruckgradienten u. s. w.? Dieses sind alles Fragen, welche ihrer Antwort harren.

Was nun den Einfluss der meteorologischen Faktoren anbelangt, so ist wohl eine direkte Einwirkung derselben auf den Seismographen denkbar, etwa durch irgend welche Druckänderungen, Luftzug oder andere sonstige Saugwirkungen. Um dieselben ein für alle Mal zu eliminieren und dementprechend das gestellte Problem zu vereinfachen, wäre es sehr wünschenswert, die Seismometer in einem möglichst von Luft evakuierten Raum aufzustellen, wodurch sie vor dem direkten Einfluss aller äusseren Luftströmungen vollkommen geschützt würden<sup>1)</sup>. Dies habe ich zur Zeit in Pulkowa verwirklicht. Es steht dort ein Pendel von dem Typus II unter einer Stahlglocke bei einem Drucke von ca.  $40^m/m$  und das Pendel III unter einer Glasglocke bei fast demselben Drucke. Der Abschluss von der äusseren Luft hat sich als vollkommen hermetisch erwiesen. Über die Resultate dieser neuen, dritten Beobachtungsreihe, die am 3. September 1908 begonnen wurde, möchte ich jedoch an einer anderen Stelle berichten, jetzt aber mich nur mit den Resultaten der Beobachtungen über die mikroseismischen Bewegungen während der zweiten Pulkowa'schen Beobachtungsreihe beschäftigen. Dieselben sind nach den Angaben des empfindlichsten der drei Pendel, nämlich des Pendels I, bearbeitet worden. Dasselbe war, wie früher angegeben wurde, nicht *speziell* vor den äusseren Luftschwankungen geschützt. Es war nur in einem grossen Käfig mit Glasscheiben eingeschlossen, also befand es sich unter denselben Bedingungen, wie die meisten Apparate auf den verschiedenen seismischen Stationen. Ein direkter Einfluss der meteorologischen Faktoren auf dieses Pendel war also nicht ausgeschlossen.

Ausser einem direkten Einfluss der meteorologischen Faktoren ist wohl ein indirekter Einfluss denkbar, etwa durch die Erschütterungen, die der Boden oder das über der seismometrischen Station stehende Gebäude, bei windigem Wetter erfahren können.

Es können dabei noch gewisse Fernwirkungen, die sich durch den Boden fortpflanzen, hinzutreten, wie etwa gewisse plötzliche Druckentlastungen, Massenverschiebungen (die Gezeiten), Meeresbrandungen (Wiechert) u. s. w. Es können auch mehrere Ursachen zusammenwirken, um die Erdscholle in Vibrationen zu versetzen. Die merkwürdige Tatsache, dass die eigentümlichen kurzen Perioden der mikroseismischen Bewegungen erster Art fast auf allen seismischen Stationen sich wieder finden, führt unmittelbar zu der

---

<sup>1)</sup> Ein hermetisches Abschliessen, ohne die Luft von Innen zu entfernen, würde insofern unsicher sein, als durch Temperaturschwankungen im umgebenden Raum dennoch im Innern Strömungen entstehen könnten.

Vermutung, dass diese Art mikroseismischer Bewegungen in unmittelbarem Zusammenhang mit den Vibrationen der über dem Magma befindlichen Erdscholle selbst steht.

An dieser Stelle werde ich jedoch nur eine ganz spezielle Frage besprechen, nämlich die, ob sich irgend ein Zusammenhang zwischen der Stärke der mikroseismischen Bewegung beider Arten (nach dem Pendel I) und der Windstärke oder Windrichtung erkennen lässt.

Zu diesem Zweck habe ich alle meine Daten über die mikroseismischen Bewegungen in der folgenden Tabelle IX dem Datum nach geordnet und dabei eine besondere Stärkeskala für die I Art mikroseismischer Bewegungen von 0 bis VI eingeführt. 0 entspricht völliger Bodenruhe, VI — den stärksten während dieser Beobachtungszeit aufgetretenen mikroseismischen Bewegungen. In der nächsten Kolumne steht die mittlere Windstärke und in der folgenden die mittlere Windrichtung für das entsprechende Zeitintervall.

Wenn ein einziges Datum angegeben ist, so entspricht es den Tagesstunden (etwa von 9<sup>h</sup> bis 21<sup>h</sup>); zwei bezeichnen die Nachtstunden.

Die Daten über die Windstärke und Windrichtung habe ich den Berichten der von Pulkowa nicht weit entfernten meteorologischen Observatorien in St.-Petersburg und Pawlowsk entnommen und aus den Angaben beider das Mittel gebildet, wobei ich die dreimal täglich gemachten Beobachtungen (um 7<sup>h</sup> morgens, 1<sup>h</sup> nachmittags und 9<sup>h</sup> abends) zugrunde gelegt habe.

Die Windstärke ist in Metern pro Sekunde gegeben, die Windrichtung auf 8 Hauptwindrichtungen abgerundet. In der letzten Kolumne finden sich verschiedene Bemerkungen.

Die hier eingeführte Stärkeskala bezieht sich ausschliesslich auf die mikroseismischen Bewegungen erster Art. Jedes Seismogramm erhielt dabei in bezug auf diese mikroseismischen Bewegungen eine besondere Stärkenummer.

Um diese Stärkeskala auf die wahren Amplituden  $x_m$  der Bodenverschiebungen zu reduzieren, wurden für jede Stärkenummer einige Seismogramme an drei Stellen derselben, (etwa am Anfang, in der Mitte und gegen das Ende) ausgemessen und die Periode  $T_p$  und die Amplitude  $x_m$  der Bodenverschiebungen abgeleitet.

Diese Daten sind in der folgenden Tabelle VIII zusammengestellt.

Es mag hier bemerkt werden, dass die Einführung dieser Stärkeskala etwas Willkür mit sich bringt, aber sie erleichtert ganz erheblich die Bearbeitung des Beobachtungsmateriales. Die Stärke der mikroseismischen Bewegungen wurde also nach der Grösse der Ausschläge  $y_1$  an der Galvanometerkurve beurteilt. Dies ist allerdings prinzipiell nicht ganz richtig, da, ausser  $x_m$ , die Periode  $T_p$  für die Grösse von  $y_1$  sehr maassgebend ist, da

aber  $T_p$  immer zwischen ziemlich engen Grenzen schwankte, so ist dieser Umstand von keiner sehr wesentlichen Bedeutung. Auf jeden Fall wird für jede geschätzte Stärkenummer in der folgenden Tabelle der entsprechende mittlere Wert von  $T_p$  und  $x_m$  angegeben.

In der letzten Kolumne sind die Gewichte dieser Daten hinzugefügt, d. h. die Anzahl der einzelnen Werte, aus welchen die verschiedenen  $T_p$  und  $x_m$  das Mittel bilden.

Tabelle VIII.

Stärke.	$T_p$	$x_m$	$G$
I	3,8 Sek.	0,6 <sup>u</sup> (Mikronen)	15
II	4,4	1,0	18
III	5,0	1,5	30
IV	5,9	2,4	24
V	6,3	3,7	13
VI	6,2 (!)	5,4	3

Diese Tabelle zeigt, dass mit wachsender Periode der Wellen die Intensität der mikroseismischen Bewegungen I Art zunimmt. Nur für die Stärke VI ist die Periode  $T_p$  um 0,1 Sek. kleiner, als für die Stärke V, da aber die Zahlen der letzten Zeile das Mittel aus nur 3 einzelnen Bestimmungen darstellen, (es wurde nur ein Seismogramm von der Stärke VI erhalten, nämlich am  $\frac{6}{7}$  II 1908), so mag wohl diese kleine Abweichung eine zufällige sein.

Dieses Wachsen von  $x_m$  mit wachsender Periode  $T_p$  bildet allerdings eine sehr merkwürdige Eigenschaft dieser Art mikroseismischer Bewegungen, lässt aber darauf schliessen, dass die Bewegung wirklich in der Erdrinde vor sich geht, sei es, dass die Erdrinde ihrer vollen Dicke hin und her vibriert, oder sei es, dass nur die obersten Schichten sich periodisch gegen die unteren hin und her verschieben und Schwingungen vollführen, wie eine elastische Feder.

Das ganze während dieser Beobachtungsreihe über mikroseismische Bewegungen gesammelte Beobachtungsmaterial findet sich in der folgenden Tabelle IX geordnet<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> In derselben befinden sich Lücken, die durch gewisse Störungen in dem regelmässigen Betrieb der seismischen Station verursacht waren. Die Zeichen > und < bedeuten, dass die entsprechende mikroseismische Bewegung grösser, resp. kleiner als der dabei angegebene Stärkegrad war.

Tabelle IX.

№ des Seismo- grammes.	Datum.	Stärke der mikros. Bew.	Mittlere Windrich- tung.	Mittlere Windstärke.	Bemerkungen.	
1907.						
1	28/29 XI	II-III	SW	6 <sup>Met.</sup> 5 <sup>Sek.</sup>	Starke m. s. Bew. II Art.	
2	29 »	III	NW	5		
3	29/30 »	III	NW	3	} Spuren eines Erdbebens. M. S. Bew. II Art.	
4	30 »	II-III	NW	4		
5	30/1 XI/XII	II	NW	4		
6	1 XII	II	NW	4		
7	1/2 »	II	W	3		
8	2 »	II-III	SW	3		
9	2/3 »	II-III	SW	3		
10	3 »	II-III	W	2		
11	3/4 »	II-III	W	2		
12	4 »	II-III	SW	2		
13	4/5 »	II-III	S	3		
14	5/6 »	III	S	7		
15	6 »	III-IV	S	7		
16	6/7 »	III-IV	S	5		
17	7 »	III-IV	S	3		
18	7/8 »	III	SW	2		
19	8 »	>III	NW	2		
20	8/9 »	III	NE	4		M. S. Bew. II fehlen fast gänzlich.
21	9 »	—	NE	5		} M. S. B. II Art fehlen fast gänzlich.
22	9/10 »	II-III	NE	5		
23	10 »	I	NE	6		} Sehr unruhig. M. S. B. II Art.
24	10/11 »	I	NE	6		
25	11 »	I	NE	6		
26	11/12 »	I	NE	4		
27	12 »	I	N	3		
28	12/13 »	I	NW	4		
29	13 »	I	NW	3		
30	13/14 »	I-II	SE	4		
31	14 »	I	E	5		
32	14/15 »	I-II	NE	5	} M. S. B. II Art. » » » » » » » » » » » » » » » »	
33	15 »	I	NE	6		
34	15/16 »	I	NE	6		
35	16 »	O	NE	5		
36	16/17 »	<I	N	6		
39	18 »	III	NW	4		
40	18/19 »	III-IV	NW	4		
41	19 »	III-IV	W	4		
42	19/20 »	III-IV	NW	3		
43	20 »	III-IV	NW	4		
44	20/21 »	IV	NW	4		
45	21/22 »	III	SW	2		
46	22 »	II-III	E	2		
47	22/23 »	III	N	2		
48	23 »	II-III	NW	1		
49	23/24 »	>II	NE	3	} M. S. B. II Art. Wahrscheinlich am Tage ein kleines Erd- beben. M. S. B. II Art.	
50	24 »	>II	E	3		
51	24/25 »	I-II	SE	2	} Spuren eines Erdbebens. M. S. B. II Art.	
52	25 »	I	SE	2		
53	25/26 »	I	E	2		
54	26 »	I	SE	2		
55	26/27 »	>II	S	2		
56	27 »	>II	S	2		

N <sup>o</sup> des Seismo- grammes.	Datum.	Stärke der mikros. Bew.	Mittlere Windrich- tung.	Mittlere Windstärke.	Bemerkungen.
1907.					
57	27/28 XII	>II	S	2 <sup>Met.</sup> 2 <sub>Sek.</sub>	
58	28 »	III	E	2	
59	28/29 »	II	NW	2	
60	29 »	II	W	4	
61	29/30 »	II-III	W	5	Starke M. S. B. II Art.
62	30 »	II	NW	6	» » » » » .
63	30/31 »	I-II	NW	5	M. S. B. II Art.
64	31 »	I-II	NW	3	» » » » » Spuren eines Bebens am
65	31/1 XII/I 1907 1908	I	W	2	Morgen 1/I.
1908.					
66	1 I	>I	W	2	M. S. B. II Art.
67	1/2 »	>I	W	3	» » » » »
68	2 »	>I	SW	4	» » » » »
69	2/3 »	>I	W	3	
70	3/4 »	II-III	W	6	
71	4 »	II-III	NW	5	
72	4/5 »	II-III	N	3	Spuren eines Erdbebens am Morgen 5/I.
73	5 »	II	SE	4	
74	5/6 »	II-III	S	7	Starke M. S. B. II Art.
75	6 »	II-III	SW	5	
76	6/7 »	III	N	5	
77	7 »	II-III	N	6	
78	7/8 »	II	NW	7	
79	8 »	II	W	5	
80	8/9 »	I	W	2	
81	9 »	I	E	4	Spuren eines Erdbebens am Morgen 9/I.
82	9/10 »	I	NE	7	
83	10 »	I-II	NE	6	
84	10/11 »	>II	N	3	
86	11 »	>II	W	3	
87	11/12 »	II-III	S	6	M. S. B. II Art.
88	12 »	II-III	SE	4	
89	12/13 »	II-III	S	4	
90	13 »	II-III	W	5	
91	13/14 »	II-III	NW	5	
92	14 »	III	W	3	
93	14/15 »	III	S	3	
94	15 »	II-III	SW	3	
95	15/16 »	II	W	4	
96	16 »	>II	W	5	Spuren eines Erdbebens am Morgen 16/I.
97	16/17 »	>II	SW	7	Starke M. S. B. II Art.
98	17 »	>II	W	6	Spuren eines Erdbebens am Abend 17/I.
99	17/18 »	II	W	5	
100	18 »	II-III	SW	7	
101	18/19 »	<IV	W	9	
102	19 »	<IV	NW	9	
103	19/20 »	III	NW	5	
104	20 »	III	W	4	
105	20/21 »	>III	SW	5	M. S. B. II. Art.
106	21 »	III-IV	W	5	
107	21/22 »	V	W	6	
108	22 »	IV	N	8	
109	22/23 »	>III	N	6	
110	23 »	>III	W	6	
111	23/24 »	IV-V	W	9	
112	24 »	IV	W	7	
113	24/25 »	III	W	6	

№ des Seismogrammes.	Datum.	Stärke der mikros. Bew.	Mittlere Windrichtung.	Mittlere Windstärke.	Bemerkungen.
	1908.				
114	25 I	II-III	W	5	
115	25/26 »	II-III	SW	3	
116	26 »	III	S	4	
117	26/27 »	<IV	S	5	
118	27 »	V	S	6	
119	27/28 »	III-IV	S	8	M. S. B. II Art.
120	28 »	IV	S	8	» » » » »
121	28/29 »	IV	SE	8	
122	29 »	IV	S	7	
123	29/30 »	III	S	5	Kleines Erdbeben am Abend 29/I.
124	30 »	II-III	SW	5	Spuren eines Bebens am Abend 30/I.
125	30/31 »	II-III	W	6	
126	31/1 I/II	IV	S	7	
127	1 II	<IV	S	6	
128	1/2 »	II-III	SE	5	Kleines Beben am Tage 2/II.
129	2 »	II	E	2	Spuren eines Bebens am Morgen früh 3/II.
130	2/3 »	II-III	E	2	
131	3 »	IV	NE	1	M. S. B. II Art fehlen fast gänzlich.
132	3/4 »	IV-V	S	1	Sehr regelmässige M. S. B. I Art.
133	4 »	IV-V	W	1	
134	4/5 »	IV-V	NW	3	Sehr regelmässige M. S. B. I Art. Kleines
135	5 »	IV-V	W	5	Beben am Tage 5/II.
	5/6 »	V	SW	8	Sehr unruhig.
136	6/7 »	VI	W	6	Sehr regelmässige M. S. B. I Art.
137	7 »	V-VI	NW	5	
138	7/8 »	IV	W	4	
139	8 »	V-VI	S	6	Sehr unregelmässige M. S. B. II Art.
140	8/9 »	IV-V	SE	10	Sehr unregelmässige M. S. B. II Art.
141	9 »	III-IV	E	8	Erdbeben am Abend 9/II.
142	9/10 »	>II	NE	6	
143	10 »	<II	NE	5	
144	10/11 »	II	N	3	
145	11 »	III	SW	6	
146	11/12 »	IV	W	9	
147	12 »	IV	NW	7	
148	12/13 »	III	NW	7	
149	13 »	II-III	NW	7	
150	13/14 »	II-III	NW	6	
151	14 »	II	NW	4	
152	14/15 »	<II	SW	3	
153	15 »	II	SE	5	M. S. B. II Art.
154	15/16 »	II	SE	6	
155	16 »	I	SE	7	M. S. B. II Art.
156	16/17 »	II	S	7	
157	17 »	II	SW	4	
158	17/18 »	II	SW	3	
159	18 »	III	SW	3	
160	18/19 »	III	S	6	
161	19 »	II	S	9	Sehr starke M. S. B. II Art.
162	19/20 »	I	S	8	» » » » » » »
163	20 »	I	SE	9	» » » » » » » , aber etwas schwächer, als auf № 163.
164	20 »	I	SE	9	
165	21 »	>I	SE	5	
166	21/22 »	II	SE	4	Spuren eines Bebens am Abend 21/II.
167	22 »	III-IV	SE	3	Unruhig.
168	22/23 »	IV	SE	6	Unruhig.
169	23 »	IV	SE	7	
170	23/24 »	II-III	SE	9	

N <sup>o</sup> des Seismo- grammes.	Datum.	Stärke der mikros. Bew.	Mittlere Windrich- tung.	Mittlere Windstärke.	Bemerkungen.
	1908.				
172	24 II	IV	SE	9 <sup>Met.</sup> 7 <sup>Sek.</sup>	
173	24/25 »	III	SE	5	
174	25 »	II	SE	5	
175	25/26 »	II	E	5	
176	26 »	I-II	E	5	
177	26/27 »	II	S	4	
178	27 »	III	SW	5	
179	27/28 »	III	S	6	
180	28 »	IV	SE	8	
181	28/29 »	III	SE	7	
182	29 »	II-III	SE	8	
183	29/1 II/III	II-III	SE	8	
184	3 III	I	SE	9	Unruhig. M. S. B. II Art.
185	3/4 »	I	SE	7	Spuren eines Bebens in der Nacht.
186	4 »	I	SE	8	Starke M. S. B. II Art.
187	4/5 »	I	SE	8	
188	5 »	I	S	6	
189	5/6 »	0-I	SE	2	Kleine M. M. S. B. II Art sind vorhanden.
190	6 »	0-I	NW	3	
191	6/7 »	I	W	4	
192	7 »	I-II	NW	2	
193	7/8 »	<II	NW	1	
194	8 »	II	E	2	
195	8/9 »	II	E	4	
196	9 »	III	NE	7	
197	9/10 »	III-IV	NE	7	
198	10 »	III-IV	E	8	
199	10/11 »	III	NE	8	
200	11 »	II	NE	7	
201	11/12 »	I-II	NE	8	
202	12 »	I	NE	9	
203	12/13 »	I-II	NE	7	Zwei Erdbeben.
204	13 »	I-II	NE	5	Fortsetzung des früheren Bebens.
205	13/14 »	I-II	N	4	
206	14 »	I	NW	3	
207	14/15 »	I	W	4	Erdbeben.
208	15 »	I	W	4	Erdbeben.
209	15/16 »	I	W	4	
210	16 »	<II	SW	5	
211	16/17 »	II	SW	4	Erdbeben.
212	17 »	II-III	W	6	
213	17/18 »	II-III	W	5	Sehr regelmässige M. S. B. I Art.
214	18 »	II	SW	4	
215	18/19 »	I-II	SW	4	Kleines Beben am Morgen 19/III.
216	19 »	II-III	SW	3	
217	19/20 »	III	S	4	
218	20 »	III	S	4	
219	20/21 »	III	S	5	Kleines Beben am Morgen 21/III.
220	21 »	II-III	S	5	
221	21/22 »	II	S	5	
222	22 »	II	S	4	
223	22/23 »	III	E	3	
224	23 »	III	NE	3	Erdbeben.
225	23/24 »	> III	N	3	
226	24 »	> III	NW	3	
227	24/25 »	III	NW	4	Erdbeben.
228	25 »	II-III	N	4	
229	25/26 »	III	N	4	Erdbeben.
230	26 »	II	NE	5	

N <sup>o</sup> des Seismo- grammes.	Datum.	Stärke der mikros. Bew.	Mittlere Windrich- tung.	Mittlere Windstärke.	Bemerkungen.
	1908.				
231	26 / 27 III	II	NW	2 <sup>Met.</sup> 2 <sup>Sek.</sup>	Spuren eines Bebens am Tage 27/III. Fortsetzung des Bebens.
232	27 »	II	W	3	
233	27 / 28 »	III	SW	4	
234	28 »	IV	W	3	
235	28 / 29 »	IV-V	W	4	
236	29 »	IV-V	SW	5	
237	29 / 30 »	IV	SW	5	
238	30 »	III	SW	7	
239	30 / 31 »	III	S	7	
240	31 »	III	S	7	
241	31 / 1 III / IV	<III	S	7	Kleines Beben am Morgen 1/IV. Erdbeben.
242	1 IV	II-III	SE	7	
243	1 / 2 »	II-III	SE	7	
244	2 »	>II	SE	6	
245	2 / 3 »	<II	S	3	
246	3 / 4 »	<II	S	4	
247	4 »	I	SE	3	
248	4 / 5 »	>I	E	4	
249	5 »	>I	E	3	
250	5 / 6 »	I	S	2	
251	6 »	I	SW	2	Kleines Beben in der Nacht. Kleines Beben am Abend 7/IV. Sehr regelmässige M. S. B. I Art. M. S. B. II Art fehlen gänzlich.
252	6 / 7 »	I	N	2	
253	7 »	I-II	NE	2	
254	7 / 8 »	III	SE	2	
255	8 »	III	SW	3	
256	8 / 9 »	II	SW	4	
257	9 »	II	SW	3	
258	9 / 10 »	>II	SW	3	
259	10 »	<II	N	4	
260	10 / 11 »	I-II	NE	2	
261	14 / 15 »	—	W	3	Sehr regelmässige M. S. B. I Art. M. S. B., II Art fehlen.
262	15 »	I	W	6	
263	15 / 16 »	II	W	6	
264	16 »	II	W	6	
265	16 / 17 »	III	W	6	
265 bis	17 »	III	W	4	
266	17 / 18 »	II-III	NW	5	
267	18 »	II	E	7	
268	18 / 19 »	II	SE	8	
269	19 »	I-II	SE	7	
270	19 / 20 »	I-II	SE	5	M. S. B. II Art fehlen. » » » » » » » » » » » » Unregelmässig. Unregelmässig. M. S. B. II Art. Unregelmässig.
271	20 »	<I	W	5	
272	20 / 21 »	I	W	4	
273	21 »	>I	NW	4	
274	21 / 22 »	II	E	5	
275	22 »	II	SE	7	
276	22 / 23 »	II	S	6	
277	23 »	II	W	2	
279	23 / 24 »	I-II	N	5	
280	24 / 25 »	<II	NE	5	
280 bis	25 »	—	NE	3	Spuren eines Bebens am Morgen 25/IV. Spuren eines Bebens am Morgen 29/IV.
290	28 / 29 »	I	NE	4	
292	30 »	I	W		

N <sup>o</sup> des Seismo- grammes.	Datum.	Stärke der mikros. Bew.	Mittlere Windrich- tung.	Mittlere Windstärke.	Bemerkungen.
	1908.				
293	30/1 IV/V	0-I	N	4 <sup>Met.</sup> 4 <sub>Seh.</sub>	
294	1 V	0-I	N	4	
295	1/2 »	0-I	N	4	
296	2 »	I	NW	4	
297	2/3 »	>I	W	3	Sehr unregelmässig. Erdbeben. Spuren eines Bebens am Abend 2/V.
298	3 »	II	NW	4	
299	3/4 »	II	N	5	M. S. B. II Art fehlen.
299 bis	4 »	II	NW	5	Sehr unregelmässig. Unruhig.
300	4/5 »	I	NW	5	Erdbeben.
301	5 »	I-II	NW	7	Sehr unregelmässig und unruhig. M. S. B. II Art. Fortsetzung des früheren Be- bens. Neues Beben am Tage.
302	5/6 »	I	NW	7	
303	6 »	0-I	NW	4	Spuren eines Bebens am Tage.
304	6/7 »	I	N	4	M. S. B. II Art fehlen gänzlich. Spuren eines Bebens in der Nacht.
305	7 »	I-II	E	4	M. S. B. II Art fehlen.
306	7/8 »	II	SE	3	M. S. B. II Art fehlen. Spuren eines Be- bens am Morgen 8/V.
307	8 »	I	S	5	Sehr unregelmässig. M. S. B. II Art.
308	8/9 »	I	S	5	» » » » » » » »
309	9 »	II	W	4	Stellenweise M. S. B. II Art.
310	9/10 »	I-II	NW	4	» » » » » » » »
311	10 »	II	W	4	» » » » » » » »
312	10/11 »	>I	W	4	» » » » » » » »
313	11 »	I-II	NW	4	Spuren eines Erdbebens am Tage.
314	11/12 »	I-II	NW	4	
315	12 »	II	NW	4	M. S. B. II Art mit kleinen Amplituden.
317	12/13 »	I-II	NW	2	Kleines Beben am Abend 12/V.
317 bis	13 »	II	NW	4	Stellenweise M. S. B. II Art.
318	13/14 »	I	E	6	» » » » » » » » , Spuren eines Bebens in der Nacht.
319	14 »	0-I	SE	8	Sehr starke M. S. B. II Art. Vordem und nachdem verhältnismässig ruhig.
320	14/15 »	0	NW	6	Ruhig.
321	15 »	0	NW	6	Stellenweise M. S. B. II Art. Erdbeben.
322	15/16 »	0	W	4	» » » » » » » »
323	16 »	0-I	W	4	Ruhig. Spuren eines Bebens am Morgen 16/V.
324	16/17 »	0-I	NW	3	Ruhig. M. S. B. II Art fehlen.

Um zu entscheiden, ob irgend welcher Zusammenhang zwischen der Stärke der mikroseismischen Bewegungen erster Art und der zur Zeit herrschenden mittleren Windrichtung und Windstärke besteht, wurden für jeden Monat spezielle Diagramme aufgezeichnet. Als Abszissen wurden die Beobachtungstage, resp. Beobachtungsnächte genommen und als Ordinaten einerseits die entsprechende Stärke der mikroseismischen Bewegungen nach der früher erwähnten Stärkeskala und andererseits die mittlere Windstärke.

Die Windrichtung wurde durch kleine Pfeile notiert.

Aus einer näheren Betrachtung dieser Diagramme lässt sich nicht mit Sicherheit eine Beziehung zwischen den beiden Erscheinungen feststellen. Frei-

lich weisen beide Arten dieser Kurven zuweilen einen parallelen Verlauf auf, hauptsächlich bei westlichen Winden, an anderen Stellen aber laufen dieselben in entgegengesetzten Richtungen und bei schwachem lokalem Winde finden zuweilen ziemlich starke mikroseismische Bewegungen I Art statt. Aus diesem Überblick der Diagramme lässt sich nur schliessen, dass, wenn irgend welche Beziehung zwischen der Stärke dieser Art mikroseismischer Bewegungen und der Windgeschwindigkeit besteht, dieselbe sehr schwach ausgeprägt ist. In erster Annäherung darf man also wohl annehmen, dass die Stärke der mikroseismischen Bewegungen I Art unabhängig von der Windrichtung und Windstärke am Beobachtungsort ist.

Zeichnet man auf den oben erwähnten Diagrammen diejenigen Tage auf, an welchen die Witterung über dem Europäischen Kontinent einen zyklonischen Charakter hatte, d. h. wenn auf den nördlichen Gewässern starker Wind wehte, so findet man im allgemeinen, dass an denselben Tagen auch die Intensität der mikroseismischen Bewegungen I Art ausgeprägt war.

Wenden wir uns jetzt den mikroseismischen Bewegungen II Art zu, über welche in der Tabelle IX gewisse Daten gesammelt sind.

Wie früher erwähnt wurde, zeichnen sich diese Bewegungen durch eine viel längere Periode  $T_p$  und ein viel weniger regelmässiges Aussehen aus.

Einige regelmässigeren Stellen dieser Seismogramme wurden ausgemessen und verarbeitet.

Die folgende Tabelle X enthält die Resultate dieser Bestimmungen.

Tabelle X.

$T_p$	$x_m$
22,3 Sek.	4,3 <sup>u</sup>
27,0	5,0
28,8	5,3
28,9	3,8
29,7	5,7
32,2	4,9
33,5	6,0
35,8	9,7
ca. 38,0	9,6

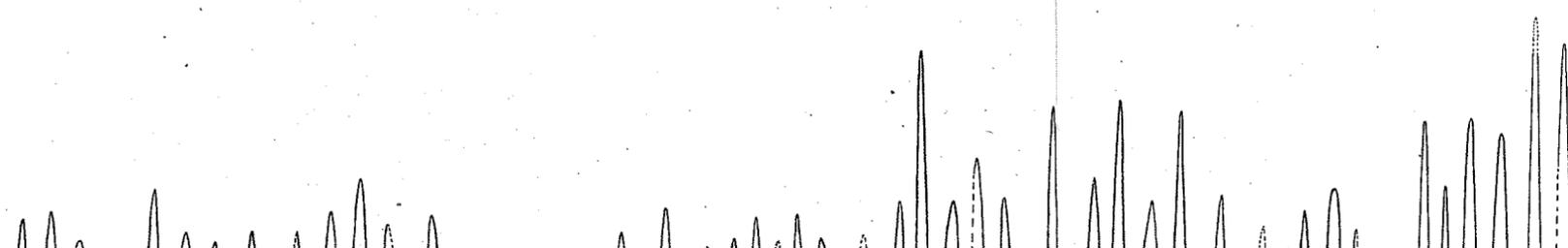
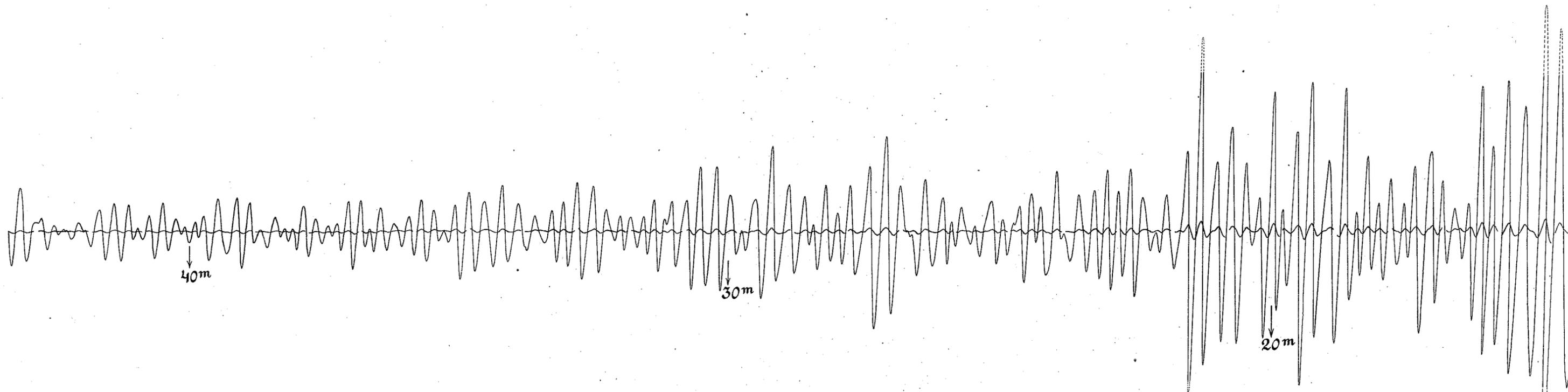
Die in dieser Tabelle angeführten Zahlen sind nicht Mittelwerte, sondern einfach das Ergebnis einzelner Bestimmungen von  $T_p$  und  $x_m$ . Trotzdem erkennt man im Allgemeinen auch hier dieselbe Tendenz, wie bei den mikroseismischen Bewegungen I Art, nämlich, dass mit wachsendem  $T_p$  die entsprechende wahre Amplitude  $x_m$  der Bodenverschiebung im grossen und ganzen ebenfalls zunimmt.

Markiert man auf den früheren Diagrammen diejenigen Tage, wo diese mikroseismischen Bewegungen II Art besonders scharf auftraten, so findet man, dass sie im allgemeinen denjenigen Tagen entsprechen, wo in Pulkowa ein starker Wind herrschte. Infolgedessen darf man wohl annehmen, dass diese Art mikroseismischer Bewegungen wirklich der Einwirkung des Windes zuzuschreiben ist.

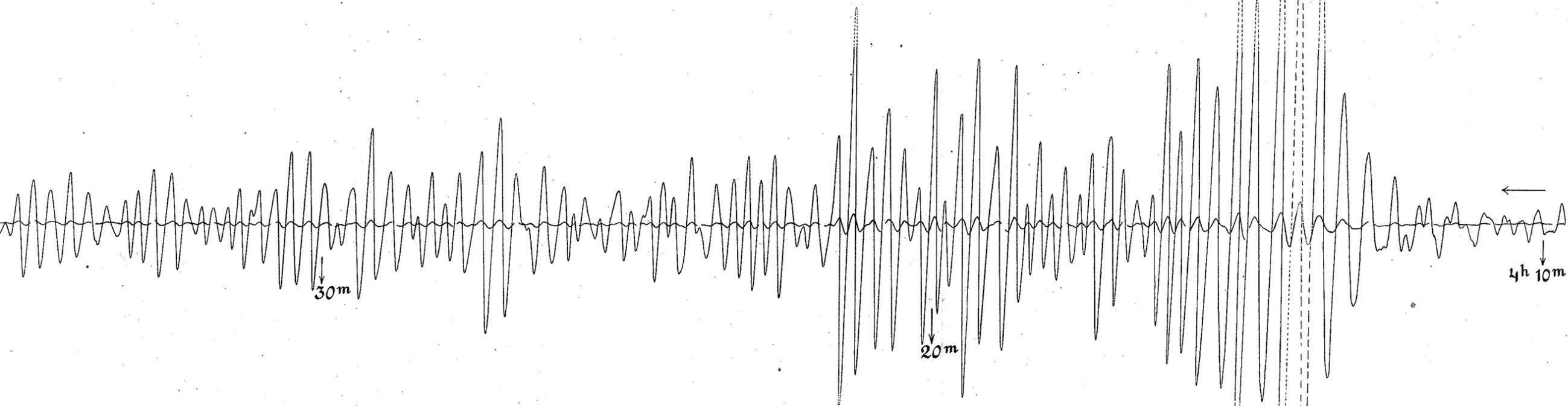
Aus den beiden früher angegebenen Tabellen VIII und X ersieht man, dass die Intensität der mikroseismischen Bewegungen zuweilen recht beträchtlich ist. Diese Störungen erschweren öfters ganz bedeutend die Auswertung der Seismogramme schwacher Fernbeben, indem sie zuweilen die beiden Vorläufer des Bebens gänzlich verdecken.



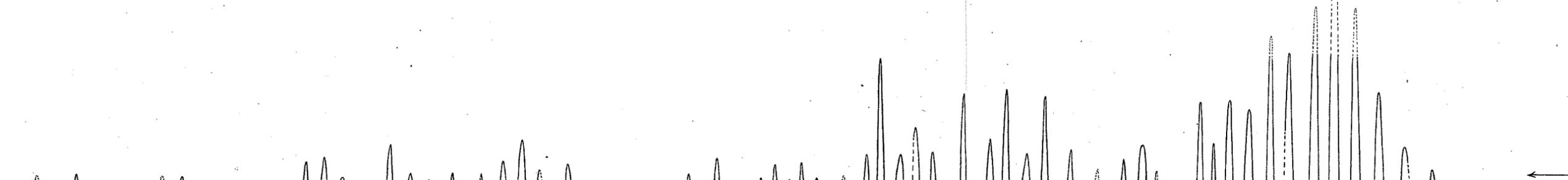
Taf. I.

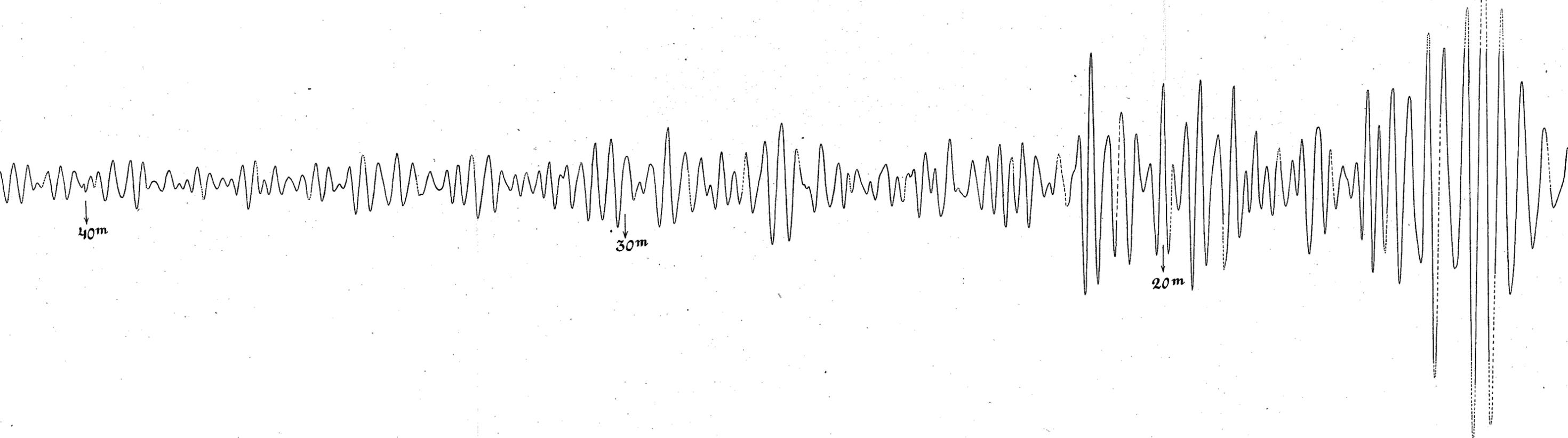
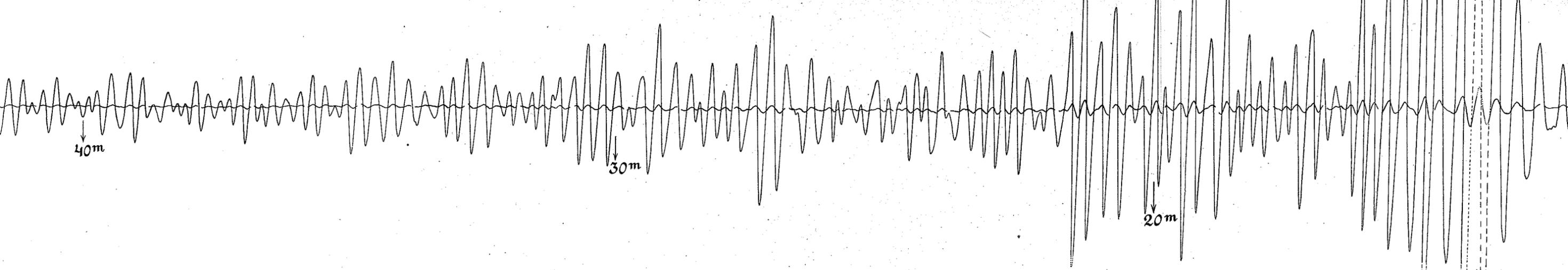


№84.  $\frac{10-11}{I}$  1908.  
P. I und III.

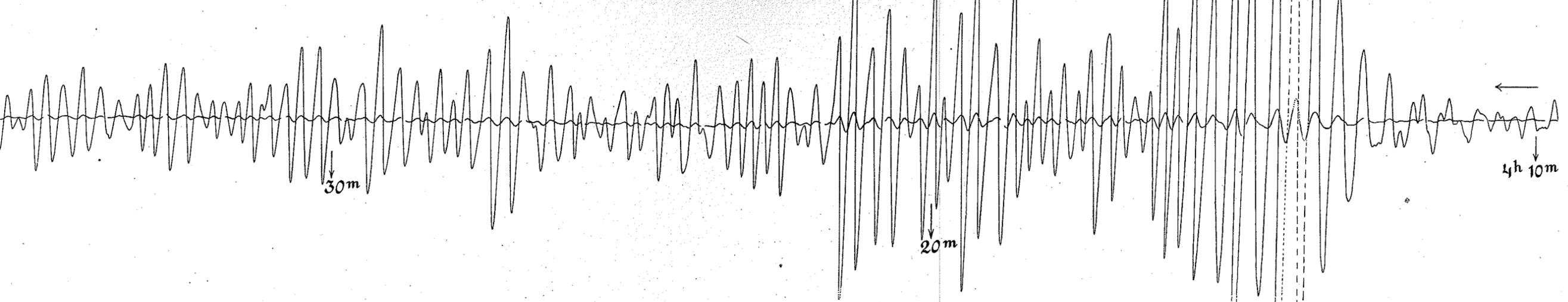


№84.  $\frac{10-11}{I}$  1908.  
P. II.

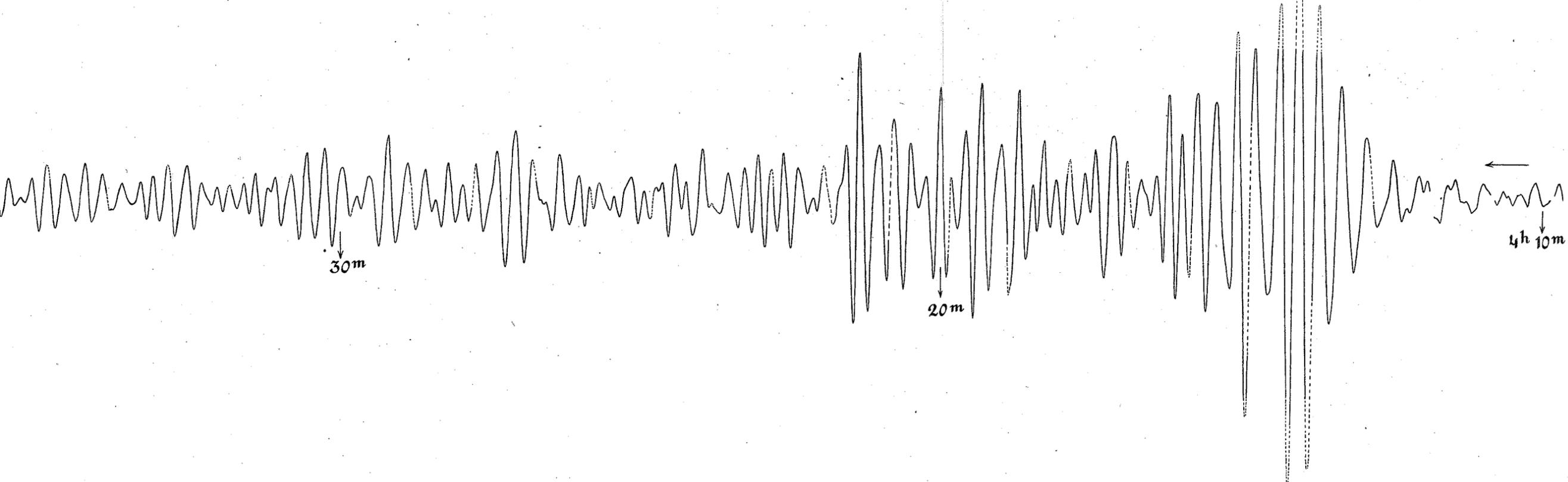




№

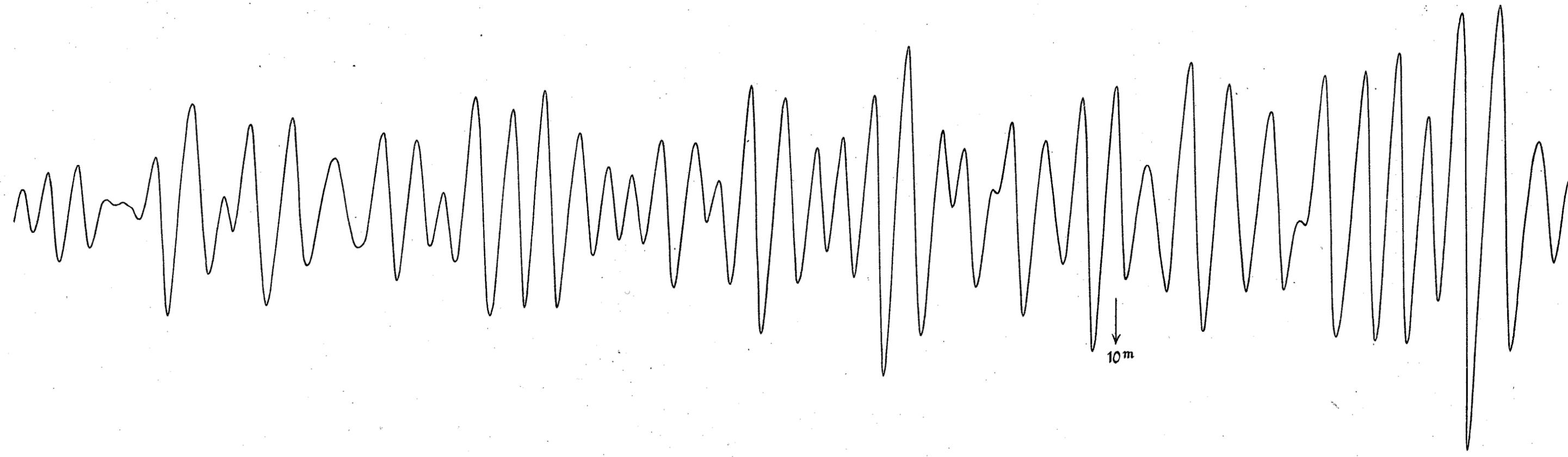


№84.  $\frac{10-11}{I}$  1908.  
P. II.

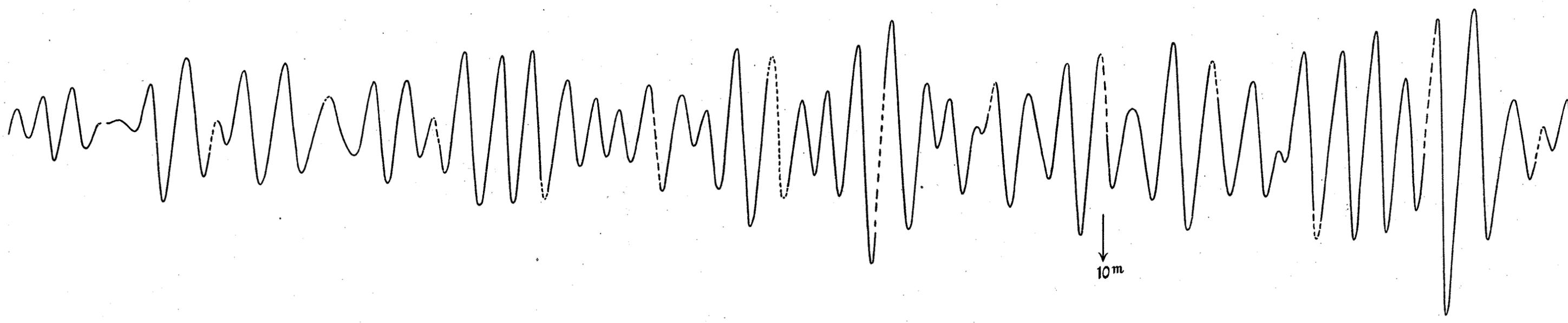


Taf. II.

Pl.



Pl.



№1.

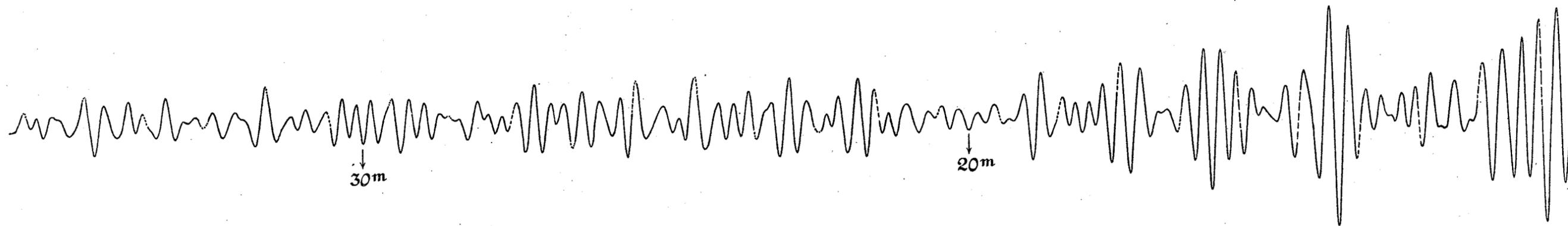
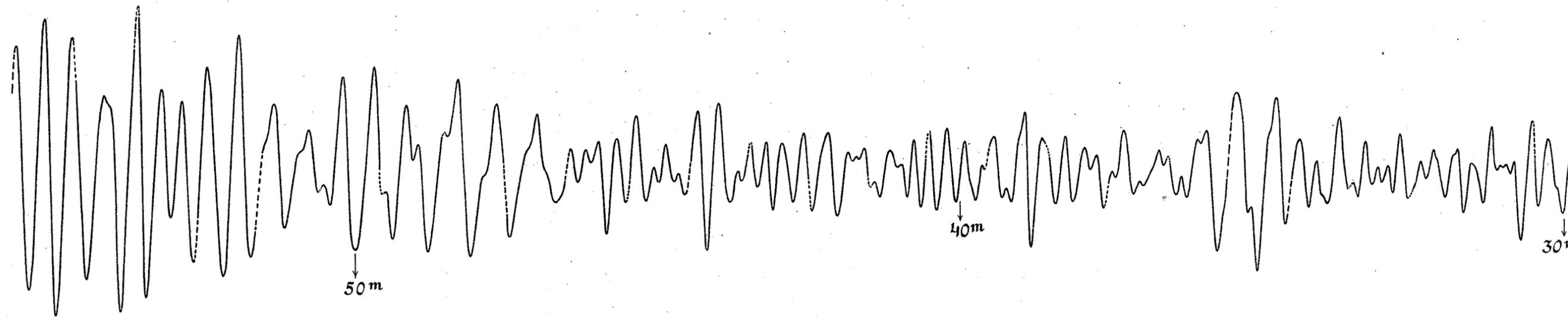
№187.  $\frac{4-5}{III}$  1908.

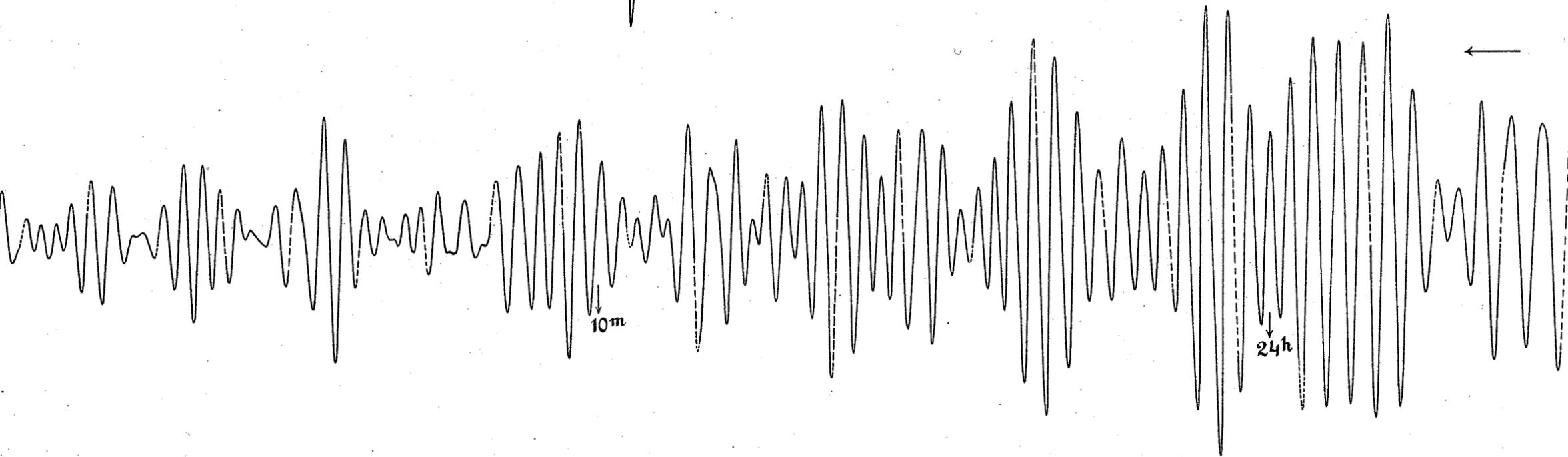
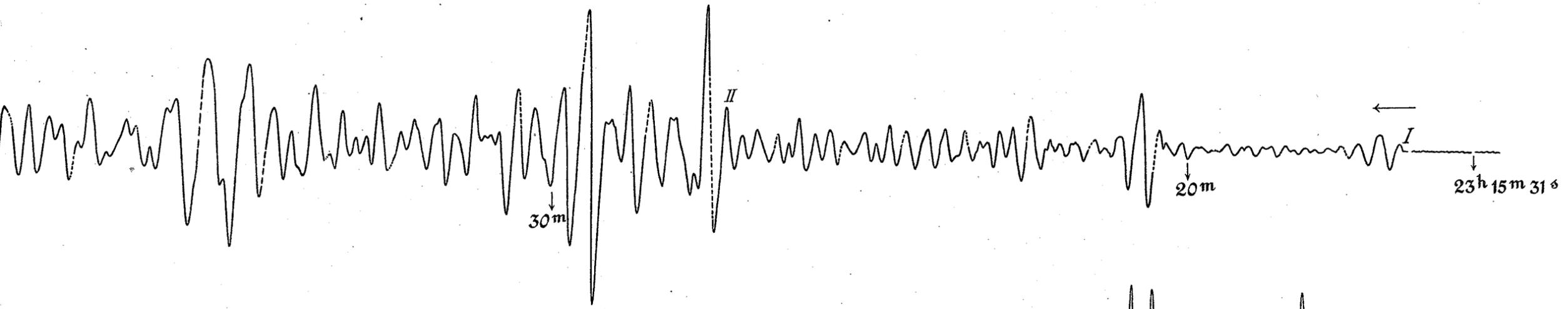


№2.

№187.  $\frac{4-5}{III}$  1908.









**БЮЛЛЕТЕНЬ**  
**ПОСТОЯННОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ**  
**КОМИССИИ,**

ИЗДАВАЕМЫЙ

подъ редакцію профессора Г. В. Левицкаго.

---

Январь—іюнь 1907 года.

---

**BULLETIN**  
DE LA  
**COMMISSION CENTRALE SISMIQUE PERMANENTE**

RÉDIGÉ PAR

M. le professeur G. Levitski.

---

Janvier—juin 1907.

---



ИМПЕРАТОРСКАЯ АКАДЕМІЯ НАУКЪ.

**ИЗВѢСТІЯ  
ПОСТОЯННОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ  
КОМИССИИ.**

—  
ТОМЪ 3.

—  
*Выпускъ II, № 2.*

—  
ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES.

**COMPTES RENDUS DES SÉANCES  
DE  
LA COMMISSION SISMIQUE PERMANENTE.**

—  
Tome 3.

—  
*Livraison II, № 2.*

—  
С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1910. ST.-PÉTERSBOURG.

Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.  
Январь 1910 г. За Непремѣннаго Секретаря, Академикъ Князь *В. Голицынъ*.

ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.

Вас. Остр., 9 лин., № 12.

## Оглавление. — Sommaire.

	Стр.		Pages.
Э. Г. Розенталя. Опредѣленіе эпицентра Тихоокеанскаго землетрясенія 17 августа 1906 г. . . . .	121	Elmar Rosental. Bestimmung des Epizentrums des Nordpazifischen Bebens vom 17 August 1906. . . . .	121
Князь Б. Б. Голицынъ. Къ вопросу объ изслѣдованіи колебаній зданій.	143	Fürst B. Galitzin (Golicyn). Zur Frage der Untersuchung der Erschütterungen von Gebäuden . . . . .	143
<hr/>		<hr/>	
Бюллетень Постоянной Центральной Сейсмической Комиссіи, издаваемый подъ редакцію профессора Г. В. Левицкаго. Июль — декабрь 1907 года . . . . .	стр. 137—269	Bulletin de la Commission Centrale Sismique Permanente, rédigé par M. le professeur G. Levitski. Juillet—decembre 1907 . . . . .	pag. 137—269



# Bestimmung des Epizentrums des Nordpazifischen Bebens vom 17. August 1906.

VON ELMAR ROSENTHAL.

Am 17. August 1906, um etwa  $0^h 11^m$  mittl. Greenw. Zeit ereignete sich im nördlichen Teile des Pazifischen Ozeans ein Beben, dem ungefähr 30 Minuten später ein anderes folgte, durch welches die Stadt Valparaiso zerstört wurde. Die Seismogramme dieser Beben sind vom Zentralbureau der internationalen seismologischen Assoziation in einem sehr stattlichen und kostspieligen Album vervielfältigt worden, dem «Begleitworte und Erläuterungen», von den Herren E. Rudolph und E. Tams, beigegeben sind. Das in diesen «Begleitworten» gesammelte makroseismische Material erlaubt eine recht genaue Bestimmung des Epizentrums für das Valparaiso-Beben. Für das nordpazifische dagegen sind keine makroseismischen Angaben erhältlich gewesen und die Lage seines Epizentrums ist bis jetzt nur provisorisch berechnet worden. Es entsteht daher die Aufgabe, diese Lage aus den Registrierungen mit möglichster Schärfe abzuleiten.

Bis jetzt sind solche Rechnungen immer unter Benutzung gewisser Hypothesen über die Beschaffenheit des Erdinnern oder über die geometrische Gestalt des Weges der Erdbebenwellen ausgeführt worden. Das soll hier vermieden werden. Es soll nur von der empirisch bekannten Tatsache Gebrauch gemacht werden, dass die Eintrittszeit gewisser Phasen der seismischen Registrierungen eine Funktion des Abstandes der Beobachtungsstation vom Epizentrum ist, und zwar, soweit die Genauigkeit des bis jetzt verarbeiteten Materials reicht, eine eindeutige Funktion *nur* dieser Entfernung das heisst nicht vom Azimut der Station inbezug auf das Epizentrum abhängt.

Diese Funktion lässt sich in einfacher Weise empirisch ermitteln. Man hat eben nur für eine Anzahl Beben, deren Eintrittszeit und Epizentren-

trum gut bekannt sind, die Eintrittszeiten der verschiedenen Phasen auf den Seismogrammen zu ermitteln und darnach die sogenannten Laufzeiten zu bestimmen. Es möge gleich bemerkt werden, dass als solche Phasen nur die sogenannten Vorläufer für die vorliegende Aufgabe in Betracht kommen. Die Eintrittszeiten der Hauptphase oder der sogenannten «Langen Wellen», sowie des Maximums der Bewegung haben sich bisher für unseren Zweck nicht sicher genug fixieren lassen.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen möge es gestattet sein, die Grundlagen der Rechnung ausführlich zu besprechen. Es scheint mir das nicht ganz überflüssig zu sein, weil so ein bestimmtes Urteil über die erreichte Genauigkeit ermöglicht wird und die Rechnung erforderlichen Falles nachgeprüft werden kann.

---

§ 1.

**Die Laufzeiten.**

Die Bestimmung der Laufzeiten für die beiden ersten Vorläufer ist schon zu wiederholten Malen und von verschiedenen Autoren ausgeführt worden und zwar mit dem Fortschreiten der Beobachtungstechnik und dem Anwachsen des verfügbaren Zahlenmaterials mit immer wachsender Genauigkeit. Es sollen daher nur die letzten Arbeiten über diese Frage benutzt werden, nämlich die von Bendorf<sup>1)</sup> und von Wiechert-Zöppritz<sup>2)</sup>.

Epizentral- entfernung.	$V_1$			$V_2$			$V_2 - V_1$		
	Kilometr.	Zöppritz.	Benndorf.	Diff.	Zöppritz.	Benndorf.	Diff.	Zöppritz.	Benndorf.
1000	<sup>m</sup> 2.3	<sup>m</sup> 2.1	<sup>m</sup> 0.2	<sup>m</sup> 4.0	<sup>m</sup> 4.2	<sup>m</sup> -0.2	<sup>m</sup> 1.7	<sup>m</sup> 2.2	<sup>m</sup> -0.5
2000	4.3	3.6	0.7	7.7	7.0	0.7	3.4	3.4	0.0
3000	5.9	5.1	0.8	10.7	9.6	1.1	4.7	4.5	0.2
4000	7.3	6.5	0.8	13.1	12.1	1.0	5.8	5.6	0.2
5000	8.5	7.9	0.6	15.2	14.5	0.7	6.7	6.6	0.1
6000	9.5	9.1	0.4	17.1	16.6	0.5	7.6	7.5	0.1
7000	10.5	10.2	0.3	19.0	18.6	0.4	8.5	8.4	0.1
8000	11.5	11.3	0.2	20.8	20.5	0.3	9.4	9.2	0.2
9000	12.4	12.3	0.1	22.6	22.3	0.3	10.2	9.9	0.3
10000	13.2	13.2	0.0	24.1	23.9	0.2	10.9	10.6	0.3
11000	14.0	14.0	0.0	25.7	25.3	0.4	11.6	11.2	0.4
12000	14.9	14.7	0.2	27.0	26.5	0.5	12.1	11.7	0.4
13000	15.5	15.4	0.1	28.4	27.7	0.7	12.9	12.2	0.7

<sup>1)</sup> Über die Fortfilanzung der Erdbebenwellen im Erdinnern. Mitteil. d. Wien. Erdbebenkommission. N. F. № XXIX.

<sup>2)</sup> Über Erdbebenwellen. Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Math.-Phys. Kl. 1907.

Während die erste dieser Arbeiten sich auf ein sehr zahlreiches, zum Teil auch älteres Material stützt, benutzt die zweite nur drei neuere, sorgfältig bearbeitete Beben. Die Resultate beider Arbeiten seien hier zum Vergleich neben einander gestellt. Sowohl die Laufzeiten, als auch ihre Differenzen ( $V_2 - V_1$ ) sind auf Zehntelminuten abgerundet, wobei aber  $V_2 - V_1$  direkt den Diagrammen resp. Formeln entnommen wurden, so dass die Abrundungsfehler von  $V_1$  und  $V_2$  vermieden sind.

Die Übereinstimmung der absoluten Werte der Laufzeiten nach beiden Autoren ist nicht überall gleich befriedigend, da die Abweichungen stellenweise eine Minute erreichen. Dafür ist die Übereinstimmung der Differenzen  $V_2 - V_1$  ganz vorzüglich und verdient hervorgehoben zu werden. Diese Differenzen sollen bei der vorliegenden Aufgabe allein benutzt werden.

Es braucht also auch die Frage nicht weiter diskutiert zu werden, welcher von den beiden Reihen, der Bendorf'schen oder der Zöppritz'schen das grössere Gewicht zu erteilen sei, sondern man wird einfach das Mittel aus beiden Werten bilden dürfen und behaupten können, dass dieses Mittel bis auf  $\pm 0^m.1$  genau ist, mit Ausnahme der ganz grossen und ganz kleinen Epizentralentfernungen, bei denen die Unsicherheit etwas grösser ist.

Ich bilde also dieses Mittel und ordne nach den Differenzen  $V_2 - V_1$ , das heisst der Zeitdauer des ersten Vorläufers, die entsprechende Epizentralentfernung, wozu ich ein graphisches Interpolationsverfahren benutzte habe. Die Entfernungen sind dabei auf Hunderte von Kilometern abgerundet, wie es die Genauigkeit der Laufzeiten erfordert. Ausserdem sind die Entfernungen auch in Gradmass beigefügt.

$V_2 - V_1$	Epizentralentfernung.	
1.0	500 Km.	4°
2.0	1000	9
3.0	1700	15
4.0	2400	22
5.0	3300	30
6.0	4300	39
7.0	5400	49
8.0	6500	59
9.0	7700	69
10.0	8900	80
11.0	10300	93
12.0	12000	108

Aus dieser Tabelle kann zu jeder beobachteten Zeitdifferenz  $V_2 - V_1$  die zugehörige Epizentralentfernung ohne Mühe entnommen werden und es dürften diese Werte die grösste zur Zeit erreichbare Genauigkeit besitzen.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass für mittlere Distanzen einem Fehler von  $0^m 1 = 6^s$  ein Fehler der Epizentralentfernung von 100 Km. oder  $1^\circ$  entspricht. Diese Genauigkeit wird, wie wir an dem hier zu behandelnden Beispiel sehen werden, im allgemeinen von einer einzelnen Seismogramablesung nicht erreicht. Das ist um so auffallender, als aus der Differenz  $V_2 - V_1$  einige wichtige Fehler fortfallen, mit welchen die absoluten Zeiten behaftet sein können. Einerseits kommt hier die Uhrkorrektur und der Fehler der Zeitübertragung auf das Seismogramm (Parallaxe etc.) nicht in Betracht, andererseits wird auch wenigstens ein Teil des Reibungswiderstandes eliminiert; er würde sogar ganz herausfallen, wenn der erste und zweite Einsatz von genau gleicher Stärke wären und den Seismographen in Ruhe anträfen.

---

§ 2.

**Geometrische Bemerkungen.**

Nachdem im vorstehenden die numerische Grundlage gegeben worden ist, auf der die weitere Rechnung aufgebaut werden kann, möge auch die geometrische Seite der Aufgabe kurz besprochen werden. Wir sahen, dass jedes Seismogramm eine Epizentraldistanz liefert und damit einen Kreis auf der Erdkugel um die gegebene Station bestimmt, auf dem das Epizentrum liegen muss. Die Erde wird dabei als sphärisch vorausgesetzt, wie dies auch bei der Ableitung der oben zitierten Laufzeiten geschehen ist. Wir stehen also vor derselben Aufgabe, wie in der Nautik, wo es sich darum handelt, aus der gemessenen Zenithdistanz eines Gestirns den Kreis zu finden, auf dem das Schiff sich befindet. In der Nautik genügen im allgemeinen zwei Beobachtungen, da man in der Wahl zwischen den beiden Schnittpunkten der beiden Kreise nicht zweifelhaft ist. In der Seismologie dagegen kann man sich über die Wahl zwischen den beiden Schnittpunkten nicht ohne weiteres entscheiden und man braucht daher im allgemeinen wenigstens 3 Beobachtungsstationen, durch welche aber dann die Aufgabe schon überbestimmt ist. Die Bedingung, dass das Epizentrum auf der Erdoberfläche liegen muss, ist ja dabei immer im Auge zu behalten. In der Tat ist auch nach allem, was man bis jetzt weiss, die Herdtiefe immer bedeutend kleiner, als die oben gezogene Genauigkeitsgrenze.

In der Nautik löst man bekanntlich das Zueihöhenproblem gewöhnlich graphisch durch Konstruktion der sogenannten «Standlinien», die mit Hilfe des schon genähert bekannten Schiffsortes konstruiert werden. Ähnlich kann man auch in der Seismologie vorgehen.

Wir nehmen an, dass man bereits einen genäherten Ort für das Epizentrum kennt. Man berechnet dann die Entfernungen und Azimute der gegebenen Stationen, gesehen vom Epizentrum, und trägt dann die Differenzen zwischen beobachteter und berechneter Distanz in der Richtung der Azimute in eine Karte ein. In den so gefundenen Punkten zieht man Senkrechte zu den Azimutallinien und jede Station liefert dann die Bedingung, dass das Epizentrum auf der zugehörigen Senkrechten liegen muss. Sollte das angenommene Epizentrum sich als nicht genau genug erweisen, so sind Rechnung und Konstruktion zu wiederholen.

Wegen der Beobachtungsfehler werden sich die «Standlinien» nicht in einem Punkte schneiden und schon die mindestens notwendigen 3 Stationen liefern im allgemeinen ein Dreieck, in dessen Schwerpunkt der wahrscheinlichste Ort des Epizentrums zu suchen ist. Hat man noch mehr Stationen zur Verfügung, so erhält man entsprechend ein Polygon.

Das geschilderte Verfahren ist zwar etwas zeitraubend, hat aber den Vorteil, dass es sich jedem beliebigen gegebenen Genauigkeitsgrade anpassen lässt.

Rechnerisch erledigt sich die Sache folgendermassen. Es sein  $\varphi_0, \lambda_0$  die Breite und Länge des angenommenen Epizentrums,  $\varphi_s$  und  $\lambda_s$  dieselben Werte für die Station,  $d\varphi_0$  und  $d\lambda_0$  — die zu ermittelnden Korrekturen,  $a$  — das Azimut beim Epizentrum und  $\Delta$  — die angenommene Distanz. Man hat dann aus dem Dreieck: Pol-Station-Epizentrum

$$\cos \Delta = \sin \varphi_0 \sin \varphi_s + \cos \varphi_0 \cos \varphi_s \cos (\lambda_0 - \lambda_s)$$

und hieraus folgt, wenn  $d\varphi_0$  und  $d\lambda_0$  genügend klein sind, unter Benutzung bekannter sphärisch-trigonometrischer Relationen

$$- \sin \Delta d\Delta = \sin \Delta \cos a d\varphi_0 - \sin \Delta \sin a \cos \varphi_0 d\lambda_0 \dots \dots \dots (1)$$

Setzt man

$$d\varphi_0 = x \quad \text{und} \quad \cos \varphi_0 d\lambda_0 = y$$

so ergibt sich

$$\cos a \cdot x - \sin a \cdot y + d\Delta = 0 \dots \dots \dots (2)$$

Die Gleichung (1) ist also durch  $\sin \Delta$  dividiert worden, was bedeutet, dass ihr das Gewicht  $\frac{1}{\sin^2 \Delta}$  beigelegt worden ist. Solange alle in die Rechnung

eingehenden Stationen dieselbe Epizentralentfernung haben, ist diese Umformung der Gleichung (1) natürlich gleichgültig. Haben aber die Stationen verschiedene Epizentralentfernungen, so ist sie innerhalb gewisser Grenzen sogar geboten.

In der Tat muss den näheren Stationen ein grösseres Gewicht beigelegt werden, als den entfernteren. Erstens nehmen ja die Amplituden der Bodenbewegung mit wachsender Entfernung ab, so dass dieselbe bei gleich bleibender Empfindlichkeit der Instrumente weniger deutlich registriert wird und dementsprechend die Seismogramme weniger sicher ausgemessen werden können. Dann aber ersieht man aus der oben gegebenen Tabelle der Laufzeiten, dass einer Fehlereinheit in der Zeitdifferenz  $V_2 - V_1$  mit wachsender Entfernung ein immer wachsender Fehler im abzuleitenden Werte von  $\Delta$  entspricht.

Dieser letztere Fehler kann berechnet werden. Er ist proportional mit  $\frac{d\Delta}{dt}$ , wo  $t$  jene Zeitdifferenz bedeutet. Das Gewicht einer Gleichung muss also hiernach proportional mit  $\left(\frac{d\Delta}{dt}\right)^2$  verkleinert werden. Der erstgenannte Fehler lässt sich dagegen nicht scharf bestimmen. Man wird es als rohe Annäherung gelten lassen können, wenn man annimmt, dass die Sicherheit der Ablesung für  $30^\circ$  Epizentraldistanz etwa doppelt so gross ist, wie für  $90^\circ$ . Unter dieser Annahme ergibt die Division mit  $\sin \Delta$  in der Tat das richtige Gewicht.

Wegen  $\frac{d\Delta}{dt}$  müssten z. B. die Gewichte der Gleichungen für  $\Delta = 30^\circ$  und  $\Delta = 90^\circ$  im Verhältnis von 2:1 stehen, wegen der Abnahme der Amplitude wurde eine weitere Verkleinerung der Gewichte im Verhältnis von 2:1 angenommen. Die Division durch  $\sin \Delta$  verkleinert aber in der Tat die Gewichte für die angeführten Grenzen im Verhältnis von 4:1.

Für die hier gestellte Aufgabe sind die beispielsweise angeführten Grenzen  $30^\circ$  und  $90^\circ$  in der Tat die äussersten vorkommenden. Sehr kleine Werte von  $\Delta$ , bei welchen die grossen Amplituden der Bodenbewegung die Lesbarkeit der Seismogramme wieder beeinträchtigen können und welche den Übergang zu den «Nahbeben» vermitteln, erfordern eine besondere Diskussion. Für Werte von  $\Delta > 90^\circ$  ergibt die Division mit  $\sin \Delta$  eine unstatthafte Gewichtsvergrösserung, die aber erst ausserhalb der Grenzen unserer Tafel der Epizentralentfernungen merklich werden kann.

Das Ergebnis der ganzen Betrachtung kann also kurz folgendermassen ausgedrückt werden. Rein geometrisch erhalten nach Gleichung (1) die grösseren Distanzen grössere Gewichte; rein seismologisch müsste es dagegen umgekehrt sein. Beide Gründe zusammen heben sich gegenseitig nahezu auf, so dass allen Gleichungen gleiches Gewicht zu erteilen ist. Die

Gleichungen (2) können also, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen, als richtig gelten.

In der Gleichung (2) sind noch die Vorzeichen gehörig zu beachten. Wählt man als *einen* Eckpunkt des Dreieck, aus dem die Gleichung abgeleitet ist, den Nordpol, zählt die Längen östlich und nimmt an, dass

$$0 < \lambda_0 - \lambda_s < 180^\circ$$

ist, so gilt die obige Gleichung (2), wenn die Azimute von Nord über West gezählt werden. Für westliche Längen und nordöstlich gezählte Azimute hätte man

$$\cos a^* x + \sin a^* y + d\Delta = 0 \dots \dots \dots (2^*)$$

Die Gleichung (2) gilt also allgemein, wenn man die Azimute von Nord über West bis  $360^\circ$  zählt, sin und cos mit den gehörigen Vorzeichen wählt und nördliche Breiten sowie östliche Längen positiv annimmt. Dann ergeben  $x$  und  $y$  die Korrekturen der angenommenen Länge und Breite mit dem richtigen Vorzeichen und  $d\Delta$  ist im Sinne «Beobachtung — Rechnung» zu nehmen.

Jedes Seismogramm liefert also eine Gleichung von der Form (2) und aus allen für ein gegebenes Beben aufstellbaren Gleichungen sind  $x$  und  $y$  nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen. Der erforderliche Näherungswert für den Ort des Epizentrums kann leicht aus den Angaben weniger zuverlässiger Stationen mit Hilfe eines Globus mit einem Bandmass bestimmt werden. Nötigenfalls wird man dann noch mit Hilfe einiger ausgewählter Gleichungen (2) einen verbesserten Ort berechnen und dann erst zur endgültigen Ausgleichung schreiten oder man wird die oben besprochene, in der Nautik übliche Konstruktion anwenden. Auf eine andere bequeme Näherungsmethode kommen wir noch am Schlusse zurück.

---

§ 3.

**Das Beobachtungsmaterial.**

Wenden wir uns nun zur Berechnung des Epizentrums des nordpazifischen Bebens vom 17. August 1906. Das hierzu notwendige Zahlenmaterial findet sich in den eingangs erwähnten «Begleitworten». Diese enthalten die Seismogramm-Ausmessungen für die im «Album» gesammelten Dia-

gramme, ferner die berechneten Distanzen und Azimute für den Punkt  $\varphi = 50^\circ$ ,  $\lambda = 180^\circ$ . Dieser Punkt entspricht bereits sehr nahe dem wahrscheinlichsten Epizentrum, wie sich das weiter unten zeigen wird. Die Aufgabe ist also ganz bedeutend erleichtert.

Da die seismometrischen Ausmessungen der «Begleitworte» nach der Angabe auf pg. 77 «eine sichere Grundlage für eine etwaige weitere Verwertung des Materials» geben sollen, so sind sie hier im allgemeinen so benutzt worden, wie sie sich dort finden. Stationen, für welche die Momente  $V_1$  und  $V_2$  ganz oder teilweise fehlen, weil sie sich nicht sicher ermitteln liessen, sind daher von der Rechnung ausgeschlossen worden, da sie ja keine Distanz liefern. Dasselbe gilt von denjenigen Stationen, bei denen diese Angaben durch Einklammerung als unzutreffend bezeichnet sind.

Für andere Stationen sind die Werte  $V_1$  oder  $V_2$  nur bis auf ganze Minuten sicher, während die übrigen bis auf 0<sup>m</sup>.1 oder gar bis auf 1<sup>s</sup> abgelesen sind. Mit den letzteren können die ersteren ihrer 10 bis 60-fach grösseren Ungenauigkeit wegen nicht konkurrieren und sie sind daher gleichfalls fortgelassen worden. Es sind also nur diejenigen Stationen und Seismographen benutzt worden, welche beide Grössen  $V_1$  und  $V_2$  wenigstens bis auf Bruchteile der Minute genau angeben.

Bildet man nun für diese Stationen die Differenzen  $V_2 - V_1$ , verwandelt diese Werte mit Hilfe der eingangs gegebenen Tabelle in Distanzen (in Kilometern) und vergleicht diese mit den in den «Begleitworten» für das zu Grunde gelegte Epizentrum *berechneten* Distanzen, so zeigt es sich, dass die Abweichungen  $d\Delta$  im allgemeinen zwischen 0 und 1000 Km. schwanken und im Durchschnitt einige Hundert Kilometer betragen. Abweichungen, die diese Grössenordnung bedeutend übersteigen, sind daher offenbar durch irgend ein Missverständniss oder Versehen zu erklären. Für solche Stationen hielt ich eine Revision der seismometrischen Messungen für nicht überflüssig und habe dieselbe unter Benutzung des in meinen Händen befindlichen Exemplars des «Albums» vorgenommen. Es ergab sich folgendes

**Baltimore.** Die Zeiten  $V_1 = 0^h 24^m 48^s$  (im Seismogramm mit *a* bezeichnet) und  $V_2 = 0^h 30^m 39^s$  (auf dem Seismogramm *b*) sind in den «Begleitworten» nach den Originalangaben aufgenommen worden und ergeben die offenbar zu kurze Distanz 4150 Km. statt 7600 Km. Meiner Ansicht nach ist der erste Anfang der Bewegung nicht beim Punkte *a* sondern früher zu suchen und zwar um 3<sup>m</sup> 10<sup>s</sup> nach der auf dem Seismogramm markierten Zeitteilung. Da nach der Angabe von Reid (pg. 36 der «Begleitworte») einem Zeitintervall des Seismogramms 64<sup>s</sup> mittlerer Zeit entsprechen, so wäre also  $V_1$  um  $- 3^m 23^s$  zu korrigieren, worauf dann  $V_1 - V_2 = 9^m 14^s = 9^m 23^s$  und die Distanz 7980 Km. folgt. Dieser Wert ist der Rechnung zu Grunde gelegt worden.

**Florenz (Ximeniano).** Die seismometrischen Messungen der «Begleitworte» liefern für  $d\Delta$  Werte von ungefähr + 2000 Km. Ein Versuch, diesen Wert zu verbessern, scheiterte, da das Seismogramm offenbar bei der Übersendung stark gelitten hat und

wenigstens auf dem in meinen Händen befindlichen Exemplar der Kopie nichts sicheres zu ermitteln ist. Die Station ist daher ausgeschlossen worden.

**Honolulu.** Auch hier ergibt die Messung der «Begleitworte» einen unwahrscheinlich grossen Fehler, nämlich  $\Delta = 1840$  Km.,  $d\Delta = -1790$  Km. Die Revision des Seismogramms ergibt, dass  $V_1$  beim ersten sichtbaren kleinen Knötchen angenommen worden ist. Da dieses aber eine Interferenzerscheinung ist, so muss der Anfang schon früher liegen, meiner Ansicht nach  $1^a$  früher, bei der ersten kleinen Zählung.  $V_2$  der «Begleitworte» fällt auf keinen ausgezeichneten Punkt des Seismogramms. Meiner Ansicht nach muss es bei der plötzlich grösser werdenden Amplitude  $5^{m.2}$  später als  $V_1$  angenommen werden. Es wäre also  $V_1 = 0^h 17^{m.7}$ ,  $V_2 = 0^h 22^{m.9}$  und jedenfalls  $V_2 - V_1 = 5^{m.2}$  anzusetzen. Dann wird  $d\Delta = -230$  Km. Diesen Wert habe ich für die Rechnung benutzt.

**Kapstadt.** Da für die sehr grosse Epizentralentfernung dieser Station (17740 km.) keine sichere Laufzeit bekannt ist, konnte diese Station für die Rechnung nicht benutzt werden.

**Lemberg.** Bei der kleinen Zeitskala ( $1^h = 40$  mm.) und den grossen Amplituden schon in  $V_1$ , scheint  $V_2$  so unsicher erkennbar, dass die Auswahl des richtigen Punktes zweifelhaft bleibt. Diese Station ist daher fortgelassen worden.

**Ogyalla.** Für diese Station findet sich die Angabe, dass der Apparat zur Zeit des Bebens nicht in gehöriger Weise funktioniert hat; sie ist daher ausgeschlossen worden.

**Potsdam.** Die EW—Komponente des Hecker'schen Pendels giebt  $V_1$  um etwa  $1^m$  später als die übrigen Komponenten. Man bemerkt in der Tat, dass der erste Vorläufer auf dieser Komponente sehr undeutlich und namentlich anfangs kaum sichtbar aufgezeichnet worden ist. Der hiernach bestimmte Wert von  $V_1$  ist daher im Vergleich mit den übrigen Angaben der Station so unsicher, dass er auszuschliessen ist.

**Taschkent.** Hier handelt es sich offenbar um einen Druckfehler. Die Klammern bei dem ersten und letzten der für  $V_2$  angeführten Momente sind fortzulassen, da nach den eingangs angeführten Laufzeiten der richtige Wert für Taschkent in der Tat ungefähr  $0^h 31^m$  beträgt. Dagegen beruht die nicht eingeklammerte Zahl  $0^h 36^{m.3}$  für H. Z. R. Komponente N—S wohl auf einem Druckfehler. Verwandelt man nämlich die in das Seismogramm eingeschriebene Originalzahl  $5^h 8^{m.6}$  mit der Längendifferenz in Greenwich-Zeit so ergibt sich  $0^h 31^{m.4}$ . Diese Zahl ist in die Rechnung eingeführt worden.

**Toronto.** Auch hier sind die in den «Begleitworten» gegebenen Ausmessungen, ähnlich wie für Honolulu, offenbar unzutreffend.  $V_1$  muss meiner Ansicht nach am Ende der in meinem Exemplar sichtbaren hellen Lücke liegen, wo die Verdickung der Kurve anfängt;  $V_2$  ist bei der ersten plötzlich grösser werdenden Amplitude zu suchen, so dass sich  $V_1 = 0^h 21^{m.9}$  und  $V_2 = 0^h 30^{m.4}$  ergibt; also  $V_2 - V_1 = 8^{m.5}$ ,  $\Delta = 7100$ ,  $d\Delta = -50$  Km.

**Zagreb.** Für diese Station findet sich die Angabe, dass der Apparat zur Zeit des Bebens nur mangelhaft funktioniert hat. Daher ist diese Station nicht benutzt worden.

Nach diesen Zurechtstellungen kann zur endgültigen Aufstellung der Gleichungen geschritten werden. Es verbleiben nach den gemachten Bemerkungen hierfür 38 Stationen mit 82 Seismographen respective Komponenten der Bodenbewegung. Für jede Komponente wurde die Differenz  $V_2 - V_1$  in Minuten und Bruchteilen derselben gebildet, wobei die Sekunden bis auf  $0^m 01$  in Teile von Minuten verwandelt wurden, um die Genauigkeit der Zehntel bei der weiteren längeren Rechnung zu sichern. Zu diesen Zeitdifferenzen wurden dann die entsprechenden Distanzen nach der oben gegebenen Tabelle durch lineare Interpolation ermittelt und diese auf 10 Km. abgerundet, wie es das oben für Baltimore mitgeteilte Beispiel zeigt. Eine so weit getriebene Genauigkeit ist ja, wie die Resultate zeigen werden,

überflüssig; sie wurde diesmal beibehalten, um die Unsicherheit des Beobachtungsmaterials ungetrübt durch Anhäufung von Abrundungsfehlern in den letzten Stellen in das richtige Licht zu stellen. Die Differenzen  $d\Delta$  wurden mit Hilfe der in den «Begleitworten» mitgeteilten berechneten Distanzen gebildet.

---

§ 4.

**Die Normalgleichungen.**

Bevor zur Bildung der Normalgleichungen geschritten wird, muss die Verteilung der Gewichte klar gestellt werden. Die geometrische und physikalisch-seismologische Seite der Frage ist oben bereits erledigt worden. Es handelt sich jetzt noch um eine Kritik der Apparate, also um eine technische Frage.

Bis jetzt liegen über den relativen Wert der einzelnen, so ganz verschiedenen Typen von Seismographen noch gar keine systematisch-vergleichenden Untersuchungen vor. Man weiss, dass im allgemeinen die leichten Pendel empfindlicher sind, als die schweren, doch kann die dadurch erzielbare Genauigkeit durch zu kleine Registriergeschwindigkeit leicht wieder verloren werden. Auch äussere Umstände (Staub, Rost u. s. w.) beeinflussen die leichten Pendel vielleicht mehr als die schweren. Den grössten Einfluss haben aber jedenfalls eine sorgfältige Aufstellung und eine sachkundige Behandlung der Apparate. Diese ist bei den in den «Begleitworten» bis auf 0<sup>m</sup>1 und genauer ausgemessenen Registrationen wohl vorauszusetzen.

Da nun ein allgemein anerkanntes Urteil über die relative Leistungsfähigkeit der verschiedenen Seismographen leider bis jetzt nicht erzielt ist, so bleibt zunächst nichts anderes übrig, als allen vorhandenen Komponenten gleiches Gewicht zu erteilen. Dabei ist zu beachten, dass auf den grösseren seismischen Stationen, bei denen sicher viel Sorgfalt und Sachkenntnis auf die Behandlung der Instrumente verwandt wird, gewöhnlich mehrere Komponenten vorhanden sind. Diese Stationen erhalten dadurch ein grösseres Gewicht, als die Stationen bei denen überhaupt nur eine Komponente in Tätigkeit ist oder zur Zeit des Bebens einwandfrei und deutlich lesbar registriert hatte.

Ich habe also sämtlichen 83 Gleichungen gleiches Gewicht erteilt. Es ist das gleichbedeutend mit einem Verfahren, nach welchem aus allen für eine Station vorhandenen Angaben das Mittel genommen und das Gewicht

proportional der Anzahl der Komponenten gesetzt wird. Ich führe die 82 Gleichungen nicht *in extenso* an, da sie sehr leicht zu bilden sind. Es möge nur noch erwähnt werden, dass das System dieser Gleichungen sehr leicht «homogen» gemacht werden kann. Die Koeffizienten  $\sin a$  und  $\cos a$  sind es bereits, da der grösste Wert, den sie annehmen können und der auch tatsächlich nahezu erreicht wird, die Einheit ist. Man verwandelt  $d\Delta$  am bequemsten durch Division mit 1111.8 [3.0460] in Zehner von Bogen-graden. Dann wird der grösste vorkommende Wert auch nahezu = 1 und  $d\varphi_0$  und  $d\lambda_0$  werden natürlich in denselben Einheiten erhalten. Ich habe die Rechnung mit 4 Stellen geführt und nach der Summierung die letzte Stelle gekürzt. Es ergaben sich folgende Normalgleichungen.

$$\begin{array}{r} 66.862x - 8.861y = 1.868 \\ - 8.861x + 15.132y = -0.396 \end{array} \quad [nn] = 16.006 \quad (I)$$

Hieraus folgt:

$$x = +0.026, \quad y = -0.011;$$

Nach der Ausgleichung sinkt  $[nn]$  auf 15.952.

Es ergibt sich also das folgende Resultat

$$d\varphi_0 = +0.26 \pm 0.57; \quad d\lambda_0 = -0.17 \pm 1.85 \quad (\varphi_0 = 50.0, \lambda_0 = 180.0 E)$$

Der mittlere Fehler *einer* Gleichung ergibt sich zu  $\pm 494$  Km.

Dieses Resultat ist sehr merkwürdig. Die Korrekturen der zu Grunde gelegten abgerundeten Koordinaten des Ortes des Epizentrums sind, wie man sieht, bedeutend kleiner, als ihre mittleren Fehler, so dass sich also die Abweichungen der einzelnen seismometrischen Messungen von den angenommenen Distanzen ganz wie zufällige Fehler verhalten. Diese Fehler sind dabei recht bedeutend, nämlich im Mittel etwa 500 Km., während die Genauigkeit der Ablesung bis auf 0<sup>m</sup>1 eigentlich  $\pm 100$  Km. ergeben sollte und die Ablesung bis auf 1<sup>s</sup> sogar noch 6 mal weniger. Die zu Grunde gelegten Laufzeiten können ja, wie wir zu Anfang sahen, gleichfalls bis auf 0<sup>m</sup>1 als sicher betrachtet werden.

Infolgedessen ist auch trotz der grossen Zahl der benutzten Stationen und Gleichungen der mittlere Fehler des Schlussresultats noch recht gross und der endgültige Ort des Epizentrums bleibt also bis auf 1°—2° im grössten Kreise oder bis auf  $\pm 150$  Km. unsicher. Das Resultat hätte also durchaus nicht gelitten, wenn man die Zeiten  $V_2 - V_1$  nur bis auf 0<sup>m</sup>5 genau gebildet,  $d\Delta$  auf ganze Hundert Kilometer abgerundet und die Rechnung

mit nur 2 Dezimalstellen geführt hätte. Man kommt zu dem Schlusse, dass rohe graphische Konstruktionen dasselbe Resultat ergeben hätten wie die strenge Rechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate.

Es fragt sich aber, ob es nicht gelingt, durch passende Sichtung des Beobachtungsmaterials das Resultat zu verbessern. Da einige Stationen nur mit einem einzigen Seismographen ausgerüstet sind, so dass eine direkte Kontrolle dafür fehlt, ob der Apparat tadellos funktioniert hat, so könnte man diese fortlassen, und bei den übrigen Stationen unter allen vorliegenden Angaben eine passende Auswahl treffen. Als Richtschnur für diese Auswahl bietet sich das schon oft benutzte Prinzip dar, von allen für eine bestimmte Phase vorhandenen Momenten immer den frühesten zu benutzen. Die Pendel werden eben infolge der Reibung wohl meist etwas zu spät ansprechen und daher sind die frühesten Momente vermutlich die besten.

Nach diesem Prinzip habe ich die Rechnung gleichfalls durchgeführt, also unter Fortlassung aller Stationen, an denen nur eine einzige Komponente beide Momente  $V_1$  und  $V_2$  geliefert hatte. Es verbleiben dann 24 Stationen, nämlich:

Apia, Bogenhausen, Carloforte, Cheltenham, Göttingen, Granada, Hamburg, Heidelberg, Ischia (Porto), Jena, Jurjew, Laibach, Manila, Padua, Potsdam, Rocca di Papa, Strassburg, Tacubaya, Tiflis, Tortosa, Triest, Uccle, Upsala, Wien.

Für diese wurden die frühesten Momente ausgewählt, also für Apia  $V_1=0^h 21^m 43^s$  und  $V_2=0^h 30^m 3$ ; Bogenhausen  $V_1=0^h 22^m 59^s$ ,  $V_2=0^h 33^m 53^s$  u. s. w. Mit diesen Daten wurde dann ebenso wie früher verfahren. Es ergaben sich dann die Normalgleichungen.

$$\begin{aligned} 20.720 x - 2.220 y &= 1.244 \\ - 2.220 x + 3.279 y &= - 0.076 \end{aligned} \quad [nn] = 4.053. \quad (\text{II})$$

Hieraus folgt

$$d\varphi_0 = + 0.62 \pm 0.97, \quad d\lambda_0 = + 0.29 \pm 3.79.$$

Der mittlere Fehler einer Gleichung wird  $\varepsilon = \pm 473$  Km. und  $[nn]$  sinkt nach der Ausgleichung auf 3.977.

Das Resultat ist also durchaus nicht besser geworden. Die Korrekturen des angenommenen Ortes sind von derselben Grössenordnung wie früher. Der mittlere Fehler einer Gleichung ist allerdings ein wenig kleiner, als bei der ersten Ausgleichung, aber die mittleren Fehler der Koordinaten

sind nahezu verdoppelt. Dies ist um so auffallender, als jede dieser Gleichungen durchschnittlich mit Benutzung der Angaben von 3 Komponenten gebildet ist und mithin gegenüber den früheren ein dreifaches Gewicht hat. Die mittleren Fehler dieses Resultats müssten also wenigstens  $\sqrt{3}$  mal kleiner sein.

Ein ganz ähnliches Resultat würde man erhalten, wenn man statt der frühesten Momente einfach das Mittel aus den Angaben aller vorhandenen Komponenten genommen hätte, oder, was nur eine etwas andere Gewichtsverteilung bedeutet, wenn man aus dem System (I) diejenigen Stationen, welche nur eine Komponente liefern, fortgelassen hätte. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man die Werte von  $V_2 - V_1$ , die sich aus den frühesten Momenten ergeben, mit denen vergleicht, die aus dem Mittel aller Komponenten folgen. Man findet beispielsweise:

Station.	Mittel.	Früheste Momente.
Apia . . . . .	8.65	8.60
Bogenhausen .	10.90	10.90
Carloforte. . .	11.1	11.1
Cheltenham . .	8.5	8.6

u. s. w.

Die Zahlen werden also nur ganz unbedeutend verändert und ich gehe daher auf diese Rechnung nicht weiter ein, da sie kein neues Resultat liefert. Es muss also behauptet werden, dass das System (I) die besten überhaupt erreichbaren Werte für die Koordinaten des Epizentrums des nordpazifischen Bebens vom 17. August 1906 liefert.

§ 5.

**Einfluss der Ausrüstung und geographischen Lage der Stationen.**

Man könnte versuchen, die Rechnung getrennt für die gebräuchlichsten Konstruktionstypen der Seismographen durchzuführen und auf diesem Wege zu ermitteln, welcher Typus die beste innere Übereinstimmung liefert.

Diesem Unternehmen stellt sich aber die ungleiche geographische Verteilung der gleichartigen Instrumente hindernd in den Weg, so dass man ein paradoxes Resultat erhalten kann. Dies möge an einigen Beispielen gezeigt werden.

In den «Begleitworten» ist als erstes Instrument des Verzeichnisses das astatische Pendelseismometer von Wiechert angeführt (A. P. W.), das auf folgenden Stationen in Tätigkeit war:

Apia, Bogenhausen, Göttingen, Hamburg, Jena, Leipzig, Potsdam, Strassburg, Upsala, Wien.

Die Angaben dieser Stationen sollen unter sich ausgeglichen werden. In den Fällen, wo beide Komponenten gut lesbar registriert haben, wurde das Mittel aus beiden genommen und so 10 Gleichungen gebildet, welche folgendes Resultat ergeben.

$$\begin{aligned} 9.808 x - 1.343 y &= 1.242 \\ -1.343 x + 0.192 y &= -0.199 \end{aligned} \quad [mn] = 2.430. \quad (\text{III})$$

Es ergibt sich hieraus:

$$d\varphi_0 = -4^{\circ}38 \pm 5^{\circ}90; \quad d\lambda_0 = -64^{\circ}16 \pm 65^{\circ}56$$

$[mn]$  sinkt auf 1.137 und es wird  $\varepsilon = \pm 419$  Km.

Dieses Resultat ist durchaus unbefriedigend. Der kolossale Wert von  $d\lambda_0$  ist natürlich nur dadurch möglich geworden, dass sämtliche benutzten Stationen nahezu im Meridian des Epizentrums liegen und daher eigentlich gar keine Längenbestimmung erlauben. Der Wert von  $\varepsilon$  ist daher auch unzuverlässig und richtiger wäre es, ihn aus den unausgeglichenen Werten zu bilden. Es würde sich dann  $\pm 547$  km. ergeben. Dieser grosse Wert wird hauptsächlich durch die grossen entgegengesetzten Abweichungen von Bogenhausen ( $d\Delta = +1120$  km.) und Wien ( $d\Delta = -1050$  km.) bedingt, aber auch sonst finden sich neben ganz kleinen auch beträchtlichere Werte für  $d\Delta$ . Man sieht also, dass durch ausschliessliche Benutzung des Wiechert'schen Seismometers keine Verbesserung erzielt wird. Ein Urteil über dieses Instrument als solches ist damit natürlich nicht ausgesprochen.

Mit Vorstehendem erledigt sich auch die Frage nach dem Einfluss der Dämpfung. Man wird nämlich vielfach geneigt sein anzunehmen, dass die schon oben bei der Ausgleichung (I) gekennzeichnete Unsicherheit hauptsächlich darauf beruht, dass die meisten Pendel ungedämpft sind und daher durch ihre störenden Eigenschwingungen die richtigen Eintrittszeiten  $V_2$  verdeckt haben. Ohne die Stichhaltigkeit dieses Einwurfes von der Hand zu

weisen, muss jedoch betont werden, dass im vorliegenden Falle durch alleinige Benutzung gedämpfter Pendel keine Verbesserung zu erzielen ist. Die soeben behandelten Wiechert'schen Pendel waren nämlich zur Zeit des Bebens fast die einzigen mit Dämpfung versehenen Seismometer. Ausser den schon benutzten mit Wiechert'schen Pendeln ausgestatteten Stationen, hatten noch folgende Stationen gedämpfte Instrumente: *Heidelberg, Padua Triest*, (eine Komponente). Diese Stationen liegen aber in der nächsten Nähe der soeben betrachteten und ergeben ziemlich verschiedene Werte von  $d\Delta$ . In *Batavia* dagegen ist die Dämpfung so schwach, dass diese Station mit den oben genannten nicht wohl verglichen werden kann.

Wir sehen also, dass die geographische Verteilung der gedämpften Pendel zur Zeit nicht derartig ist, dass man auf sie allein eine besonders sichere Epizentralbestimmung gründen kann. Ausserdem ist die Übereinstimmung der Werte  $d\Delta$  für naheliegende Stationen keineswegs hervorragend gut.

Das zweite in der erwähnten Liste genannte, weit verbreitete Instrument ist das Horizontalpendel von Bosch (H. B.). Trifft man unter allen vorhandenen Stationen eine Auswahl nach den bis jetzt immer benutzten Prinzipien, so verbleiben für die Rechnung folgende 8 Stationen:

Baltimore, Borshom, Cheltenham, Strassburg, Tacubaya, Tifis, Uccle, Vieques.

Nimmt man wieder aus beiden Komponenten (wenn vorhanden) das Mittel, so ergeben sich die Normalgleichungen:

$$\begin{aligned} 4.376 x + 0.452 y &= 1.230 \\ 0.452 x + 3.623 y &= -0.842 \end{aligned} \quad [nn] = 1.399. \quad (\text{IV})$$

Hieraus folgt:

$$d\varphi_0 = + 3.08 \pm 1.75; \quad d\lambda_0 = - 4.20 \pm 2.99; \quad \epsilon = \pm 404 \text{ Km.}$$

$[nn]$  sinkt auf 0.792.

Dieses Resultat muss als recht befriedigend bezeichnet werden. Der mittlere Fehler einer Gleichung ist sogar kleiner als bei der Ausgleichung (I) und die mittleren Fehler der Koordinaten des Epizentrums sind in Anbetracht der geringen Zahl von Gleichungen nicht gross. Die Werte von  $d\varphi_0$  und  $d\lambda_0$  selbst sind zwar von den früheren etwas verschieden, stimmen aber innerhalb der möglichen Fehler mit den Ausgleichungen (I) und (II) überein.

Die hier benutzten Pendel sind alle ungedämpft; die Eintrittszeiten von  $V_2$  sind also jedenfalls durch Eigenschwingungen mehr oder weniger

gefälscht. Wenn das Resultat also trotzdem befriedigend ist, so ist offenbar die günstige geographische Verteilung der Stationen von nicht zu unterschätzender Bedeutung gewesen.

Die angeführten Beispiele mögen genügen. Man ersieht aus allem zur Genüge, dass die den Angaben der Seismographen entnommenen Phasenzeiten bedeutend unsicherer sind, als man es nach Konstruktion und Behandlung der Instrumente erwarten sollte. Es müssen also wohl auch äussere, geophysikalische Gründe mit im Spiel sein.

Erstens ist natürlich nicht zu vergessen, dass das Epizentrum ja kein geometrischer Punkt ist und dass es sich meist wohl nicht um einen einzigen momentanen Stoss handelt. Diese Unregelmässigkeiten sind im Einzelfalle natürlich viel merklicher, als in den Laufzeiten, die zur Berechnung der Distanzen benutzt wurden. Diese sind ja Mittelwerte aus mehreren Beben, so dass sich bei ihnen diese Unregelmässigkeiten zum Teil fortheben.

Ein zweiter Umstand dürfte aber meiner Ansicht nach gleichfalls in's Gewicht fallen. Die Bodenschichten, auf denen unsere Instrumente aufgestellt sind, sowie auch die Pendelpfeiler besitzen sicher ganz bestimmte Eigenschwingungen. Beim Eintreffen von Erdbebenwellen werden sie in erzwungene Schwingungen versetzt. Die Angaben der Seismographen sind also sicher durch Eigenschwingungen von Bodenschichten, die nicht zum homogenen Erdinnern gehören, beeinflusst.

Durch diese Umstände könnten die gefundenen Abweichungen teilweise erklärt werden, ohne dass die Konstruktion und Behandlung der Seismographen verantwortlich gemacht zu werden braucht.

---

## § 6.

### Die russischen Beobachtungen.

Aus den angeführten Rechnungen folgt, dass es zur genauen Ermittlung eines Epizentrums aus mikroseismischen Beobachtungen vor allem wichtig ist, über geographisch recht weit verteilte Stationen zu verfügen. Russland ist in der glücklichen Lage, dank seiner bedeutenden territorialen Ausdehnung, ein solches Netz zu besitzen. Daher soll zum Vergleich das hier behandelte Epizentrum aus den russischen Beobachtungen allein berechnet werden. Ich gründe die Berechnung nur auf die Angaben der vier Hauptstationen, an denen mehrere Instrumente unmittelbar unter sachkundiger Leitung bedient werden. Es sind das Tifs, Jurjew, Taschkent, Irkutsk.

Die nötigen Daten entnehme ich dem Bulletin der Permanenten Seismischen Kommission<sup>1)</sup>. Dort sind die Werte von  $V_1$  und  $V_2$  unter  $T$  und  $C$  oder unter  $C$  und  $R$  angeführt. Man findet folgende Zeiten (im mitteleuropäischen Zeit).

Tiflis.

Komponente:	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$B_m$	$B_v$	$B_m$
$V_1$	1 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 57 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 57 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 58 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 59 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 1 <sup>s</sup>
$V_2$	33 2	33 2	33 2	32 56	33 2	33 2
$V_2 - V_1$	10 <sup>m</sup> 8 <sup>s</sup>	10 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup>	10 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup>	9 <sup>m</sup> 58 <sup>s</sup>	10 <sup>m</sup> 3 <sup>s</sup>	10 <sup>m</sup> 1 <sup>s</sup>

Im Mittel also  $V_2 - V_1 = 10^m 06$ .

Die Angaben für die Komponenten  $C$  lasse ich fort, weil bei diesen die Zeitbestimmung weniger sicher ist. In der Tat weichen diese Angaben von den angeführten nicht unerheblich ab. Bei den Komponenten  $M_3$  und  $Z_m$  fehlt  $V_1$ .

Jurjew.

Komponente:	$R_3$	$R_4$	$Z_v$
$V_1$	1 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup> 50 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup>	1 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup>
$V_2$	31 42	30 44	30 51
$V_2 - V_1$	9 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup>	8 <sup>m</sup> 39 <sup>s</sup>	9 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup>

Im Mittel ist  $V_2 - V_1 = 9^m 28$ .

Taschkent.

	$V_1$	$V_2$	$V_2 - V_1$
Komponente $R_2$	1 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> .7	1 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> .4	8 <sup>m</sup> .7

Bei der Komponente  $R_1$  fehlt  $V_2$ .

<sup>1)</sup> Bulletin de la Commission Centrale Seismique Permanente. 1906, juillet — septembre.

Irkutsk.

	$V_1$	$V_2$	$V_2 - V_1$
Komponente $B_6$	1 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> .7	1 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> .1	6 <sup>m</sup> .4
» $B_v$	1 18.9	1 25.7	6.8
Mittel	—	—	6 <sup>m</sup> .6

Bei der Komponente  $M_1$  ist  $V_1$  offenbar viel zu spät; bei der Komponente  $B_m$  ist  $V_2$  entweder viel zu spät oder fehlt.

Man hat also als Grundlage der Rechnung folgende Zahlenwerte:

Station.	$V_2 - V_1$	$\Delta$	$\Delta_0$	$d\Delta$
Tifis . . . . .	10.06 <sup>m</sup>	8980	8930	+ 50
Jurjew. . . . .	9.28	8040	7730	+ 310
Taschkent . . . . .	8.7	7340	7840	— 500
Irkutsk . . . . .	6.6	4960	5040	— 80

Hieraus ergeben sich die Normalgleichungen:

$$\begin{aligned} 2.401 x - 1.652 y &= 0.032 \\ -1.652 x + 1.600 y &= -0.301 \end{aligned} \quad [m] = 0.2873. \quad (V)$$

Aus diesen Gleichungen folgt:

$$d\varphi_0 = -4^\circ 0' \pm 2' 9; \quad d\lambda_0 = -9^\circ 4' \pm 5' 6; \quad \epsilon = \pm 270 \text{ Km.}$$

Dabei sinkt  $[m]$  auf 0.119.

Der mittlere Fehler einer Gleichung ist also recht klein. Die mittleren Fehler der Koordinaten sind etwa  $1\frac{1}{2}$  mal grösser als bei der Ausgleichung (IV), was aber bei der geringen Anzahl der Gleichungen zu erwarten stand. Die Korrekturen der Koordinaten sind aber merklich grösser als ihre mittleren Fehler, so dass das Resultat immerhin von der Ausgleichung (I) etwas abweicht.

Dieser Umstand ist hauptsächlich durch die Station Taschkent bedingt. Man muss zugeben, dass bei dem kleinen Zeitmassstab, mit dem die einzige zur Verfügung stehende Komponente registriert, wohl ein grösserer Fehler in der Differenz  $V_2 - V_1$  möglich ist. Wenn man für diese Station noch einige mit grösserer Papiergeschwindigkeit registrierende Schwerependel zur Verfügung hätte, so könnte die Sicherheit der Phasenzeiten wesentlich gewinnen. Bei Fortlassung von Taschkent würde sich das Resultat der Ausgleichung (I) mit viel grösserer Annäherung ergeben.

Man sieht jedenfalls, dass es möglich ist, mit den wenigen hier benutzten Stationen ein verhältnismässig gutes Resultat zu erlangen.

---

§ 7.

### Die Stereographische Projektion.

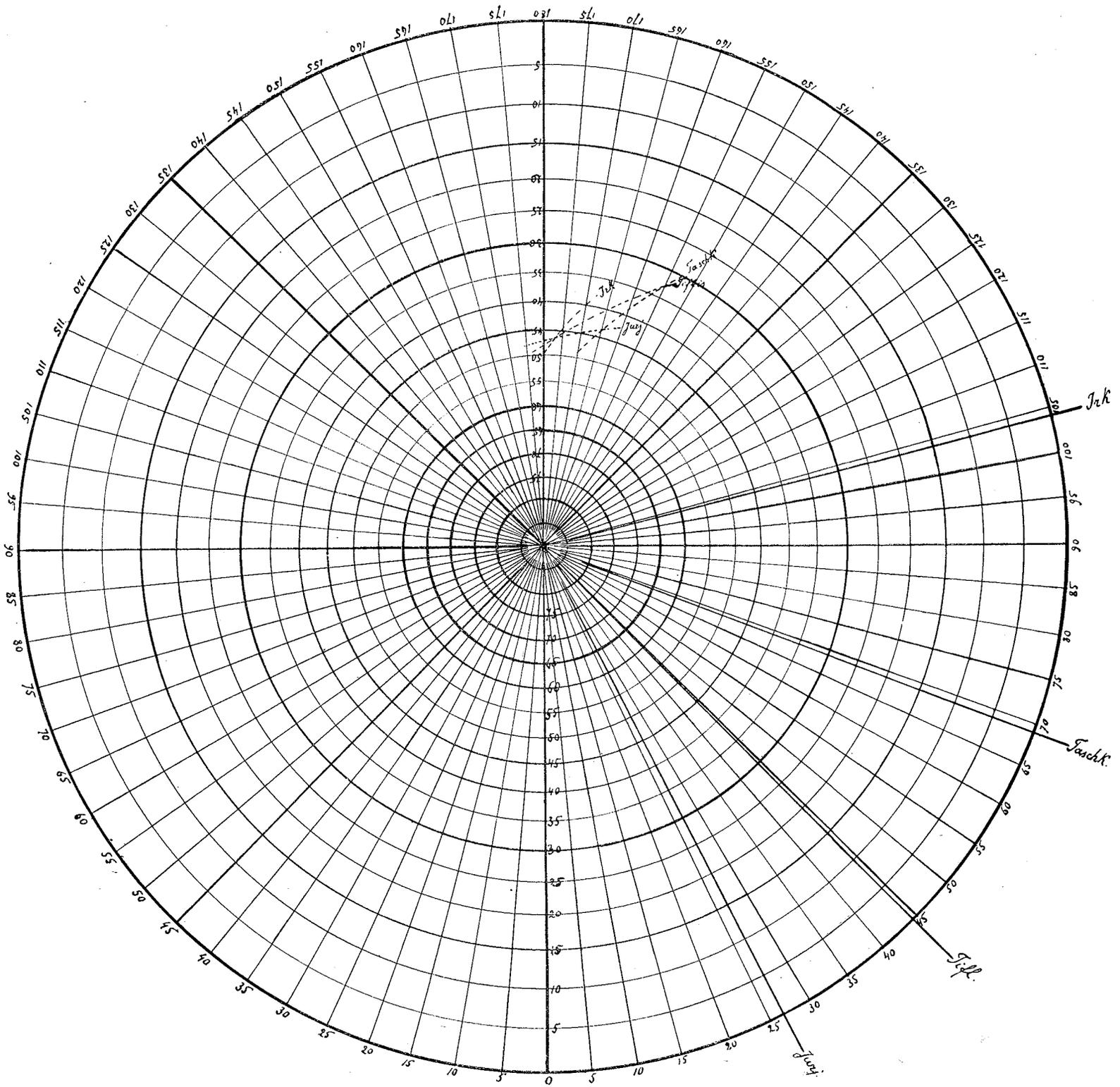
Die angeführten Resultate sind, wie mehrfach betont, nicht derartig, dass sie den grossen Aufwand von Zeit und Mühe rechtfertigen, den die strenge Rechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate mit sich bringt. Eine bequeme graphische Konstruktion kann jedenfalls dasselbe leisten, namentlich, wenn nur eine beschränkte Anzahl von Stationen zur Verfügung steht.

Zu diesem Zwecke möchte ich die *stereographische Polarprojektion* der Beachtung empfehlen. In dieser Projektion wird ja jeder Kreis auf der Erdkugel wieder als Kreis abgebildet und kann daher bequem mit dem Zirkel konstruiert werden. Man braucht also nur das Zentrum und den Radius des projizierten Kreises zu kennen. Diese Grössen berechnen sich in sehr einfacher Weise. Die geographische Länge des Zentrums wird durch die Projektion nicht geändert. Hat man also auf einer Karte in stereographischer Polarprojektion die Meridiane der zu benutzenden seismischen Stationen voll ausgezogen, so braucht man auf ihnen nur den Polarabstand  $d$  des zu ziehenden kleinen Kreises abzustecken und mit dem gleichfalls zu berechnenden Radius  $r$  einen Kreis zu schlagen.

Setzt man den Äquatorradius der Projektion = 1, so ist bekanntlich

$$d = \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi + \cos \Delta}; \quad r = \frac{\sin \Delta}{\sin \varphi + \cos \Delta}.$$

Es genügt, diese Grössen auf 3 Dezimalstellen zu berechnen, was mit Hilfe eines Rechenschiebers sehr einfach zu bewerkstelligen ist und durch





kleine Täfelchen noch erleichtert werden kann. Liegen Station und Epizentrum auf verschiedenen Halbkugeln, so muss man sich die andere Halbkugel auf die Rückseite des Blattes projiziert denken und den Kreis dementsprechend zeichnen.

Auf der beigegebenen Tafel ist das Gradnetz dieser Projektion von  $5^\circ$  zu  $5^\circ$  ausgezogen und die Meridiane der 4 russischen Hauptstationen sind durch besondere Linien kenntlich gemacht. Als Längeneinheit ist 1 dm. gewählt worden. Für das hier behandelte Beispiel hat man:

Station.	$d$	$r$
Juriew . . . .	0.452	0.821
Tiflis . . . . .	0.908	1.202
Taschkent. . .	0.706	0.859
Irkutsk . . . .	0.408	0.472

Die Bögen, die sich so ergeben, sind auf der Tafel gleichfalls angedeutet. Ein Blick auf diese Zeichnung genügt, um zu erkennen, dass die erreichbare Genauigkeit durchaus nicht kleiner ist, als eine längere strenge Rechnung zu geben vermag. Der Gebrauch von Globen ist viel umständlicher. Auf ihnen lassen sich Kreise nicht so bequem ziehen und sie werden bei häufigem Gebrauch schnell abnutzen. Kartenblätter, wie das beiliegende, lassen sich leicht vervielfältigen und sind demnach unvergleichlich wohlfeiler. Es ist auch garnicht schwer, sich ein derartiges Kartenblatt selbst herzustellen. Man braucht sich ja dazu nur die Radien der Breitenkreise  $\rho$  nach der Formel

$$\rho = \text{tang} \left( 45^\circ - \frac{1}{2} \varphi \right)$$

zu berechnen. Dann erfordert eine sorgfältige Auszeichnung des Gradnetzes nur 1 — 2 Stunden Arbeit.





## Къ вопросу объ изслѣдованіи колебаній зданій.

### Введеніе.

Въ настоящее время, какъ извѣстно, двигатели Дизеля получили на практикѣ весьма широкое распространеніе, обусловливаемое тѣмъ, что эти двигатели представляютъ въ техническомъ и экономическомъ отношеніяхъ весьма много неоспоримыхъ выгодъ и преимуществъ.

Но на ряду съ этимъ, обнаружилось одно весьма непріятное ихъ свойство, а именно эти двигатели, при достаточной ихъ мощности, вызываютъ иногда въ близъ-находящихся зданіяхъ довольно сильныя сотрясенія, благодаря которымъ условія жизни въ такихъ зданіяхъ становятся весьма тяжелыми: полы и стѣны непрерывно дрожатъ, легкіе предметы шевелятся, другіе все время звенятъ, что въ свою очередь неизбежно должно вредно отражаться на здоровьѣ людей, живущихъ въ такомъ домѣ.

Но независимо отъ этого, въ такихъ зданіяхъ, подъ вліяніемъ работы близъ-стоящаго мотора Дизеля, появляются иногда съ теченіемъ времени въ стѣнахъ трещины, которыя, увеличиваясь постепенно въ размѣрахъ, могутъ стать прямо опасными для прочности всего зданія, при чемъ дальнѣйшее пребываніе людей въ такомъ домѣ не можетъ уже быть допускаемо.

За примѣрами такого разрушительнаго дѣйствія моторовъ Дизеля на сосѣднія зданія далеко ходить не приходится.

Во дворѣ зданій Морского Корпуса въ Петербургѣ на электрической станціи Корпуса установленъ 200-сильный 4-хъ-цилиндровый двигатель Дизеля, дѣлающій отъ 247 до 260 оборотовъ въ минуту.

Дѣйствіе этого двигателя выразилось въ томъ, что въ близъ-стоящемъ (разстояніе, приблизительно, 15 метровъ) старомъ служительскомъ флигелѣ появились въ стѣнахъ весьма значительныя продольныя трещины, идущія сверху внизъ, не говоря уже о томъ, что условія жизни въ такомъ домѣ,

подверженномъ въ теченіе многихъ часовъ подрядъ непрерывнымъ и весьма быстрымъ сотрясеніямъ, представляются прямо невыносимыми.

Въ разстояніи, примѣрно, 30—40 метровъ отъ этого мотора Дизеля возвышается совершенно новое, недавно выстроенное пятиэтажное зданіе Николаевской Морской Академіи. И въ этомъ зданіи, несмотря на сравнительно большое разстояніе до мотора, иногда непосредственно ощущаются сотрясенія, не говоря уже о томъ, что и здѣсь въ нѣкоторыхъ стѣнахъ также появились зловѣщія трещины.

Въ Москвѣ въ казенномъ театрѣ, недалеко отъ котораго расположенъ моторъ Дизеля, также появились трещины, видимо очень озабочивающія Министерство Императорскаго Двора. На заводѣ Нобеля въ Петербургѣ сотрясенія отъ мотора Дизеля также даютъ себя чувствовать.

Сотрясенія въ вышеупомянутомъ служительскомъ флигелѣ Морского Корпуса оказались настолько значительными, что Директоръ Морского Корпуса кап. 1-го ранга, нынѣ контръ-адмиралъ А. И. Русинъ обратился ко мнѣ съ просьбой изслѣдовать всесторонне колебанія этого зданія и выяснитъ по возможности вопросъ, насколько эти колебанія представляются опасными для прочности самого зданія.

Я съ полной готовностью откликнулся на это предложеніе, такъ какъ этотъ вопросъ меня самого очень заинтересовалъ.

Для этой цѣли я попытался сначала примѣнить имѣющійся у меня обыкновенный горизонтальный маятникъ типа *Otagi—Bosch'a*, но изъ этой попытки ничего не вышло. Оказалось, что вертикальныя колебанія, которыя, какъ выяснилось впоследствии, имѣютъ вблизи мотора Дизеля преобладающее значеніе, страшно мѣшаютъ правильности записей, заставляя пишущее перо горизонтальнаго маятника постоянно дрожать и прыгать; къ тому же періодъ колебаній отъ мотора Дизеля оказался настолько короткимъ (около 0,12 секунды), что приборы типа горизонтальныхъ маятниковъ являются для данной цѣли мало пригодными, причемъ эти послѣдніе даютъ лишь горизонтальныя составляющія колебаній, на самомъ же дѣлѣ важнѣе всего изслѣдованіе вертикальныхъ сотрясеній.

Въ виду этого я задался мыслью сконструировать для означенной цѣли особый приборъ, который былъ бы по возможности простъ, очень несложенъ въ обращеніи, давалъ бы возможность изслѣдовать горизонтальныя и вертикальныя колебанія (до извѣстной степени универсальный приборъ) и вмѣстѣ съ тѣмъ обладалъ бы достаточной чувствительностью. Кроме того приборъ этотъ долженъ былъ служить не для какихъ-либо относительныхъ измѣреній, а давать возможность получить *абсолютную* величину горизонтальныхъ и вертикальныхъ смѣщеній пола въ томъ мѣстѣ, гдѣ приборъ установленъ.

Для означенной цѣли я воспользовался принципомъ пружиннаго сейсмографа съ плоской стальной пружиной и построилъ особый приборъ, который, какъ будетъ далѣе видно, вполне удовлетворилъ всѣмъ предъявленнымъ къ нему требованіямъ.

Съ этимъ приборомъ я произвелъ, при ближайшемъ участіи и содѣйствіи лаборанта при Физическомъ Кабинетѣ Академіи Наукъ И. И. Вилица, рядъ изслѣдованій надъ колебаніями, а именно около самого мотора Дизеля, въ служительскомъ флигелѣ въ верхнемъ этажѣ и внизу около уровня почвы, въ зданіи Николаевской Морской Академіи — въ помѣщеніи Физической лабораторіи (третій этажъ) и въ Компасной комнатѣ (пятый этажъ) и кромѣ того въ корбкѣ запасной лѣстницы въ пятомъ этажѣ (противъ Компасной комнаты) и въ самомъ низу на высотѣ 1,8 метр. надъ уровнемъ почвы.

Во всѣхъ этихъ точкахъ, за исключеніемъ нижняго этажа служительскаго флигеля<sup>1)</sup>, изслѣдовались какъ вертикальныя, такъ и горизонтальныя колебанія въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ азимутахъ, а именно параллельно и перпендикулярно главному фасаду зданія.

---

<sup>1)</sup> Въ этомъ мѣстѣ изслѣдовались только вертикальныя колебанія.

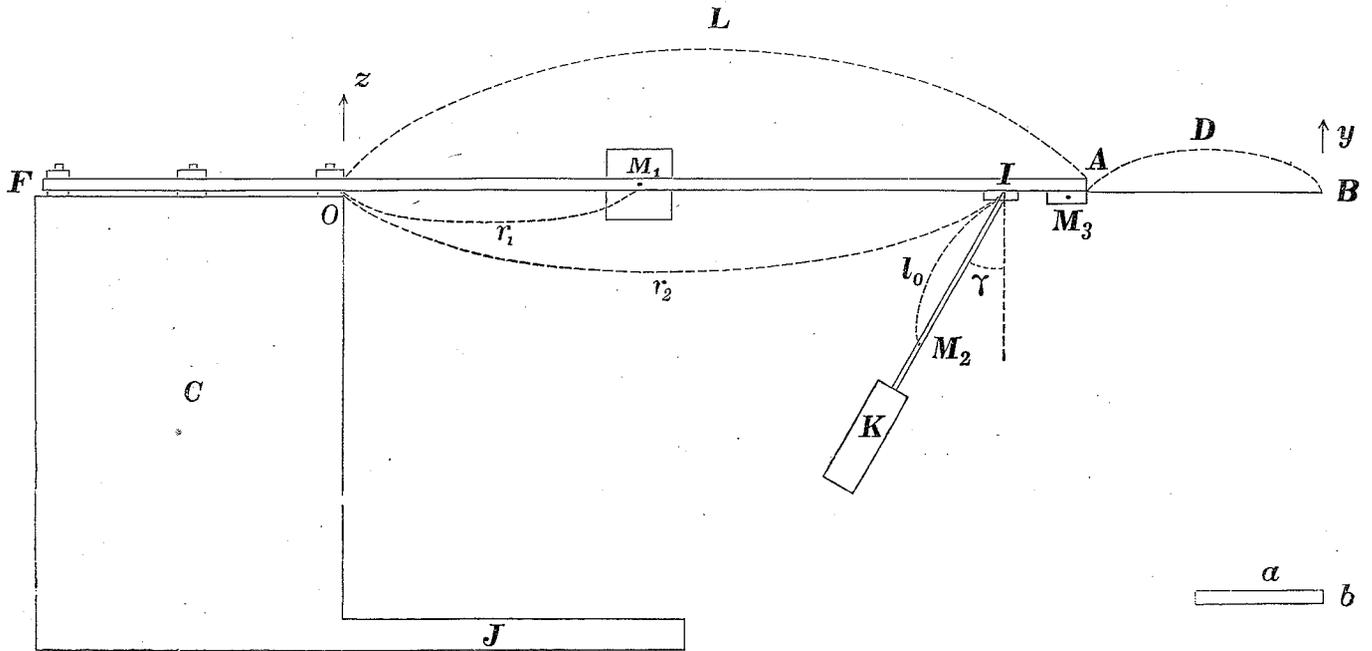
§ 1.

Описание и теория прибора.

Приборъ состоитъ изъ тяжелой чугунной тумбы  $C$  (см. черт. 1) въсомъ въ 82,4 килограммъ съ выступающей впередъ подставкой  $J$  для приданія всему прибору бѣльшей устойчивости. На этой тумбѣ прикрѣпляется сверху на винтахъ въ трехъ мѣстахъ между плоскими, хорошо выструганными стальными планками длинная, плоская, стальная пружина  $FA$ .

Длину выступающей части пружины  $OA$  обозначимъ черезъ  $L$ . При желаніи  $L$  можетъ быть уменьшено, вслѣдствіе чего укоротится собственный періодъ колебаній пружины. Въ моихъ опытахъ  $L$  было взято равнымъ 65,0 см.

Черт. 1.



Ширина стальной полосы  $a = 81,7 \text{ м/м}$ , а толщина  $b = 6,33 \text{ м/м}$  (въ среднемъ).

Вдоль этой пружины может перемѣщаться масса  $M_1$  въ 3265 гр. На верхней сторонѣ пружины нанесены дѣленія и массу  $M_1$  можно установить на любое дѣленіе и закрѣпить въ данномъ мѣстѣ особымъ зажимнымъ винтомъ, не показанномъ на чертежѣ. Передвижная масса служить для измѣненія собственнаго періода колебанія пружины, причемъ можно, при желаніи, установить періодъ пружины въ резонансъ съ періодомъ колебаній, вызываемыхъ работой мотора Дизеля. Какъ извѣстно, около резонанса размахи пружины будутъ наибольшими и при этомъ условіи приборъ обладаетъ наибольшей чувствительностью.

Къ концу пружины около  $A$  прикрѣпляется на винтахъ мѣдная планочка  $M_2$  съ пишущимъ перомъ  $AB$ . Длина пера  $AB = D$ . Конецъ  $B$  чертитъ на вращающемся съ достаточной скоростью барабанѣ, покрытомъ закопченной бумагой, кривую движенія пружины. Въ случаѣ, когда полъ, на которомъ покоится приборъ, неподвиженъ и пружина первоначально отогнута вверхъ или внизъ, получается запись собственнаго движенія пружины; когда же полъ, подъ вліяніемъ той или иной причины, совершаетъ рядъ вертикальныхъ періодическихъ колебаній, получается болѣе сложная запись, характеръ которой обуславливается вліяніемъ, какъ вертикальныхъ перемѣщеній пола, такъ и собственнаго движенія пружины. Для отмѣтки времени къ вращающемуся барабану прилегаютъ еще неподвижный штифтъ, который, при помощи контактныхъ секундныхъ часовъ и небольшого электромагнита, каждую секунду отодвигается немного въ сторону. Такъ какъ собственный періодъ такой толстой пружины очень малъ, слѣдуетъ для полученія отчетливой записи давать барабану достаточно большую скорость вращенія.

Собственное движеніе пружины обладаетъ очень слабымъ затуханіемъ, а потому, если отвести пружину въ сторону и предоставить ее затѣмъ самой себѣ, то на вращающемся барабанѣ получается очень длинная, слабо затухающая синусоида, изъ которой можно съ большою точностью получить, какъ логарифмическій декрементъ пружины  $\Lambda$ , такъ и собственный ея періодъ  $T$ , для каковой цѣли можно воспользоваться отрѣзкомъ кривой въ 100 и болѣе отдѣльныхъ полныхъ періодовъ. Обозначивъ начальныя двѣ амплитуды кривой, считая эти амплитуды отъ положенія покоя, черезъ  $y_1$  и  $y_2$  (независимо отъ знака), а послѣднія двѣ черезъ  $y_{i-1}$  и  $y_i$ , искомый логарифмическій декрементъ  $\Lambda$  опредѣлится по формулѣ<sup>1)</sup>

$$\Lambda = \frac{\text{Lg}_{10}(y_1 + y_2) - \text{Lg}_{10}(y_{i-1} + y_i)}{i - 2} \dots \dots \dots (1)$$

<sup>1)</sup> См. мою статью «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mittheilung». § 2. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III Livr. 2. № 1. (1909). St.-Petersbourg.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, когда розмахи пола достаточно велики, выгодно увеличить затуханіе прибора, для каковой цѣли къ стальной полосѣ снизу прикрѣплена латунная трубка, оканчивающаяся мѣдной пластинкой *K*. Эта пластинка ходитъ при колебаніяхъ пружины между полюсами особаго электромагнита, также не показаннаго на чертежѣ 1. Измѣняя силу тока въ обмоткахъ этого электромагнита, можно по желанію регулировать величину затуханія пружины.

Слѣдующій рисунокъ 2 представляетъ собою фотографическій снимокъ прибора въ собранномъ видѣ, установленнаго для изслѣдованія вертикальныхъ колебаній.

Основная задача заключается въ слѣдующемъ.

Пусть полъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ установленъ приборъ, совершаетъ ритмическія, гармоническія колебанія съ полнымъ періодомъ  $T_p$  и максимальной амплитудой, считаемой отъ положенія равновѣсія,  $z_m$ .

Тогда можно положить

$$z = z_m \sin \left( 2\pi \frac{t}{T_p} + \delta \right), \dots \dots \dots (2)$$

гдѣ  $z$  есть вертикальное смѣщеніе точки *O* (см. черт. 1) въ моментъ  $t$ .  $\delta$  есть начальная фаза движенія, зависящая отъ выбора начала счета времянь. Эта величина въ дальнѣйшемъ не играетъ никакой роли.

Подъ вліяніемъ этого ритмическаго движенія пола конецъ *B* пишущаго пера опишетъ на вращающемся барабанѣ кривую, причеиъ отклоненіе  $y$  пера отъ положенія равновѣсія есть нѣкоторая функція времени.

Мы можемъ слѣдовательно положить:

$$y = f(t) \dots \dots \dots (3)$$

Основная задача и заключается въ слѣдующемъ.

Имѣя запись прибора, выражаемую уравненіемъ (3) и, зная собственный періодъ колебаній пружины  $T$  и соотвѣтствующій логарифмическій декрементъ  $\Lambda$ , найти абсолютные элементы искомаго гармоническаго движенія, т. е.  $T_p$  и  $z_m$ .

Въ томъ видѣ, какъ приборъ только что былъ описанъ, онъ служитъ для изслѣдованія вертикальныхъ колебаній.

Но тотъ-же приборъ можетъ служить и для изслѣдованія горизонтальныхъ колебаній. Для этой цѣли стальная пружина прикрѣпляется между тѣми-же плоскими стальными планками сбоку тумбы, при этомъ ось регистрирнаго прибора ставится теперь горизонтально. Соотвѣтственно этому новому положенію пружины переставляется и электромагнитъ.

Рис. 2.

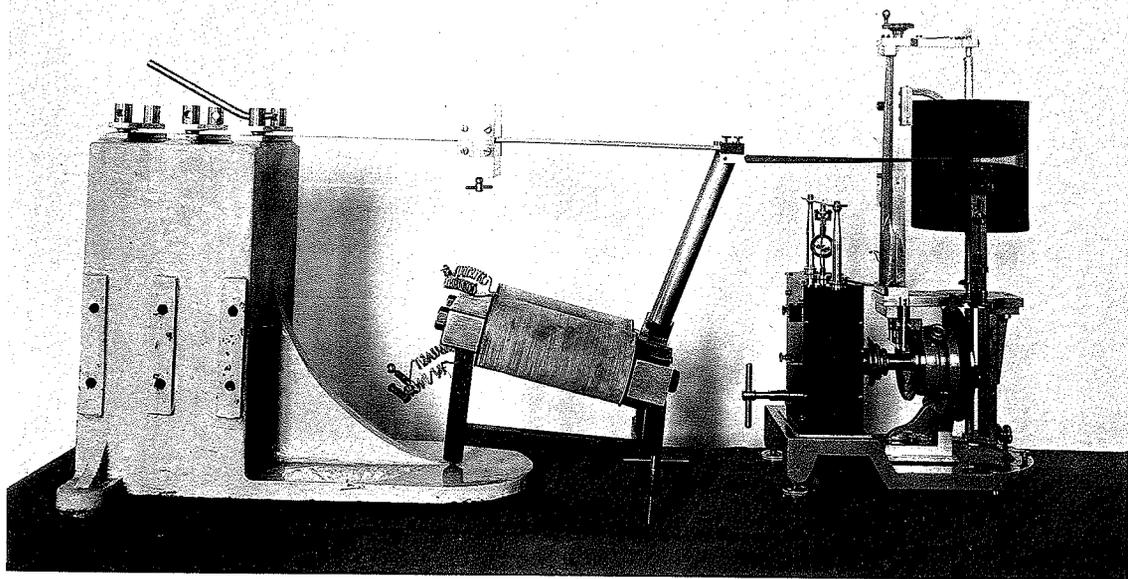


Рис. 3.

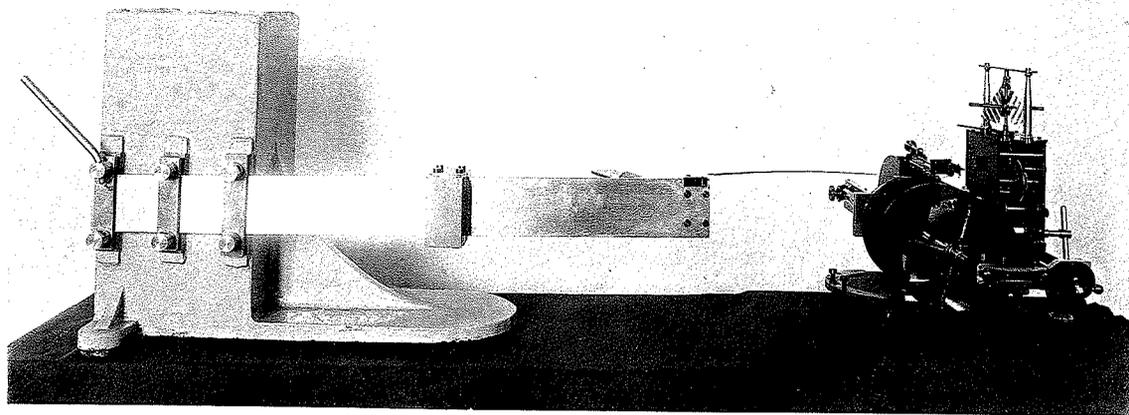


Рис. 2.

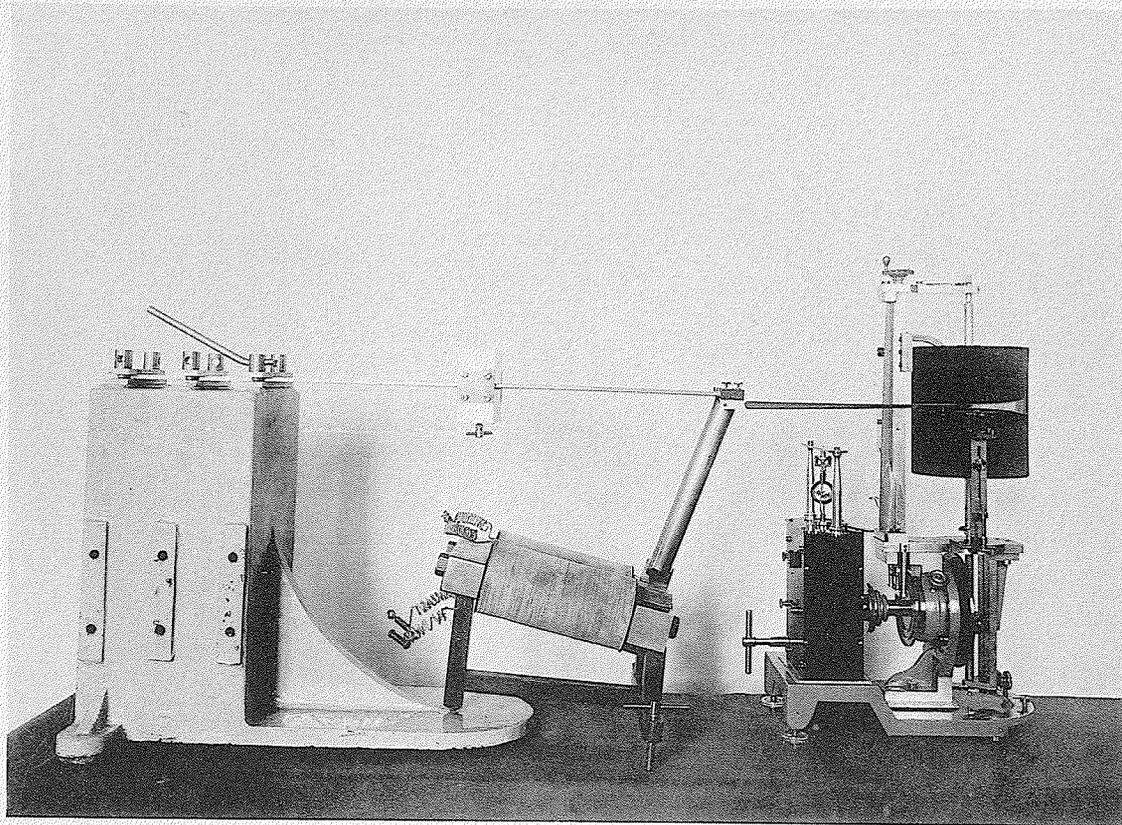
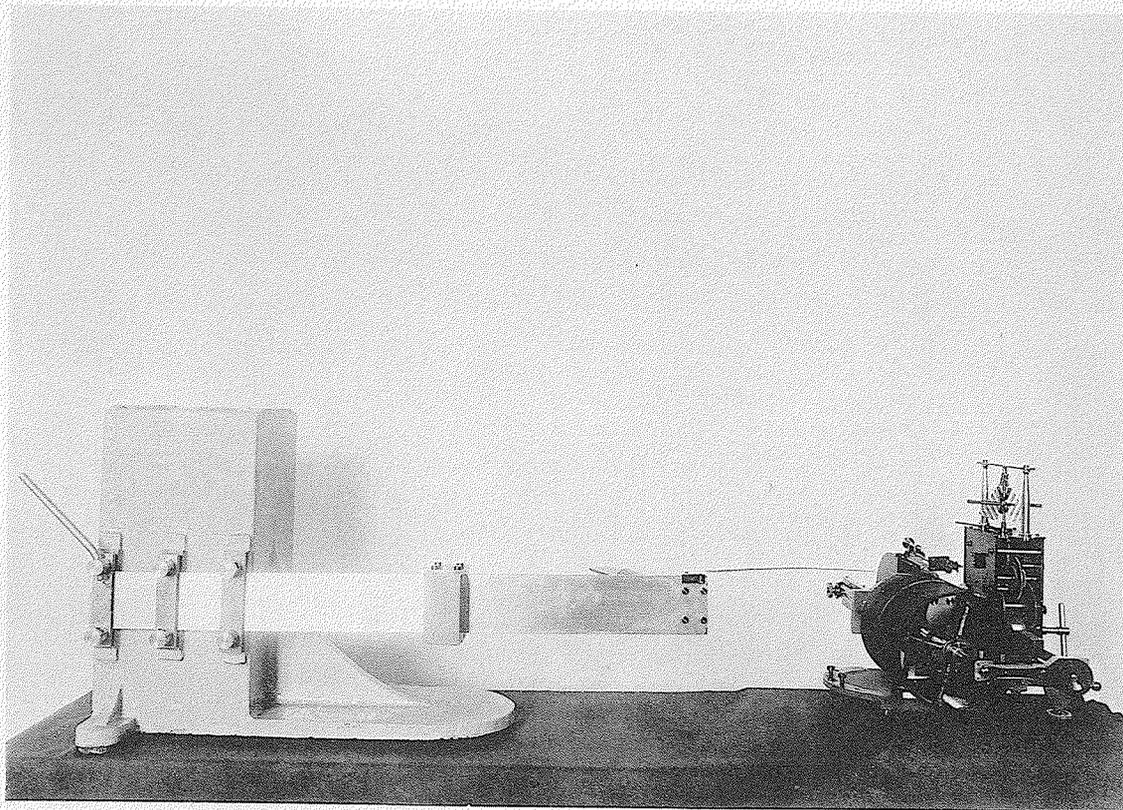


Рис. 3.



Теперь приборъ приспособленъ уже для изслѣдованія горизонтальныхъ колебаній, причемъ простымъ поварачиваніемъ всей системы на  $90^\circ$  можно изслѣдовать горизонтальныя колебанія въ двухъ взаимно-перпендикулярныхъ азимутахъ.

Такимъ образомъ описанный приборъ до извѣстной степени удовлетворяетъ условію универсальности, такъ какъ онъ даетъ возможность изучать абсолютныя линейныя смѣщенія пола по тремъ взаимно-перпендикулярнымъ направленіямъ.

Слѣдующій рисунокъ 3 представляетъ собою фотографическій снимокъ прибора, установленнаго для изслѣдованія горизонтальныхъ колебаній<sup>1)</sup>.

Обратимся теперь къ теоріи прибора.

Положимъ, что пружина установлена для изслѣдованія вертикальныхъ колебаній и что на ней нѣтъ ни добавочнаго груза, ни приспособленія для затуханія.

Если пружина имѣетъ достаточную толщину  $b$ , то можно принять, что она вначалѣ принимаетъ горизонтальное положеніе.

Положимъ теперь, что къ концу пружины въ точкѣ  $A$  (см. черт. 4) приложена нѣкоторая сила  $P$ .

Подъ вліяніемъ этой силы пружина изогнется и приметъ опредѣленное положеніе равновѣсія.

Условіе равновѣсія пружины легко можно вывести, примѣняя извѣстные приемы теоріи упругости для вывода элементарной формулы гнуптія упругихъ стержней. Для ясности дальнѣйшихъ соображеній цѣлесообразно привести этотъ выводъ и здѣсь.

Направимъ ось  $x$ -овъ вправо, а ось  $y$ -овъ пока внизъ.

Подъ вліяніемъ изгибающаго усилія  $P$  верхніе слои пружины удлинятся, а нижніе сократятся и существуетъ нѣкоторый промежуточный слой  $FA$ , который не испытываетъ ни растяженія, ни сжатія. Въ первомъ приближеніи можно принять, что слой  $FA$  совпадаетъ съ серединой пружины (по высотѣ). Упругія силы, вызываемыя частичнымъ растяженіемъ и сжатіемъ пружины, стремятся вернуть ее въ горизонтальное положеніе; этому препятствуетъ сила  $P$ .

Возьмемъ сѣченіе  $O_1 C$  (см. черт. 4 и 5) нормально къ длинѣ пружины въ разстояніи  $x$  отъ ея начала  $O$  и другое смежное сѣченіе  $O_2 G$  въ разстояніи  $x + dx$ .

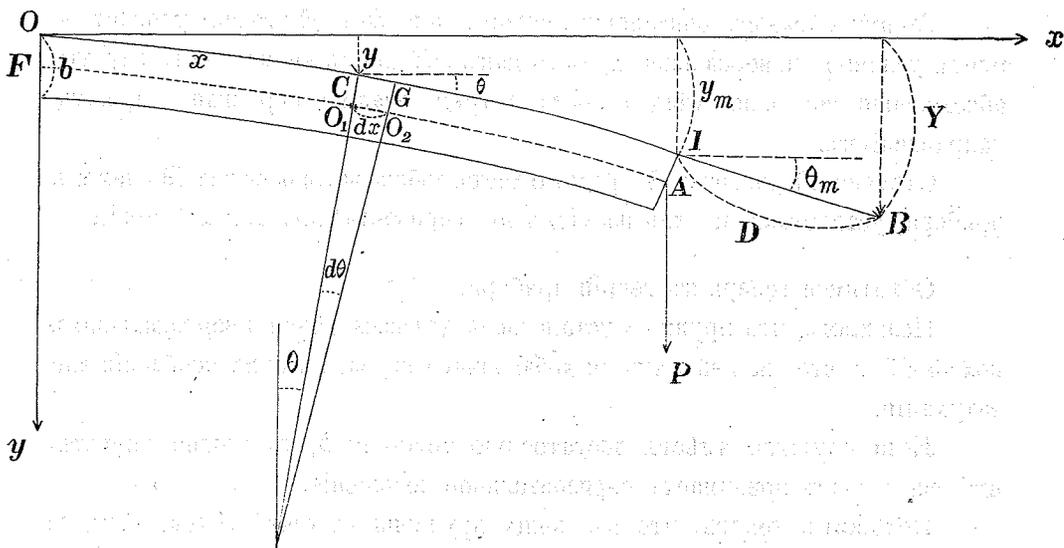
Уголь, составляемый  $O_1 C$  съ осью  $y$ -овъ обозначимъ черезъ  $\theta$ , а уголь между  $O_1 C$  и  $O_2 G$  черезъ  $d\theta$ .

---

<sup>1)</sup> На этомъ рисунокѣ электромагнитъ для затуханія снятъ.

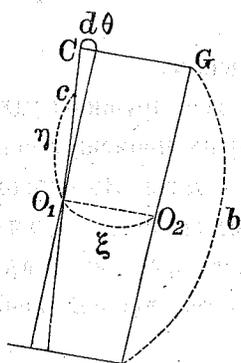
Обозначим  $O_1 O_2 = dx$  через  $\xi$  и возьмем точку  $c$  въ разстояніи  $\eta$  отъ  $O_1$  (см. черт. 5).

Черт. 4.



Въ разстояніи  $\eta$  отъ  $O_1$  абсолютное растяженіе слоя будетъ  $d\xi = \eta d\theta$ , а относительное  $\frac{d\xi}{\xi} = \eta \frac{d\theta}{dx}$ .

Черт. 5.



Обозначимъ модуль продольной упругости матеріала пружины черезъ  $E$ ; тогда растягивающее усиліе, приложенное къ элементарной площадкѣ съ сѣченіемъ  $a \cdot d\eta$ , гдѣ  $a$  ширина пружины, выразится такъ:

$$E \cdot \eta \frac{d\theta}{dx} \cdot a d\eta,$$

а моментъ этой силы относительно оси проходящей черезъ  $O_1$  нормально къ чертежу будетъ равенъ:

$$E \eta^2 \frac{d\theta}{dx} a d\eta.$$

Полный вращательный моментъ  $\mathcal{M}$  опредѣлится, какъ интегралъ предыдущаго выраженія между предѣлами  $-\frac{b}{2}$  и  $+\frac{b}{2}$ .

$$\mathcal{M} = a \cdot E \frac{d\theta}{dx} \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} \eta^2 d\eta = \frac{1}{12} a E b^3 \frac{d\theta}{dx} \dots \dots \dots (4)$$

Этотъ моментъ уравнивается моментомъ дѣйствующей силы  $P$ .

$$\mathfrak{M} = P(L - x), \dots \dots \dots (5)$$

гдѣ  $L$  обозначаетъ длину всей пружины.

Сравнивая выраженія (4) и (5), получимъ

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{12P}{ab^3E} \{L - x\} \dots \dots \dots (6)$$

Интегрируя предыдущее выраженіе въ предѣлахъ между 0 и  $x$  и, принимая во вниманіе, что при  $x = 0 \theta = 0$ , получимъ

$$\theta = \frac{12P}{ab^3E} \left[ Lx - \frac{x^2}{2} \right] \dots \dots \dots (7)$$

Обозначивъ координаты точки  $C$  черезъ  $x$  и  $y$ , легко видѣть изъ черт. 4, что

$$dy = \theta dx^1).$$

Подставляя сюда выраженіе  $\theta$  изъ формулы (7) и интегрируя въ предѣлахъ между 0 и  $x$ , принимая во вниманіе, что при  $x = 0 y = 0$ , получимъ

$$y = \frac{6P}{ab^3E} \left[ Lx^2 - \frac{x^3}{3} \right] \dots \dots \dots (8)$$

Для конца пружины (точка  $I$ )  $\theta$  и  $y$  примутъ максимальныя свои значенія  $\theta_m$  и  $y_m$ .

Формулы (7) и (8) даютъ

$$\theta_m = \frac{6P}{ab^3E} \cdot L^2 \dots \dots \dots (9)$$

и

$$y_m = \frac{4P}{ab^3E} \cdot L^3 \dots \dots \dots (10)$$

Формула (10) есть не что иное, какъ обыкновенная формула гнупія упругихъ стержней съ прямоугольнымъ сѣченіемъ.

Въ данномъ приборѣ къ стальной полосѣ было прикрѣплено пишущее перо  $AB$ , длина котораго равна  $D$ .

При гнупіи пружины конецъ пера  $B$  опустится на величину  $Y$ , гдѣ

$$Y = y_m + D\theta_m,$$

---

<sup>1)</sup>  $\theta$  предполагается все время очень малымъ.

или, на основаніи выражений (9) и (10),

$$Y = \frac{4P}{ab^3 E} L^3 \left[ 1 + \frac{3}{2} \frac{D}{L} \right] \dots \dots \dots (11)$$

$Y$  есть непосредственно измѣряемая величина.

Введемъ теперь для сокращенія слѣдующія обозначенія:

$$s = 1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{D}{L} \dots \dots \dots (12)$$

и

$$\rho = f(x) = \frac{x^2}{L^2} \left[ 1 - \frac{1}{3} \frac{x}{L} \right] \dots \dots \dots (13)$$

Тогда изъ уравненій (8) и (11) получится окончательно:

$$y = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{s} \rho \cdot Y \dots \dots \dots (14)$$

Этимъ выраженіемъ мы и воспользуемся.

Перейдемъ теперь къ интересующему насъ случаю, когда на пружинѣ въ разстояніи  $x = r_1$  отъ ея начала  $O$  (см. черт. 1) укрѣплена масса  $M_1$  и когда подставка, на которой зажата пружина, совершаетъ вертикальныя перемѣщенія  $z$ , гдѣ  $z$  есть нѣкоторая функція времени  $t$ .

Пренебрежемъ сначала массою  $M_2$  приспособленія для затуханія и массою  $M_3$  зажимной планочки при пишущемъ перѣ. Эти двѣ массы вводятъ въ формулы несущественныя поправки, которыя мы тѣмъ же не менѣ примемъ впослѣдствіе во вниманіе.

Для упрощенія дальнѣйшихъ выводовъ мы сдѣлаемъ слѣдующія два допущенія: 1) что первоначальнымъ гнугіемъ пружины можно пренебречь<sup>1)</sup> и 2) что масса груза  $M_1$  сосредоточена въ одной точкѣ въ разстояніи  $x = r_1$  отъ начала пружины.

Эти допущенія сами по себѣ несущественны, къ тому же, при обработкѣ полученныхъ кривыхъ, я пользовался всегда величинами различныхъ постоянныхъ прибора, заимствованныхъ не изъ теоріи, а прямо изъ непосредственныхъ наблюденій.

Массу выступающей части пружины (съ длиною  $L$ ) обозначимъ черезъ  $M$ , а массу частицы пружины въ разстояніи  $x$  отъ  $O$  черезъ  $m$ .

Возвышеніе точки  $O$  надъ поломъ комнаты обозначимъ черезъ  $d$ .

---

<sup>1)</sup> Это допущеніе не можетъ ввести значительной ошибки, такъ какъ мы измѣряемъ всегда уклоненія  $Y$  отъ нормальнаго положенія прибора при покоѣ.

Положимъ, что въ нѣкоторый моментъ  $t$  абсолютная величина смѣщенія пола кверху равно  $z$  и что пружина въ этотъ-же моментъ изогнута нѣсколько книзу.

Тогда вертикальное разстоянiе  $\zeta$  массы  $m$  отъ неподвижной въ пространствѣ плоскости, совпадающей при покоѣ съ плоскостью пола, можетъ быть представлено въ слѣдующемъ видѣ:

$$\zeta = z + d - y \dots \dots \dots (15)$$

Для изслѣдованiя характера движенiя прибора ( $Y$  какъ функція времени) примѣнимъ къ этому случаю принципъ Lagrange'a.

Мы можемъ въ этомъ случаѣ считаться только съ вертикальной составляющей скорости.

Дифференцируя уравненiе (15) по времени, получимъ

$$\zeta' = z' - y'.$$

Полная живая сила системы  $T$  выразится такъ:

$$T = \frac{1}{2} [\sum m z'^2 - 2 \sum m z' y' + \sum m y'^2], \dots \dots \dots (16)$$

гдѣ суммирование должно быть распространено на всѣ отдѣльныя массы системы.

Замѣнимъ въ этомъ выраженiи  $y'$  соотвѣтствующей величиной изъ уравненiя (14), тогда мы будемъ имѣть

$$T = \frac{1}{2} \left[ z'^2 \cdot \sum m - 2 \cdot \left( \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{s} \right) \cdot Y' z' \sum m \rho + \left( \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{s} \right)^2 \cdot Y'^2 \sum m \rho^2 \right] (17)$$

Обозначимъ черезъ  $dA$  работу силъ, дѣйствующихъ на нашу систему, когда  $Y$  увеличивается на  $dY$ .

Тогда, на основанiи принципа Lagrange'a, мы будемъ имѣть

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial Y'} \right) - \frac{\partial T}{\partial Y} = \frac{\partial A}{\partial Y} \dots \dots \dots (18)$$

Подставляя сюда выраженiе  $T$  изъ формулы (17), получимъ

$$-\left( \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{s} \right) z'' \cdot \sum m \rho + \left( \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{s} \right)^2 Y'' \cdot \sum m \rho^2 = \frac{\partial A}{\partial Y} \dots \dots \dots (19)$$

Опредѣлимъ теперь работу  $dA$ .

Когда пружина изогнута внизъ, сила упругости стремится возвратитъ ее въ горизонтальное положенiе.

Эта сила  $P$  направлена кверху и можно представить себѣ ее приложенной къ концу пружины.

Изъ формулы (10) находимъ значеніе силы  $P$ .

$$P = \frac{ab^3 E}{4L^3} \cdot y_m \dots \dots \dots (20)$$

На основаніи выраженій (13) и (14) имѣемъ

$$y_m = \frac{1}{s} Y.$$

Отсюда находимъ

$$dA = - P dy_m = - \frac{ab^3 E}{4L^3} \cdot \left(\frac{1}{s}\right)^2 \cdot Y dY$$

или

$$\frac{\partial A}{\partial Y} = - \left(\frac{1}{s}\right)^2 \frac{ab^3 E}{4L^3} \cdot Y^1.$$

Подставляя это выраженіе въ формулу (19), найдемъ окончательно

$$Y'' \cdot \sum m\rho^2 + \frac{ab^3 E}{9L^3} \cdot Y - \frac{2}{3} \cdot s z'' \cdot \sum m\rho = 0.$$

Мы считали до сихъ поръ  $Y$  положительнымъ, когда оно было направлено внизъ. Будемъ теперь для однообразія съ  $z$  считать  $Y$  положительнымъ, когда оно направлено вверхъ и замѣнимъ большое  $Y$  черезъ малое  $y$ , гдѣ  $y$  теперь представляетъ собою отклоненіе пишущаго пера отъ положенія равновѣсія.

Тогда мы будемъ имѣть

$$y'' + \frac{ab^3 E}{9L^3} \cdot \frac{1}{H_2} y + \frac{2}{3} s \frac{H_1}{H_2} \cdot z'' = 0, \dots \dots \dots (21)$$

гдѣ

$$H_1 = \sum m\rho \dots \dots \dots (22)$$

и

$$H_2 = \sum m\rho^2 \dots \dots \dots (23)$$

Остается только найти выраженія для  $H_1$  и  $H_2$ .

Обозначимъ массу единицы объема пружины черезъ  $\delta$ , отношеніе  $\frac{x}{L}$  черезъ  $\xi$ , и введемъ еще обозначеніе (см. формулу (13) и черт. 1)

$$\rho_1 = \left(\frac{r_1}{L}\right)^2 \left[1 - \frac{1}{3} \frac{r_1}{L}\right] \dots \dots \dots (24)$$

---

1) Работа силы тяжести сюда не войдетъ, такъ какъ соотвѣтствующая сила уравновѣшивается упругими силами пружины, вызванныя начальнымъ ея гнутіемъ при покоѣ.

Тогда

$$H_1 = M_1 \rho_1 + \delta abL \int_0^1 \xi^2 \left(1 - \frac{1}{3} \xi\right) d\xi = \frac{1}{4} M + M_1 \rho_1 \dots (25)$$

$$H_2 = M_1 \rho_1^2 + \delta abL \int_0^1 \xi^4 \left(1 - \frac{1}{3} \xi\right)^2 d\xi = \frac{11}{105} M + M_1 \rho_1^2 \dots (26)$$

Таковы выражения для  $H_1$  и  $H_2$ .

Если бы мы желали принять еще во внимание поправку на массу  $M_3$  планки у пишущаго пера, находящейся въ разстояніи  $r_3$  отъ начала пружины, то должны были бы присоединить еще соотвѣтственно члены  $M_3 \rho_3$  и  $M_3 \rho_3^2$ .

Что касается поправки на приспособленіе для затуханія, то и она выводится безъ особаго затрудненія.

Если масса этого приспособленія равна  $M_2 = \sum m_2$  и центръ тяжести находится въ разстояніи  $l_0$  отъ мѣста прикрѣпленія  $I$  (см. черт. 1) и обозначимъ еще черезъ  $l^2$  величину

$$l^2 = \frac{\sum m_2 l_2^2}{M_2}, \dots (27)$$

гдѣ  $l_2$  есть разстояніе  $m_2$  отъ  $I$ <sup>1)</sup>, то соотвѣтствующія поправки представляются въ слѣдующемъ видѣ:

$$M_2 \rho_2 \left\{ 1 - \beta \frac{l_0}{r_2} \sin \gamma \right\}$$

$$M_2 \rho_2^2 \left\{ 1 - 2\beta \frac{l_0}{r_2} \sin \gamma + \beta^2 \frac{l^2}{r_2^2} \right\},$$

гдѣ  $r_2$  есть разстояніе точки  $I$  отъ начала пружины,

$$\rho_2 = \left(\frac{r_2}{L}\right)^2 \left[ 1 - \frac{1}{3} \frac{r_2}{L} \right]$$

и

$$\beta = 2 \frac{1 - \frac{1}{2} \frac{r_2}{L}}{1 - \frac{1}{3} \frac{r_2}{L}} \dots (28)$$

Уголь  $\gamma$  обозначенъ на черт. 1.

Такимъ образомъ мы получимъ окончательно слѣдующія общія вы-

<sup>1)</sup>  $l_0$  и  $l$  могутъ быть безъ затрудненія опредѣлены изъ опыта.

раженія для  $H_1$  и  $H_2$ :

$$H_1 = \frac{1}{4} M + M_1 \rho_1 + M_2 \rho_2 \left\{ 1 - \beta \frac{l_0}{r_2} \sin \gamma \right\} + M_3 \rho_3 \dots \dots \dots (29)$$

$$H_2 = \frac{11}{105} M + M_1 \rho_1^2 + M_2 \rho_2^2 \left\{ 1 - 2\beta \frac{l_0}{r_2} \sin \gamma + \beta^2 \frac{l_0^2}{r_2^2} \right\} + M_3 \rho_3^2 \dots \dots \dots (30)$$

Обобщимъ теперь уравнение (21) введеніемъ члена  $2\epsilon y'$ , зависящаго отъ затуханія прибора, и обозначимъ собственный періодъ колебаній пружины (при отсутствіи затуханія) черезъ  $T$ .

Введемъ еще для удобства слѣдующія обозначенія:

$$T = \frac{2\pi}{n} \dots \dots \dots (31)$$

$$n^2 = \frac{Eab^3}{9L^3H_2} \dots \dots \dots (32)$$

и

$$\sigma = \frac{2}{3} s \frac{H_1}{H_2} \dots \dots \dots (33)$$

Тогда основное дифференціальное уравненіе движенія прибора представится въ слѣдующемъ окончательномъ видѣ:

$$y'' + 2\epsilon y' + n^2 y + \sigma z'' = 0 \dots \dots \dots (34)$$

$\epsilon$ ,  $n$  и  $\sigma$  суть три характерныя постоянныя прибора, которыя могутъ быть опредѣлены непосредственно изъ опыта (см. слѣд. §). Независимо отъ этого  $n$  и  $\sigma$  могутъ быть вычислены по ранѣе приведеннымъ формуламъ.

Для одной пружины безъ всякихъ добавочныхъ грузовъ ( $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_3$  равны 0) собственный ея періодъ колебаній представится въ слѣдующемъ видѣ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{33}{35} \cdot \frac{ML^3}{Eab^3}} \dots \dots \dots (35)$$

а  $\sigma$ , въ случаѣ если пишущее перо находится у конца самой пружины,

$$\sigma = \frac{35}{22} = 1,591.$$

При выводѣ теоріи движенія пружины мы предполагали, что послѣдняя установлена для изслѣдованія вертикальныхъ колебаній. Но всѣ предыдущіе выводы и формулы сохраняютъ свою силу и для того случая, когда пружина установлена для изслѣдованія горизонтальныхъ колебаній, съ тою только разницею, что теперь подъ  $z$  надо подразумѣвать не вертикальное смѣщеніе пола, а смѣщеніе горизонтальное, перпендикулярное длинѣ самой пружины.

Рис. 6.

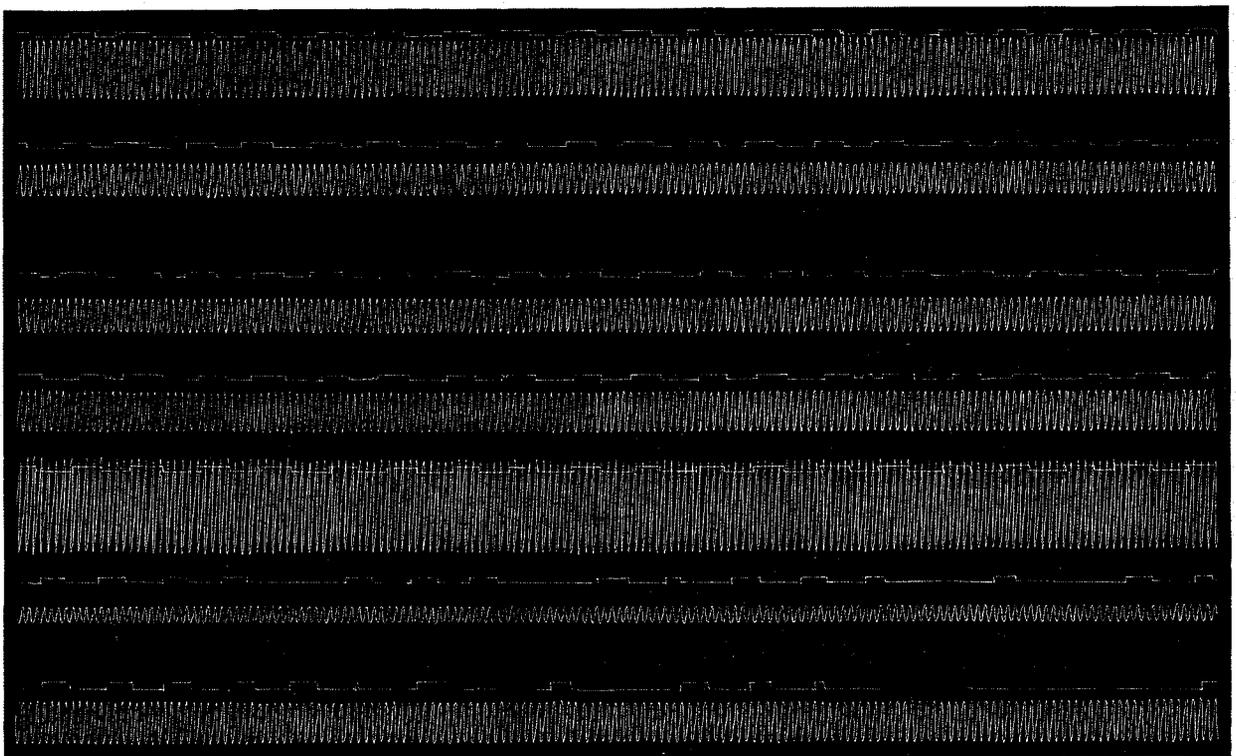
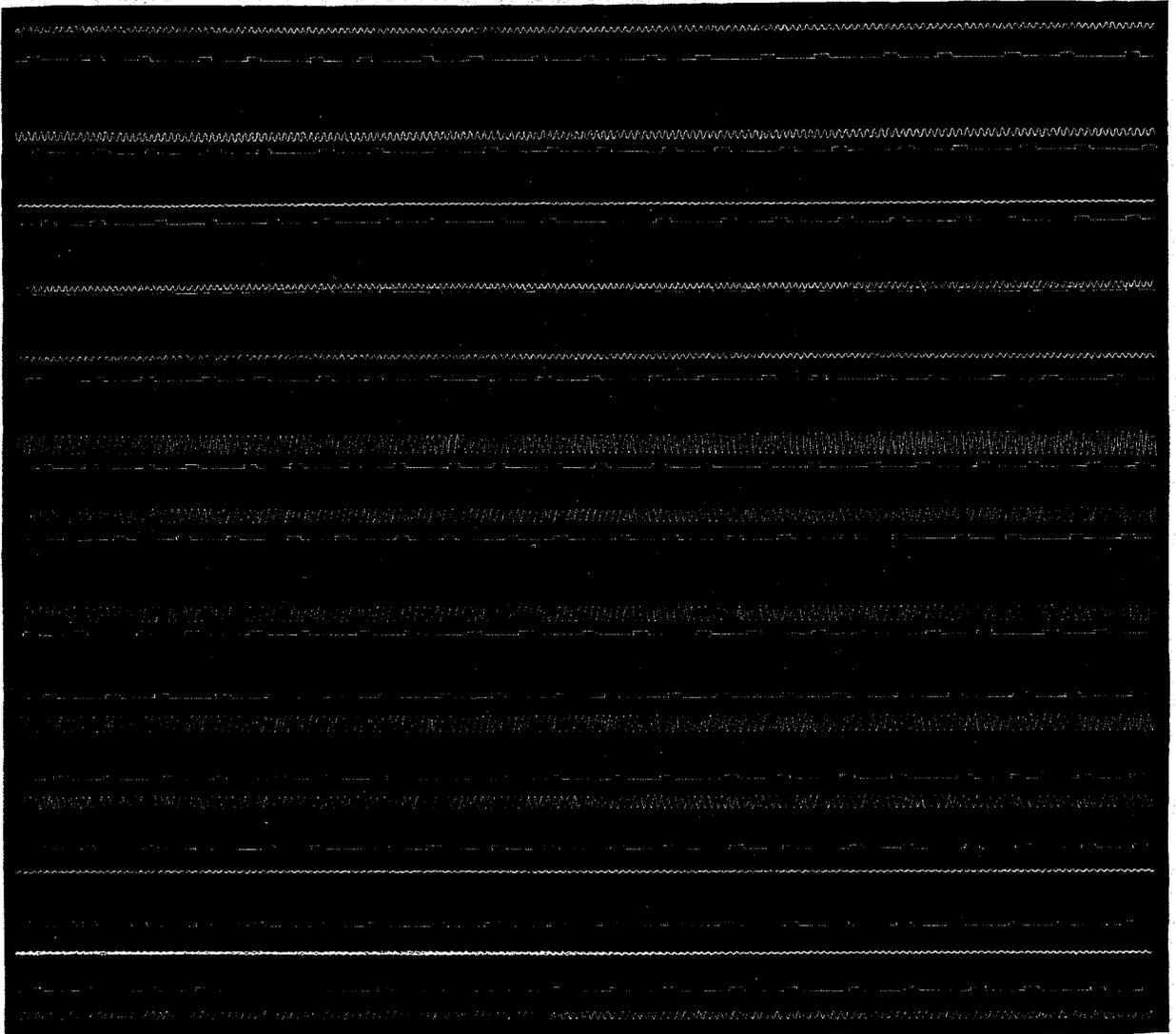
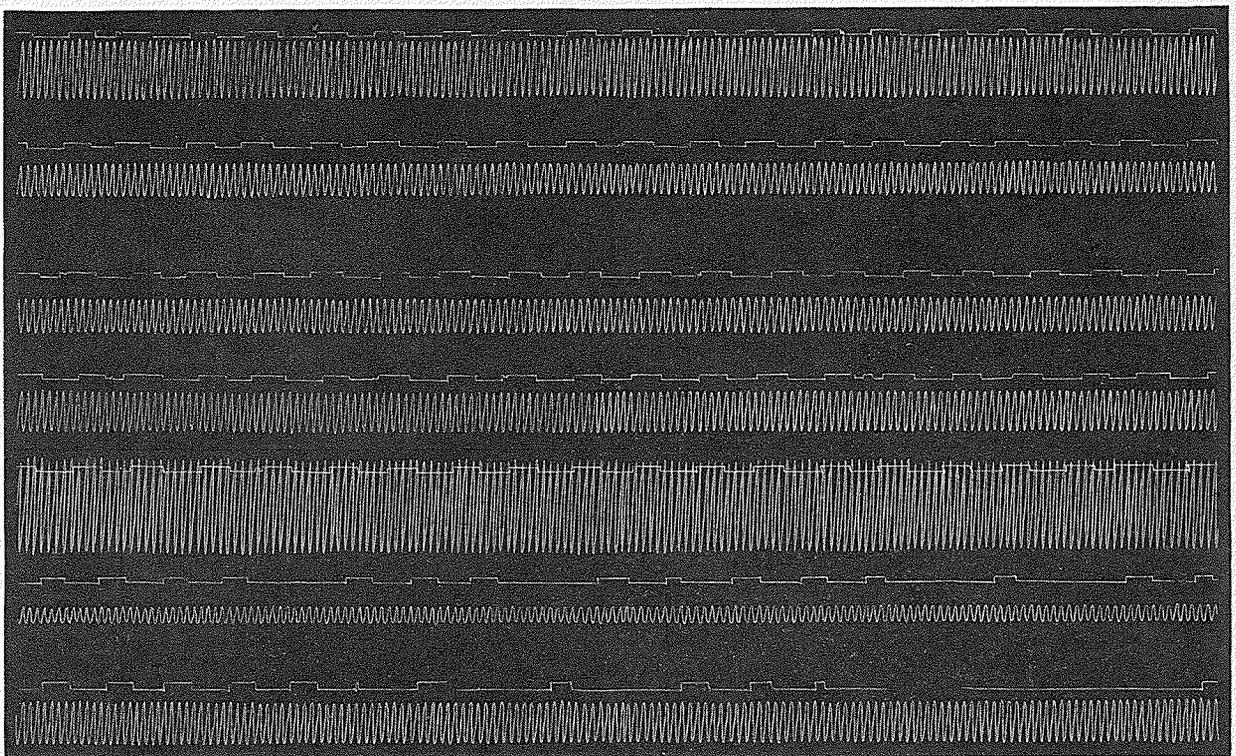
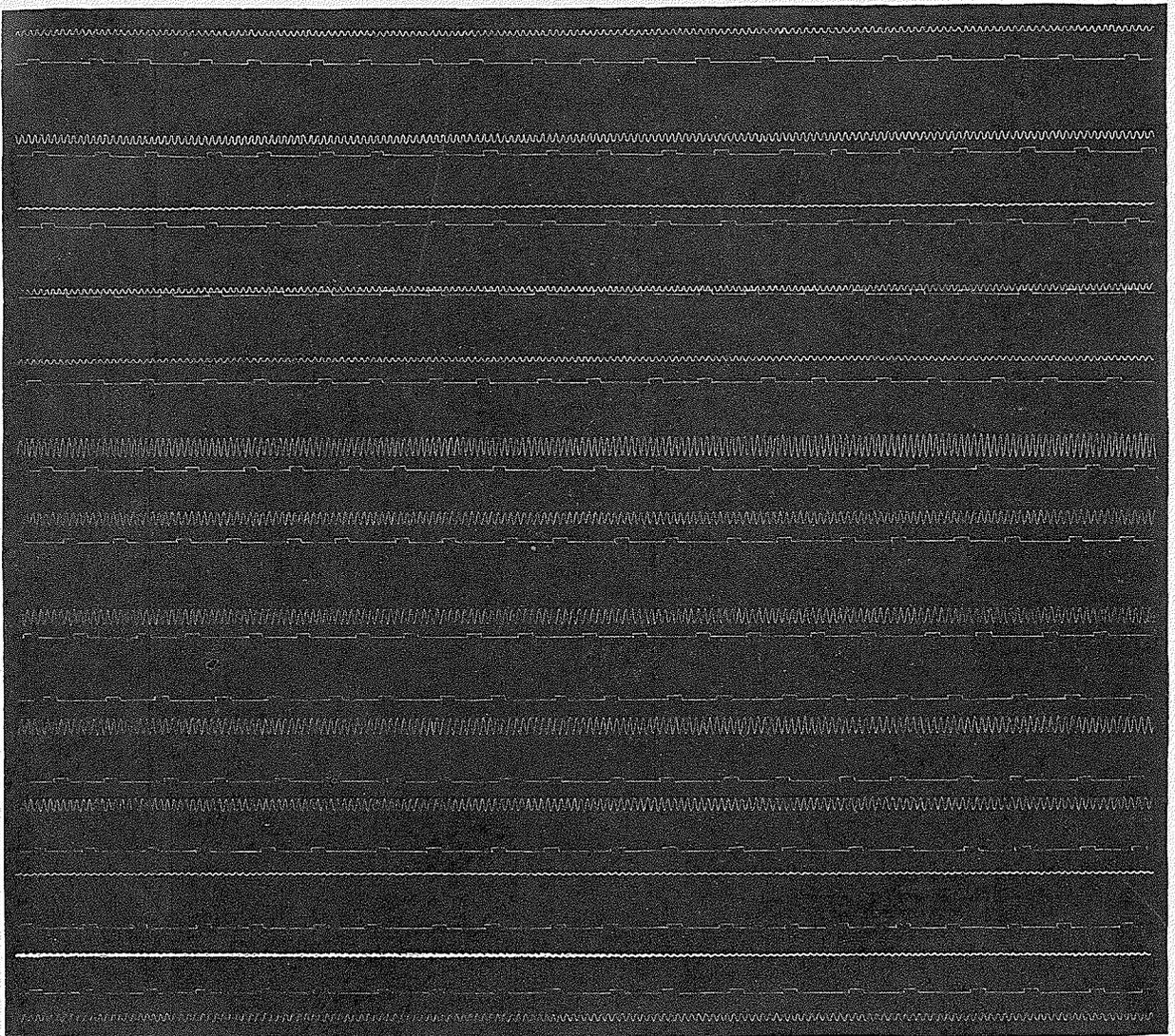


Рис. 6.



Въ формулѣ (34) характерной величиной является переводный множитель  $\sigma$ , характеризующій до известной степени отношеніе амплитудъ размаховъ  $y$  и  $z$  (см. дальше). Для одной пружины (безъ добавочныхъ грузовъ) этотъ множитель равенъ приблизительно 1,6.

Обратимся теперь къ случаю, когда полъ, на которомъ приборъ установленъ, совершаетъ правильныя періодическія движенія вверхъ и внизъ подъ вліяніемъ какой-нибудь ритмической причины, напр. хода мотора Дизеля.

Опытъ показываетъ, что въ этомъ случаѣ, если собственный періодъ пружины близокъ къ резонансу съ періодомъ сотрясеній отъ мотора Дизеля, пишущее перо прибора описываетъ довольно правильную синусоиду, причемъ въ теченіе весьма большого числа періодовъ, максимальная амплитуда  $y_m$  сохраняется очень постоянной.

Копіи съ нѣкоторыхъ оригинальныхъ кривыхъ, полученныхъ съ этимъ приборомъ, представлены на слѣдующемъ рисункѣ 6<sup>1)</sup>.

Выберемъ такое мѣсто на полученной изъ опыта кривой, гдѣ  $y_m$  сохраняется постояннымъ. Тогда мы можемъ положить

$$y = y_m \sin(pt + \varphi) \dots \dots \dots (36)$$

$\varphi$  есть начальная фаза; она дальнѣйшаго значенія не имѣетъ.

Обозначимъ черезъ  $T_p$  полный періодъ полученнаго синусоидальнаго движенія, тогда

$$T_p = \frac{2\pi}{p} \dots \dots \dots (37)$$

Величины  $y_m$  и  $T_p$  снимаются непосредственно съ опытной кривой, причемъ  $T_p$ , благодаря большому числу періодовъ, можетъ быть опредѣлено очень точно. Это суть величины известныя.

Дифференцируя уравненіе (36) два раза по  $t$  и подставляя соответствующія производныя въ основное уравненіе (34), получимъ

$$z'' = -\frac{y_m}{\sigma} [(n^2 - p^2) \sin(pt + \varphi) + 2\epsilon p \cos(pt + \varphi)]$$

или

$$z'' = -\frac{y_m}{\sigma} \cdot \sqrt{(n^2 - p^2)^2 + 4\epsilon^2 p^2} \cdot \sin(pt + \varphi + \Delta) \dots \dots \dots (38)$$

гдѣ

$$\operatorname{tg} \Delta = \frac{2\epsilon p}{n^2 - p^2}.$$

---

<sup>1)</sup> Зубчатая линія представляютъ собою секундныя марки. Продолжительность размаховъ маятника часовъ вправо и влево не была вполне одинакова, но, такъ какъ при опредѣленіи періодовъ всегда брали четное число секундъ, то это обстоятельство не имѣетъ значенія.

Интегрируя уравнение (38) два раза по  $t$ , получимъ

$$z = \frac{y_m}{\sigma} \cdot \frac{1}{p^2} \cdot \sqrt{(n^2 - p^2)^2 + 4\varepsilon^2 p^2} \cdot \sin(pt + \varphi + \Delta) + C_1 t + C_2 \dots (39)$$

Такъ какъ  $z$  по существу дѣла должна быть функція періодическая, то  $C_1$  и  $C_2$  должны быть равны 0.

Введемъ для удобства слѣдующія обозначенія:

$$\frac{n}{p} = \frac{T_p}{T} = u \dots \dots \dots (40)$$

и

$$h = \frac{\varepsilon}{n}, \dots \dots \dots (41)$$

тогда формула (39) приметъ слѣдующій окончательный видъ:

$$z = \frac{y_m}{\sigma} \cdot \sqrt{(u^2 - 1)^2 + 4h^2 u^2} \cdot \sin(pt + \varphi + \Delta) \dots \dots \dots (42)$$

Это выраженіе показываетъ, что  $z$  есть періодическая функція съ тѣмъ-же самымъ періодомъ  $T_p$ .

Итакъ періодъ сотрясеній отъ мотора Дизеля совпадаетъ съ періодомъ кривой  $y$ . Такимъ образомъ  $T_p$  можетъ быть непосредственно получено изъ записи прибора.

Коефициентъ при Sinus'ѣ въ выраженіи (42) даетъ прямо максимальную амплитуду  $z_m$ .

Такимъ образомъ мы получимъ окончательно

$$z = z_m \sin(pt + \varphi + \Delta), \dots \dots \dots (43)$$

гдѣ

$$z_m = \frac{1}{\sigma} \cdot y_m \sqrt{(u^2 - 1)^2 + 4h^2 u^2} \dots \dots \dots (44)$$

Эта послѣдняя формула и служитъ для вычисленія абсолютной величины смѣщенія  $z_m$  по наблюдаемымъ величинамъ  $T_p$  и  $y_m$ .

Въ эту формулу входятъ три постоянныя прибора, а именно  $\sigma$ ,  $T$  (см. выраженіе (40)) и  $h$ , которыя зависятъ отъ положенія груза  $M_1$  и которыя опредѣляются предварительно изъ опыта.

Опытное опредѣленіе переводнаго множителя  $\sigma$  представляетъ нѣкоторыя практическія затрудненія (см. § 2); что-же касается величинъ  $T$  и  $h$ , то онѣ опредѣляются очень просто по наблюдаемому при наличіи затуханія собственнаго періода пружины  $T'$  и соответствующаго логариемическаго декремента  $\Lambda$  (см. формулу (1)), полученные оба графическимъ путемъ при спокойномъ состояніи пола ( $z = 0$ ).

Легко доказать<sup>1)</sup>, что

$$T = \frac{T'}{\sqrt{1 + 0,53720 \Lambda^2}} \dots \dots \dots (45)$$

и

$$h = 0,73295 \cdot \frac{\Lambda}{\sqrt{1 + 0,53720 \Lambda^2}} \dots \dots \dots (46)$$

Окончательная формула для опредѣленія  $z_m$  (формула (44)), какъ видно, очень проста и пользование ею не представляетъ особыхъ затрудненій.

Величина  $h$  зависитъ отъ затуханія, иначе говоря, отъ силы тока въ электромагнитѣ.

Такъ какъ приборъ самъ по себѣ очень грубый и простой, то нельзя брать слишкомъ большого затуханія, иначе, при малыхъ величинахъ  $z_m$  и незначительности величины переводнаго множителя  $\sigma$ , амплитуды  $y_m$  получатся слишкомъ малыми и опредѣленіе абсолютной величины  $z_m$  будетъ затруднительно. Въ виду того, что причина, вызывающая колебаніе прибора по предположенію вполнѣ ритмическая, можно на практикѣ довольствоваться самымъ слабымъ затуханіемъ отъ одной лишь пружины и совершенно удалить электромагнитъ.

Приборъ обладаетъ наибольшей чувствительностью (наибольшая величина  $y_m$  при данномъ  $z_m$ ), когда радикаль въ выраженіи (44) будетъ minimum.

Этотъ minimum наступаетъ<sup>2)</sup> когда

$$u = u_m = \sqrt{1 - 2h^2} \dots \dots \dots (47)$$

Въ этомъ случаѣ

$$z_m = \frac{1}{\sigma} \cdot y_m \cdot 2h \sqrt{1 - h^2} \dots \dots \dots (48)$$

Какъ видно, при маломъ значеніи  $h$  приборъ этотъ можетъ обладать большой чувствительностью. Въ этомъ случаѣ  $u$  должно быть приблизительно равно 1, т. е. надо установить передвиженіемъ груза  $M_1$  пружину почти въ резонансъ съ моторомъ Дизеля.

Настраиваніе пружины въ резонансъ съ моторомъ не представляетъ никакихъ практическихъ затрудненій. Опытъ дѣйствительно показываетъ,

---

<sup>1)</sup> См. мою статью «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mittheilung». L. c. § 2.

<sup>2)</sup> Мы пренебрегаемъ здѣсь незначительными измѣненіями  $\sigma$  и  $h$  съ перемѣщеніемъ груза  $M_1$ .

что, при постепенномъ передвиженіи груза  $M_1$ ,  $y_m$  постепенно возрастаетъ, проходитъ черезъ максимумъ и потомъ вновь убываетъ.

Примѣненіе весьма слабого затуханія въ связи съ явленіемъ резонанса, хотя и представляетъ ту неоспоримую выгоду, что оно значительно увеличиваетъ чувствительность прибора, но оно сопряжено тѣмъ не менѣе съ однимъ довольно значительнымъ неудобствомъ.

Въ виду того, что  $\omega$  въ этомъ случаѣ весьма мало отличается отъ 1, надо очень точно знать собственный періодъ колебаній пружины  $T$ , причемъ десятитысячныя доли секунды имѣютъ уже значеніе. Но, такъ какъ  $T$ , какъ мы увидимъ впослѣдствіи, нѣсколько зависитъ отъ способа закрѣпленія пружины, напримѣръ, слабо или сильно зажаты зажимные винты, то приходится, при наблюденіяхъ вблизи резонанса, пользоваться значеніемъ  $T$ , опредѣленнымъ (при данномъ положеніи груза  $M_1$ ) изъ предварительныхъ опытовъ и искать поправку на принятую величину  $T$  при производствѣ самихъ наблюденій, снимая кривыя около резонанса при различныхъ, мало отличающихся другъ отъ друга положеніяхъ груза  $M_1$ , о чемъ подробнѣе будетъ сказано при описаніи самихъ наблюденій съ этимъ приборомъ (см. § 3).

Въ виду вышесказаннаго желательно, когда условія наблюденій того позволяютъ (не слишкомъ малая величина  $s_m$ ), вводить нѣсколько болѣе сильное затуханіе. Въ этомъ случаѣ уже не требуется болѣе такого точнаго знанія собственнаго періода пружины  $T$ .

## § 2.

### Изслѣдованіе прибора.

Первымъ дѣломъ я опредѣлилъ модуль продольной упругости  $E$  матеріала пружины.

Для этой цѣли я воспользовался формулой (10), дающей величину  $y_m$  прогиба конца пружины въ зависимости отъ величины дѣйствующей силы  $P$ . Для  $P$  я взялъ два различныхъ груза въ 5 и 10 килограммъ и опредѣлилъ прогибъ  $y_m$  катетометромъ при двухъ различныхъ длинахъ пружины  $L$ .

Какъ среднее изъ четырехъ отдѣльныхъ опредѣленій получилось

$$E = 19060 \frac{\text{килгр.}}{\square \frac{\text{м}}{\text{м}}}$$

Вслѣдъ за этимъ я опредѣлилъ собственный періодъ пружины  $T$  и величину  $h$  при различныхъ положеніяхъ груза  $M_1$ , причемъ отдѣльно для того случая, когда пружина была укрѣплена сверху и когда она была укрѣплена сбоку.

При этихъ наблюденіяхъ внутренній, ближайшій къ  $O$  (см. черт. 1) край груза  $M_1$  устанавливался на опредѣленные дѣленія, нанесенныя на верхней части пружины, причемъ 0 дѣлений приходился у конца пружины  $A$ , а точка  $O$  соотвѣтствовала 65,0 дѣленію (въ сантиметрахъ). Обозначимъ дѣленіе, на которое устанавливался край груза  $M_1$  черезъ  $d_1$ . Такъ какъ длина груза  $M_1$  равнялась 5 сант., то соотвѣтствующая величина  $r_1$ , т. е. разстояніе середины груза до начала пружины  $O$ , получалась изъ слѣдующаго соотношенія:

$$r_1 = 65,0 - d_1 + 2,5, \text{ см.} \quad \dots\dots\dots(49)$$

Когда электромагнитъ былъ совершенно удаленъ получилось слѣдующее:

$d_1$	Пружина сверху		Пружина сбоку	
	$T$	$h$	$T$	$h$
10,1 <sup>1)</sup>	0,197	0,0007	0,200	0,0013
20	0,167	0,0007	0,170	0,0014
30	0,141	0,0007	0,144	0,0012
40	0,123	0,0013	0,125	0,0017
50	0,114	0,0020	0,115	0,0021

Съ уменьшеніемъ  $r_1$   $T$  уменьшается, а  $h$  возрастаетъ, причемъ для бокового положенія пружины  $h$  и  $T$  нѣсколько больше. Разница между величинами  $T$  въ обоихъ случаяхъ не превышаетъ, однако, 0,003.

Что же касается *измненія*  $T$  при передвиженіи груза на каждые 10 см., то оно въ обоихъ случаяхъ почти одинаково.

Такъ какъ наблюденія съ этимъ приборомъ показали, что резонансъ пружины съ моторомъ Дизеля наступаетъ невдалекѣ отъ 40-го дѣленія, то опредѣленіе  $T$  и  $h$  было вновь болѣе тщательнымъ образомъ повторено черезъ каждые 2 сант. въ предѣлахъ отъ  $d_1 = 38$  до  $d_1 = 48$ .

---

<sup>1)</sup> Приспособленіе для затуханія не позволяло установить грузъ  $M_1$  точно на дѣленіи  $d_1 = 10,0$ .

Электромагнитъ удаленъ.

$d_1$	Пружина сверху			Пружина сбоку		
	$T$	$\Delta T$	$h$	$T$	$\Delta T$	$h$
38	0,1248		0,00103	0,1211		0,00113
		-0,0034			-0,0033	
40	0,1214		0,00150	0,1178		0,00130
		<sup>24</sup>			<sup>25</sup>	
42	0,1190		0,00157	0,1153		0,00141
		<sup>23</sup>			<sup>22</sup>	
44	0,1167		0,00186	0,1131		0,00174
		<sup>20</sup>			<sup>18</sup>	
46	0,1147		0,00220	0,1113		0,00212
		<sup>20</sup>			<sup>15</sup>	
48	0,1127		0,00235	0,1098		0,00237

Въ этомъ случаѣ первыя значенія  $T$ , когда пружина сверху, нѣсколько превышаютъ значенія  $T$ , когда пружина сбоку, но разницы во всякомъ случаѣ незначительны и не превышаютъ 0,0037, причемъ эти разницы сохраняются очень постоянными. Абсолютная величина  $T$  зависитъ, повидимому, нѣсколько отъ способа закрѣпленія пружины, вслѣдствіе чего и наблюдаются небольшія колебанія въ ту или другую сторону.

Что-же касается измѣненій  $T - \Delta T$  на каждыя 2 см. смѣщенія груза, то они въ обоихъ случаяхъ почти совпадаютъ.

Принимая во вниманіе, что ошибка въ величинахъ  $h$  врядъ ли можетъ быть много меньше единицы четвертаго десятичнаго знака, слѣдуетъ признать, что эти величины  $h$  для двухъ положеній пружины также довольно близко совпадаютъ.

Эти наблюденія были затѣмъ повторены при наличіи электромагнита, но при разомкнутой цѣпи (сила тока  $i = 0$ ).

При этомъ получились слѣдующія числа.

Электромагнитъ поставленъ. Сила тока  $i = 0$ .

$d_1$	Пружина сверху			Пружина сбоку		
	$T$	$\Delta T$	$h$	$T$	$\Delta T$	$h$
38	0,1247		0,00322	0,1209		0,00307
		-0,0030			-0,0028	
40	0,1217		0,00351	0,1181		0,00347
		<sup>23</sup>			<sup>26</sup>	
42	0,1194		0,00369	0,1155		0,00386
		<sup>28</sup>			<sup>18</sup>	
44	0,1166		0,00427	0,1137		0,00424
		<sup>22</sup>			<sup>20</sup>	
46	0,1144		0,00476	0,1117		0,00458
		<sup>15</sup>			<sup>13</sup>	
48	0,1129		0,00480	0,1104		0,00467

Въ этомъ случаѣ различныя значенія  $T$  весьма мало отличаются отъ соответствующихъ чиселъ въ предыдущей таблицѣ.

Что-же касается значеній  $h$ , то теперь они стали значительно больше, вследствие затухающаго вліянія остаточнаго магнетизма въ электромагнитѣ, а отчасти и добавочнаго сопротивленія воздуха. Отдѣльныя величины  $h$  для верхняго и боковаго положенія пружины, ограничиваясь точностью одной единицы четвертаго десятичнаго знака, очень хорошо согласуются между собою.

Измѣненіе  $\Delta T$  на каждые 2 см. передвиженія груза также въ общемъ (за исключеніемъ одного случая) хорошо согласуются между собою и съ соответствующими числами предыдущей таблицы. Можно изъ всѣхъ этихъ чиселъ взять среднее и составить слѣдующую окончательную таблицу величинъ  $\Delta T$ , причемъ эти числа одинаково примѣнимы, какъ къ тому случаю, когда пружина находится наверху, такъ и къ случаю, когда пружина помещена сбоку.

Т а б л и ц а I.

Измѣненіе $d_1$	$\Delta T$
Отъ 38 до 40	— 0,0031
» 40 » 42	— 0,0025
» 42 » 44	— 0,0023
» 44 » 46	— 0,0020
» 46 » 48	— 0,0016

Этими значеніями  $\Delta T$  я и воспользовался при обработкѣ различныхъ полученныхъ мною кривыхъ.

За основныя значенія  $T$  при  $d_1 = 38$  я взялъ слѣдующія числа.

$T$	
Пружина сверху	Пружина сбоку
0,1247	0,1209

Правда, эти числа зависятъ нѣсколько отъ способа закрѣпленія пружины, но, такъ какъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ опредѣлялась при самихъ наблюденіяхъ поправка этихъ величинъ, то это обстоятельство не имѣетъ никакого существеннаго значенія.

Для спеціальнаго выясненія вопроса о вліянні способа закрѣпленія пружины на соотвѣтствующее значеніе  $T$  были сдѣланы нѣсколько добавочныхъ опредѣленій при  $d_1 = 40$  и  $d_1 = 50$ .

Пружина зажата между стальными планками.

Электромагнитъ удаленъ.

$d_1$	Пружина сверху		Пружина сбоку	
	$T$	$h$	$T$	$h$
40	0,1178	0,0018	0,1165	0,0016
50	0,1088	0,0021	0,1075	0,0020
40	—	—	винты ослаблены → 0,1200	0,0026

Нижнія стальные планки вынуты.

Электромагнитъ удаленъ.

$d_1$	Пружина сверху		Пружина сбоку	
	$T$	$h$	$T$	$h$
40	0,1228	0,0016	0,1234	0,0015
50	0,1132	0,0019	0,1134	0,0019
Винты очень сильно зажаты	40	0,1226	0,0016	—
	50	0,1128	0,0018	—

Эти числа показываютъ, что при отсутствіи нижнихъ планокъ значенія  $T$  нѣсколько больше.

Что-же касается величинъ  $h$ , то онѣ сравнительно мало зависятъ отъ способа закрѣпленія пружины и для обоихъ случаевъ (пружина сверху и пружина сбоку) мало отличаются другъ отъ друга.

Соотвѣтствующія значенія  $T$  для верхняго и бокового положенія пружины теперь сравнительно весьма мало отличаются между собою.

Ослабленіе зажимныхъ винтовъ влечетъ за собой увеличеніе  $T$  и  $h$ . Если винты хорошо зажаты, то дальнѣйшее ихъ зажиманіе почти не вліяетъ на величины  $T$  и  $h$ .

Изъ всего вышесказаннаго видно, что абсолютное значеніе собственнаго періода колебаній пружины  $T$  зависитъ безусловно отъ способа закрѣпленія пружины и отъ одного случая до другого оно можетъ нѣсколько измѣняться. Правда, эти разницы въ худшемъ случаѣ выражаются всего

только въ нѣсколькихъ тысячныхъ доляхъ секунды, но, если производить наблюденія съ пружиной вблизи резонанса, то съ этимъ обстоятельствомъ приходится безусловно считаться, такъ какъ въ этомъ случаѣ точное знаніе величины  $T$  очень важно.

Часть моихъ наблюденій съ этимъ приборомъ была произведена безъ нижнихъ подкладокъ у пружины, а часть съ подкладками, но, такъ какъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ опредѣлялась изъ опыта поправка на принятое основное значеніе  $T$  (при  $d_1 = 38$ ), то это обстоятельство не имѣетъ никакого значенія.

Посмотримъ теперь въ какой мѣрѣ зависитъ величина затуханія  $h$  отъ силы тока въ электромагнитѣ.

При этихъ опытахъ пружина находилась сверху, а для силы тока были взяты слѣдующія три значенія :

$$i = 0,5; \quad i = 1,0 \quad \text{и} \quad i = 2,0 \text{ ампера.}$$

Результаты этихъ опредѣленій приведены въ слѣдующей таблицѣ.

Т а б л и ц а II.

$d_1$	$h$		
	$i = 0,5$	$i = 1,0$	$i = 2,0$
10,1	0,0144	0,0218	0,0398
20	0,0144	0,0240	0,0465
30	0,0162	0,0270	0,0525
40	0,0143	0,0327	0,0764
50	0,0127	0,0320	0,0357

Въ этомъ случаѣ значенія  $h$  значительно больше, причемъ при уменьшеніи  $r_1$  (см. выраженіе (49)), т. е. по мѣрѣ приближенія груза  $M_1$  къ началу пружины  $O$ ,  $h$  какъ будто проходитъ черезъ максимумъ.

Обратимся теперь къ опредѣленію величины переводнаго множителя  $\sigma$ . Для этой цѣли я воспользовался слѣдующимъ приспособленіемъ.

Между двумя противоположными стѣнами одной изъ комнатъ въ нижнемъ этажѣ Физической Лабораторіи Императорской Академіи Наукъ

были установлены въ специальныхъ гнѣздахъ, сдѣланныхъ въ стѣнѣ, двое рельсовъ, положенныхъ на бокъ. На эти рельсы была поставлена большая, тяжелая платформа, снятая съ прибора, описаннаго въ моей статьѣ «Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen»<sup>1)</sup> и служившая мнѣ ранѣе для изученія законовъ движенія маятниковъ при искусственнымъ образомъ вызываемыхъ колебаніяхъ. Подъ углами этой платформы были подложены деревянные подкладки, такъ что платформа касалась рельсовъ только въ четырехъ точкахъ. Благодаря упругости рельсовъ, платформа, подъ вліяніемъ ритмической силы, дѣйствующей въ вертикальномъ направленіи, совершала правильныя гармоническія колебанія вверхъ и внизъ, оставаясь при этомъ движеніи параллельной самой себѣ.

Раскачиваніе платформы производилось при помощи особаго махового колеса, прикрѣпленнаго къ платформѣ и у котораго одинъ секторъ между спицами былъ заполненъ свинцомъ. Колесо это приводилось въ движеніе особымъ электромоторомъ, скорость вращенія котораго можно было регулировать введеніемъ и выключеніемъ добавочныхъ сопротивленій. Къ электромотору былъ приспособленъ счетчикъ числа оборотовъ, снятый съ ртутнаго турбиннаго прерывателя. Чтобы перейти отъ отсчета на счетчикѣ къ дѣйствительному числу оборотовъ въ секунду махового колеса надо было знать величину соответствующаго переводнаго множителя. Этотъ множитель былъ опредѣленъ изъ наблюденій, отсчитывая при помощи секундомѣра Löhner'a, дающаго сотыя доли секунды и свѣреннаго раньше съ хронометромъ, число оборотовъ маховика, соответствующее опредѣленнымъ дѣленіямъ на счетчикѣ.

Обозначимъ число оборотовъ маховика въ секунду черезъ  $N$ . Тогда продолжительность одного оборота будетъ

$$\tau = \frac{1}{N},$$

а угловая скорость

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau}.$$

Возьмемъ элементъ массы  $m$  свинцоваго прилива  $AO_1B$  въ разстояніи  $r$  отъ центра маховика (см. черт. 7) и пусть въ моментъ  $t=0$  направленіе  $O_1m$  составляетъ уголъ  $\alpha$  съ вертикальной линіей  $OC$ . Начало координатъ возьмемъ въ  $O$ , причемъ  $OO_1$  пусть будетъ равно  $d$ .

Если вращеніе маховика совершается по направленію движенія ча-

---

<sup>1)</sup> Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. Tome I. Livraison 3.

совой стрѣлки, то въ моментъ  $t$ , вертикальная координата точки  $m$  будетъ

$$z = d + r \cos \left( 2\pi \frac{t}{\tau} + \alpha \right),$$

Черт. 7.

ускореніе

$$z'' = -\frac{4\pi^2}{\tau^2} r \cos \left( 2\pi \frac{t}{\tau} + \alpha \right),$$

а вертикальная сила

$$f = -m \frac{4\pi^2}{\tau^2} r \cos \left( 2\pi \frac{t}{\tau} + \alpha \right) \quad (50)$$

Обозначивъ уголъ  $AO_1C$  черезъ  $\alpha_0$ , а  $AO_1B$  черезъ  $\beta$ , радиусъ маховика  $O_1C$  черезъ  $R$ , а массу всего прилива черезъ  $M$ , то полная вертикальная сила  $F$  будетъ равна

$$F = \Sigma f,$$

гдѣ суммирование или, точнѣе говоря, интегрирование должно быть распространено по  $\alpha$  отъ  $\alpha = \alpha_0$  до  $\alpha = \alpha_0 + \beta$ , а по  $r$  отъ  $r = 0$  до  $r = R$ .

На основаніи уравненія (50) легко получается

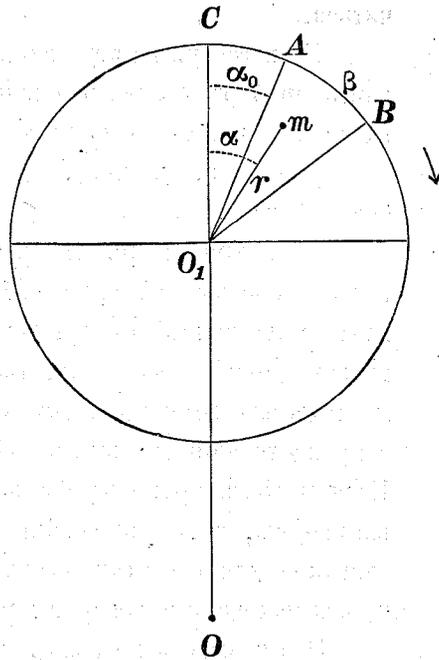
$$F = -M \cdot \frac{4\pi^2}{\tau^2} \cdot \frac{2}{3} R \cdot \frac{2 \sin \frac{\beta}{2}}{\beta} \cos \left\{ 2\pi \frac{t}{\tau} + \alpha_0 + \frac{\beta}{2} \right\} \dots \dots (51)$$

Эта формула показываетъ, что дѣйствующая сила  $F$  слѣдуетъ вполнѣ гармоническому закону.

Сама платформа, установленная на упругихъ рельсахъ, имѣетъ свой собственный періодъ колебаній  $T_1$  и свое затуханіе, характеризуемое величиной  $h_1$ .

$T_1$  было, приблизительно, равно 0;27, но эта величина можетъ довольно значительно измѣняться въ зависимости отъ положенія деревянныхъ подкладокъ подъ платформой, отъ расположенія грузовъ на самой платформѣ и пр. Дѣйствительно, для случая даже зажатой стальной пружины мы видѣли, насколько собственный періодъ колебаній пружины зависитъ отъ способа ея закрѣпленія, здѣсь же концы рельсовъ не были вовсе закрѣплены, а покоились свободно въ гнѣздахъ въ стѣнѣ.

Что-же касается  $h_1$ , то оно было равно, приблизительно, 0,0209.



Такъ какъ затуханіе платформы довольно значительное, то она весьма скоро должна принять періодъ маховика  $\tau$ , причемъ наибольшая величина размаха платформы  $z_m$  зависитъ отъ величинъ  $\tau$  и  $T_1$ .

Вообще по мѣрѣ приближенія  $\tau$  къ  $T_1$  амплитуда  $z_m$  должна увеличиться.

Если теперь на эту движущуюся вверхъ и внизъ платформу поставить нашъ приборъ съ регистрирующимъ аппаратомъ, то конецъ пера опишетъ на вращающемся барабанѣ соответствующую этому движенію кривую.

Явленіе это можетъ, однако, усложниться слѣдующимъ привходящимъ обстоятельствомъ.

Несмотря на то, что масса колеблющейся пружины вмѣстѣ съ добавочной передвижной массой  $M_1$  составляла весьма малую часть массы всей платформы вмѣстѣ съ чугунной тумбой и разными другими добавочными грузами (до нѣсколькихъ десятковъ килограммъ), установленныхъ на разныхъ мѣстахъ платформы для выравниванія упругости рельсовъ въ мѣстахъ ихъ соприкосновенія съ платформой, можно было наблюдать слѣдующее явленіе. Если періодъ пружины былъ близокъ къ собственному періоду колебаній платформы, то, если сообщить пружинѣ искусственныя колебанія, отодвигая ее для этого отъ положенія равновѣсія въ сторону, то и при покоящемся маховикѣ платформа приходила въ колебаніе.

Этотъ фактъ показываетъ, что колебанія пружины вблизи резонанса могутъ имѣть обратное дѣйствіе на движеніе платформы. Однако, при моихъ наблюденіяхъ для опредѣленія  $\sigma$  собственный періодъ пружины никогда не превысилъ  $0,20$ , а потому это дѣйствіе было во всякомъ случаѣ незначительно.

Къ тому же, если бы такое обратное дѣйствіе пружины и существовало, то въ нашемъ случаѣ оно не имѣетъ значенія, т. к. опытъ показалъ, что, когда платформа приходила въ вертикальныя колебанія подъ вліяніемъ вращающагося маховика, то пишущее перо пружины чертило достаточно правильную синусоиду, съ которой можно было затѣмъ снять періодъ  $T_p$  и наибольшую амплитуду  $y_m$ .

Въ этомъ случаѣ, какъ мы видѣли раньше, и  $z$  должно удовлетворять закону гармоническихъ колебаній съ тѣмъ-же періодомъ  $T_p$ .

Зависимость между наибольшей величиной вертикальнаго смѣщенія платформы  $z_m$  и  $y_m$  дается ранѣе выведеннымъ уравненіемъ (44).

$$z_m = \frac{1}{\sigma} y_m \sqrt{(u^2 - 1)^2 + 4k^2 u^2} \dots \dots \dots (44)$$

Вертикальное движеніе платформы, вызываемое вращеніемъ маховика, можно было непосредственно записать.

Для этой цели устанавливался на полу комнаты, совершенно независимо от платформы, прочный штативъ, къ которому прикрѣплялся неподвижный штифтъ, который долженъ былъ чертить на вращающемся барабанѣ, установленномъ на платформѣ. Такъ какъ этотъ барабанъ совершалъ тѣ-же движенія вверхъ и внизъ, что и сама платформа, то можно было съ вычерченной неподвижнымъ штифтомъ кривой снять прямо величину  $z_m$ .

Зная теперь  $z_m$  и  $y_m$  и соответствующія величины  $u$  и  $h$  можно было изъ такихъ наблюдений, пользуясь уравненіемъ (44), найти искомую величину  $\sigma$ , соответствующую разнымъ положеніямъ груза  $M_1$ .

Наблюденія эти велись при томъ-же положеніи груза  $M_1$  при разныхъ значеніяхъ  $T_p$  и  $h$  и изъ всѣхъ полученныхъ такимъ образомъ чиселъ бралось среднее.

Главное затрудненіе при этихъ наблюденіяхъ состояло въ томъ, чтобы заставить платформу перемѣщаться при вращеніи маховика дѣйствительно параллельно самой себѣ. Для этой цели приходилось перемѣщать деревянныя подставки, на которыя платформа упиралась и измѣнять расположеніе добавочныхъ грузовъ на самой платформѣ. Достигнуть полного параллелизма движенія было тѣмъ не менѣе очень трудно.

Для лучшаго контроля, величина амплитуды вертикальныхъ смѣщеній платформы  $z_m$  измѣрялась при помощи двухъ одинаковыхъ регистррныхъ аппаратовъ, установленныхъ на двухъ противоположныхъ концахъ платформы—около пишущаго пера пружины и около самой тумбы—и изъ полученныхъ величинъ  $z_m$  бралось среднее. Разница между этими величинами  $z_m$  оказалась очень малой; она ни разу не превысила  $0,19^m/m$ , причеиъ абсолютная величина  $z_m$  при этихъ наблюденіяхъ въ разныхъ случаяхъ измѣнялась въ предѣлахъ отъ  $z_m = 2,03^m/m$  до  $z_m = 3,24^m/m$ .

Въ слѣдующей таблицѣ III приведены среднія, опредѣленные мною значенія переводнаго множителя  $\sigma$  для различныхъ положеній груза  $M_1$ .

Таблица III.

$d_1$	$\sigma$
10,1	1,78
20	2,10
30	2,39
40	2,58
50	2,45

$\sigma$  измѣняется сравнительно немного и проходитъ, повидимому, черезъ максимум около положенія  $d_1 = 40$ .

Между предѣлами  $d_1 = 30$  и  $d_1 = 50$  можно, приблизительно, выразить ходъ измѣненія  $\sigma$  съ  $d_1$  слѣдующей эмпирической формулой:

$$\sigma = 2,39 + 0,035(d_1 - 30) - 0,0016(d_1 - 30)^2 \dots \dots (52)$$

Этой формулой я и пользовался при обработкѣ своихъ наблюденій надъ колебаніями зданій.

Формула (52) даетъ максимум для  $\sigma$  равнымъ 2,58 при  $d_1 = 40,9$ .

При этомъ положеніи груза  $M_1$  приборъ этотъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ (тѣ-же  $u$  и  $h$ ), обладаетъ, слѣдовательно, наибольшей чувствительностью (см. формулу (44)).

Изъ теоріи слѣдуетъ, что періодъ колебанія пружины  $T_p$  при движеніи платформы долженъ совпадать съ періодомъ маховика  $\tau$ , причемъ, по мѣрѣ приближенія  $\tau$  къ собственному періоду платформы  $T_1 = 0,27$ , величина  $z_m$  должна возрастать.

Въ слѣдующей таблицѣ IV сопоставлены различныя, полученныя изъ опыта соотвѣтственныя значенія  $T_p$ ,  $\tau$  и  $z_m$ , расположенныя въ порядкѣ возрастанія  $T_p$ , независимо отъ положенія груза  $M_1$ .

$\tau$  опредѣлялось, какъ раньше было указано, по счетчику, но, такъ какъ показаніе счетчика при вращеніи маховика не оставалось строго постояннымъ, то въ величинахъ  $\tau$  возможны небольшія уклоненія въ ту или другую сторону. Что-же касается величинъ  $T_p$ , то онѣ гораздо надежнѣе, такъ какъ эти величины опредѣлялись по большому числу отдѣльныхъ волнъ записанной синусоиды.

Эта таблица показываетъ, что въ предѣлахъ ошибокъ наблюденій величины  $T_p$  и  $\tau$  дѣйствительно равны между собою, такъ какъ, за исключеніемъ чиселъ второй строчки, разницы между  $T_p$  и  $\tau$  совершенно ничтожны. Обращаясь затѣмъ къ послѣднему столбцу, видно, что, отвлекаясь отъ нѣкоторыхъ небольшихъ, повидимому, случайныхъ неправильностей въ ходѣ величинъ  $z_m$ , по мѣрѣ приближенія  $\tau$  къ собственному періоду платформы  $T_1$ , абсолютная величина  $z_m$  возрастаетъ.

Теперь въ заключеніе сравнимъ величины собственного періода пружины  $T$  и переводнаго множителя  $\sigma$ , полученныя изъ опыта при различныхъ положеніяхъ груза  $M_1$ , съ тѣми-же величинами, вычисленными на основаніи ранѣе приведенныхъ теоретическихъ формулъ (29), (30), (31), (32) и (33).

Таблица IV.

$d_1$	$T_p$	$\tau$	$z_m$
30	0,181	0,178	2,03 м/м
50	0,183	0,170 (!)	2,03
50	0,202	0,200	2,14
20	0,204	0,204	2,16
20	0,205	0,203	2,22
50	0,206	0,202	2,15
50	0,206	0,200	2,16
10,1	0,208	0,208	2,13
50	0,208	0,202	2,18
50	0,209	0,202	2,16
30	0,210	0,209	2,31
10,1	0,212	0,212	2,24
40	0,214	0,212	2,38
10,1	0,225	0,224	2,81
20	0,231	0,233	2,88
30	0,233	0,235	2,73
40	0,237	0,238	2,81
40	0,255	0,257	3,07
50	0,256	0,256	3,15
10,1	0,260	0,266	3,24
20	0,260	0,256	3,16
20	0,262	0,264	3,23

Въ основаніе этихъ вычисленій взяты слѣдующія значенія различныхъ постоянныхъ:

$$M = 2596 \text{ гр.}$$

$$M_1 = 3265 \text{ »}$$

$$M_2 = 407 \text{ »}$$

$$M_3 = 59 \text{ »}$$

$$E = 19060 \frac{\text{к.гр.}}{\square \text{ м/м}}$$

$$a = 8,17 \text{ см.}$$

$$b = 0,633 \text{ »}$$

$$L = 65,0 \text{ »}$$

$$D = 30,8 \text{ »}$$

$$r_2 = 63,1 \text{ »}$$

$$r_3 = 63,4 \text{ »}$$

$$\gamma = 20,5.$$

Что-же касается величинъ  $l_0$  и  $l$  (см. черт. 1 и формулу (27)), то онѣ были опредѣлены непосредственно изъ опыта.

Для этой цѣли приспособленіе для затуханія было отвинчено. Положивши его на нитку и подыскивая положеніе, въ которомъ оно находилось въ равновѣсіи, получилось сразу  $l_0$ .

Для опредѣленія  $l$  заставили систему колебаться около оси, проходящей черезъ  $I$  (см. черт. 1). Если соответствующій періодъ колебаній обозначимъ черезъ  $T_2$ , то

$$l = \frac{T_2}{2\pi} \sqrt{l_0 g}.$$

Такимъ образомъ получилось ( $T_2 = 1,10$ )

$$l_0 = 21,5 \text{ см.}$$

$$l = 25,4 \text{ »}.$$

Въ слѣдующей таблицѣ V сопоставлены вычисленныя по ранѣ приведеннымъ формуламъ величины  $T$  и  $\sigma$  съ тѣми-же величинами, опредѣленными непосредственно изъ опыта, причемъ тѣ и другія величины даны съ округленіемъ до одной единицы второй значущей цифры.

Таблица V.

$d_1$	$T$		$\sigma$	
	Вычисл.	Наблюд.	Вычисл.	Наблюд.
10,1	0,19	0,20	2,1	1,8
20	0,16	0,17	2,5	2,1
30	0,13	0,14	2,9	2,4
40	0,12	0,12	3,0	2,6
50	0,11	0,11	2,7	2,5

Принимая во вниманіе, что формулы, послужившія для вычисленія  $T$  и  $\sigma$  имѣютъ довольно сложный видъ, приче́мъ достаточно трудно учесть все́ детали конструкціи прибора, что въ основаніе этихъ вычисленій положенъ цѣлый рядъ непосредственно измѣренныхъ величинъ и что, наконецъ, сами формулы являются до извѣстной степени приближенными, такъ какъ въ нихъ пренебрежено первоначальнымъ прогибомъ пружины и сдѣлано неявное допущеніе, что законъ изгибанія пружины не зависитъ отъ присутствія массы  $M_1$  на пружинѣ, приче́мъ еще сама эта масса предположена сосредоточенной въ одной точкѣ, слѣдуетъ признать согласіе между теоретическими и опытыми значеніями  $T$  и  $\sigma$  въ общемъ весьма удовлетвори- тельнымъ.

Особенно хорошо согласуются періоды  $T$ .

При болѣе удаленныхъ положеніяхъ груза  $M_1$  отъ начала пружины  $O$ , наблюденные періоды  $T$  получились на 0,01 секунды больше теоретическихъ. Это можно было и а priori ожидать вслѣдствіе небольшого сокачанія (Mitschwingung) самой тумбы, на которой пружина была укрѣплена. Дѣйстви- тельно, опытъ показалъ, что, если установить грузъ у конца пружины и отвести его значительно въ сторону и затѣмъ отпустить, заставляя тѣмъ самымъ пружину дѣлать значительныя амплитуды размаховъ, то сама чугунная подставка, несмотря на то, что она имѣла 82,4 килограмма вѣса, слегка подскакивала.

Что же касается величинъ  $\sigma$ , то наблюденныя величины во все́хъ случаяхъ немного меньше теоретическихъ, но разницы въ общемъ незначи- тельны, особенно принимая во вниманіе, что точное опытное опредѣленіе величинъ  $\sigma$  сопряжено, какъ мы видѣли раньше, съ довольно значительными затрудненіями и что между отдѣльными величинами  $\sigma$ , опредѣленными изъ опыта при томъ же положеніи груза  $M_1$  (при различныхъ  $u$  и  $h$ , см. фор- мулу (44)), встрѣчались разницы, доходящія до 0,26, т. е. почти до 0,3, каковая величина, примѣрно, того-же порядка, какъ разница между теоре- тическими и наблюденными величинами  $\sigma$ .

Вполнѣ точное знаніе величины  $\sigma$  не такъ уже существенно, такъ какъ на практикѣ ошибка въ нѣсколько процентовъ въ абсолютной вели- чинѣ  $z_m$  не имѣетъ почти никакого значенія. При обработкѣ полученныхъ мною кривыхъ я пользовался всегда величинами  $\sigma$ , опредѣленными изъ опыта.

Здѣсь важно обратить вниманіе на то обстоятельство, что и теоре- тическая формула предвидитъ максимумъ величины  $\sigma$  около положенія  $d_1 = 40$ , что находится въ полномъ согласіи съ опытомъ и что служитъ хорошимъ подтвержденіемъ правильности самой теоріи прибора.

На основаніи всего вышеизложеннаго можно прійти къ заключенію

что въ общемъ теорія находится въ хорошемъ согласіи съ опытомъ и что вышеописанный приборъ можетъ вполне служить для изслѣдованія различныхъ колебаній зданій, вызываемыхъ дѣйствіемъ какой-нибудь ритмической силы.

### § 3.

#### Наблюденія надъ колебаніемъ зданій.

Первыя наблюденія съ этимъ приборомъ были произведены въ верхнемъ этажѣ ранѣе упомянутого служительскаго флигеля, который болѣе всего былъ подверженъ вліянію сотрясеній отъ мотора Дизеля.

Всѣ наблюденія производились всегда въ вечерніе часы дня по возможности при наибольшей нагрузкѣ мотора Дизеля, при этомъ сила тока въ главной цѣпи измѣнялась за все время производства этихъ различныхъ наблюденій, примѣрно, въ предѣлахъ отъ 850 до 1000 амперъ.

Наблюденія велись въ слѣдующемъ порядкѣ.

Установивъ приборъ въ выбранномъ мѣстѣ для изслѣдованія вертикальныхъ или горизонтальныхъ колебаній, снимались кривыя записи прибора при различныхъ положеніяхъ груза  $M_1$  около резонанса пружины съ моторомъ Дизеля<sup>1)</sup>. Съ этихъ кривыхъ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онѣ представляли правильную синусоиду, снимались соответствующія значенія  $T_p$  и  $y_m$ . Благодаря тому обстоятельству, что отсчитывалось всегда большее число отдѣльныхъ волнъ и что около полученныхъ кривыхъ всегда отмѣчались секунднаыя марки, можно было опредѣлить  $T_p$  съ большою точностью.

Въ началѣ, при этихъ наблюденіяхъ я пользовался электромагнитнымъ затуханіемъ, но впослѣдствіи, для увеличенія чувствительности записи этого въ сущности весьма грубаго прибора, я отъ него вполне отказался и дальнѣйшія наблюденія производились безъ электромагнита.

Въ этомъ случаѣ, при слабомъ затуханіи прибора, самое незначительное передвиженіе груза  $M_1$ , сопровождалось вполне замѣтнымъ измѣненіемъ величины  $y_m$ , а потому теперь уже требовалось очень точное знаніе собственнаго періода пружины  $T$ , соответствующее данному положенію груза  $M_1$ <sup>2)</sup>.

Но, такъ какъ мы видѣли, что абсолютная величина  $T$  до извѣстной степени зависитъ отъ способа закрѣпленія пружины, которая постоянно

1) Мѣсто резонанса легко было найти постепеннымъ передвиженіемъ груза  $M_1$ .

2) Десятитысячныя доли секунды уже имѣютъ значеніе.

перевинчивалась на гумбѣ, то сверху, то сбоку, то обработка полученныхъ изъ опыта кривыхъ производилась слѣдующимъ образомъ.

Обозначимъ исходное значеніе  $T$  при  $d_1 = 38$  черезъ  $T_0$ .

Для  $T_0$  было взято, какъ ранѣе было указано, слѣдующія числа:

Пружина сверху . . . . .  $T_0 = 0;1247$

Пружина сбоку . . . . .  $T_0 = 0,1209$ .

Абсолютное значеніе  $T_0$  можетъ быть нѣсколько ошибочно, такъ какъ періодъ колебанія пружины зависитъ въ нѣкоторой мѣрѣ отъ способа закрѣпленія пружины. Поправку на принятую величину  $T_0$  обозначимъ черезъ  $\xi$ .

Измѣненіе  $T$ , именно  $\Delta T$ , соответствующее незначительнымъ перемѣщеніямъ груза  $M_1$  на величину  $(d_1 - 38)$  извѣстно хорошо, такъ какъ на величины  $\Delta T$  способъ закрѣпленія пружины не имѣетъ почти никакого вліянія. Соответствующія величины даны въ таблицѣ I.

Такимъ образомъ истинный періодъ колебаній пружины, соответствующій данному положенію груза  $M_1$ , можетъ быть представленъ такъ:

$$T = T_0 + \Delta T + \xi.$$

Обозначимъ  $T_0 + \Delta T$  черезъ  $T'$ , тогда

$$T = T' \left[ 1 + \frac{\xi}{T'} \right] \dots \dots \dots (53)$$

$T'$  можетъ быть опредѣлено ранѣе, а  $\xi$  надо разсматривать, какъ новую неизвѣстную.

Введемъ слѣдующее обозначеніе

$$\frac{T_p}{T'} = u'^1), \dots \dots \dots (54)$$

тогда

$$u = u' \frac{1}{1 + \frac{\xi}{T'}} \dots \dots \dots (55)$$

Подставляя эту величину въ основную формулу (44), получимъ:

$$z_m = \frac{1}{\sigma} y_m \sqrt{\left\{ u'^2 \frac{1}{\left(1 + \frac{\xi}{T'}\right)^2} - 1 \right\}^2 + 4h^2 u'^2 \frac{1}{\left(1 + \frac{\xi}{T'}\right)^2} \dots \dots \dots (56)$$

<sup>1)</sup>  $u'$  есть величина извѣстная.

Теперь, имѣя рядъ кривыхъ, снятыхъ при различныхъ положеніяхъ груза  $M_1$  вблизи резонанса, и зная соотвѣтствующія величины  $y_m$ ,  $u'$ ,  $h$  и  $\sigma$ , можно взять двѣ группы этихъ величинъ и составить два уравненія вида (56), изъ которыхъ, исключеніемъ  $z_m$ , опредѣлится искомая поправка  $\xi$ . Опредѣленіе  $\xi$  проще всего достигается послѣдовательными приближеніями, подставляя въ оба выраженія вида (56) вмѣсто  $\xi$  различныя величины, пока не будетъ достигнуто приблизительное равенство величинъ  $z_m$ .

Зная поправку  $\xi$ , можно теперь уже, при помощи уравненія (53), найти истинныя величины  $T$  и  $\frac{T_p}{T} = u$ , соотвѣтствующія различнымъ значеніямъ  $d_1$ , и вычислять затѣмъ  $z_m$  прямо уже по формулѣ (44).

Изъ всѣхъ полученныхъ такимъ образомъ величинъ  $z_m$  берется затѣмъ среднее. Согласіе отдѣльныхъ величинъ  $z_m$  характеризуетъ точность этихъ опредѣленій.

Это есть первый способъ вычисленій.

Второй способъ вычисленій заключается въ слѣдующемъ.

Если  $\frac{\xi}{T}$ , малая величина, а при моихъ наблюденіяхъ  $\xi$  въ огромномъ большинствѣ случаевъ составляло всего только нѣсколько десятитысячныхъ долей секунды, можно преобразовать уравненіе (56) по степенямъ  $\xi$ .

Ограничиваясь первыми степенями величинъ  $\xi$ , мы придемъ къ линейному уравненію съ двумя неизвѣстными.

Введемъ для этой цѣли слѣдующія обозначенія:

$$\eta = (2z_m)^2 \dots \dots \dots (57)$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 4u'^2 \{ (u'^2 - 1) + 2h^2 \} \frac{1}{T^2} \\ b &= \left( \frac{\sigma}{2y_m} \right)^2 \cdot 1 \\ m &= (u'^2 - 1)^2 + 4h^2 u'^2. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (58)$$

Тогда мы будемъ имѣть рядъ уравненій вида

$$a\xi + b\eta = m \dots \dots \dots (59)$$

Рѣшая эту систему уравненій по способу наименьшихъ квадратовъ, мы найдемъ вѣроятнѣйшее значеніе величины  $\eta$ , а слѣдовательно и  $z_m$ . Одновременно мы получимъ критерій для сужденія о величинѣ средней ошибки полученнаго результата.

Примѣненіе этого приѣма предполагаетъ, однако, что поправка  $\xi$  дѣй-

1)  $2y_m$  непосредственно измѣряемая величина.

ствительно очень мала. При нѣсколькихъ большихъ значеніяхъ  $\xi$ , слѣдовало бы въ сущности принять еще во вниманіе членъ, содержащій  $\xi^2$  и итти тогда послѣдовательными приближеніями, то при моихъ наблюденіяхъ погоня за такою точностью представлялась излишней, такъ какъ нагрузка Дизеля во время наблюденій не оставалась настолько постоянной, чтобы можно было рассчитывать, принимая во вниманіе поправку на членъ, содержащій  $\xi^2$ , значительно улучшить результатъ вычисленій. Условіе постоянства хода мотора Дизеля представляетъ, однако, важное условіе надежности подобнаго рода опредѣленій, такъ какъ всякое измѣненіе нагрузки сказывается тотчасъ-же на соответствующей величинѣ  $y_m$ .

Дѣйствительно, наблюдая однажды въ помѣщеніи Николаевской Морской Академіи запись прибора, которая шла совершенно правильно, я замѣтилъ, что амплитуда  $y_m$  сразу рѣзко измѣнилась. Соответствующій моментъ былъ замѣченъ.

Впослѣдствіи оказалось, что въ это время вспомогательная машина на электрической станціи была выключена и вся нагрузка перешла на моторъ Дизеля.

Такимъ образомъ, такая, настроенная приблизительно въ резонансъ пружина даетъ возможность слѣдить издалека за ходомъ двигателя и въ этомъ отношеніи этотъ въ сущности довольно примитивный приборъ обладаетъ большою чувствительностью. Этотъ-же примѣръ наглядно показываетъ, какъ важно, чтобы при производствѣ самихъ наблюденій нагрузка мотора оставалась по возможности постоянной.

Для обработки наблюденій можно рекомендовать еще третій приемъ.

По окончаніи наблюденій, не трогая вовсе зажимныхъ винтовъ пружины, можно послѣ остановки Дизеля, хотя бы на другое утро, непосредственно опредѣлить собственный періодъ пружины при тѣхъ положеніяхъ груза  $M_1$ , при которыхъ снимались кривыя. Тогда не надо вовсе вводить никакихъ поправокъ  $\xi$ .

Этотъ приемъ представляетъ, однако, то существенное неудобство, что онъ очень растягиваетъ время производства наблюденій, такъ какъ тогда нельзя въ одинъ и тотъ-же вечеръ съ однимъ и тѣмъ же приборомъ изслѣдовать и вертикальныя, и горизонтальныя колебанія зданія.

При обработкѣ своихъ наблюденій я пользовался только первымъ и вторымъ приемомъ.

Передъ тѣмъ, чтобы перейти къ описанію результатовъ моихъ различныхъ наблюденій надъ колебаніемъ зданій, приведу по одному примѣру обработки наблюденій по первому и второму способу, такъ какъ въ дальнѣйшемъ я буду давать только окончательные средніе выводы для  $z_m$ .

1-ый способъ.

Горизонтальныя колебанія въ верхнемъ этажѣ служительскаго флигеля перпендикулярно длинному фасаду зданія.

Электромагнитъ былъ поставленъ, но цѣпь оставалась все время разомкнутой ( $i = 0$ ). Соответствующія значенія  $h$  заимствованы изъ ранѣе приведенныхъ данныхъ для этого случая.

Данныя.

$d_1$	40,0	42,0	43,0	41,5	41,8
$i$	0	0	0	0	0
$T_p$	0,1158	0,1155	0,1162	0,1157	0,1156
$2y_m$	0,69 $\frac{\mu}{\text{м}}$	2,89	0,73	2,93	4,13
$T'$	0,1178	0,1153	0,1142	0,1159	0,1156
$\sigma$	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
$h$	0,00347	0,00386	0,00405	0,00376	0,00382

По значеніямъ этихъ величинъ для первыхъ двухъ случаевъ  $d=40,0$  и  $d=42,0$  получается изъ уравненій (56), исключеніемъ  $z_m$ , съ достаточной точностью

$$\xi = -0,00004.$$

Съ этимъ значеніемъ  $\xi$ , получаются слѣдующія величины для  $z_m$ , которыя я буду впредь всегда выражать въ микронахъ ( $\mu$ ), т. е. въ тысячныхъ доляхъ миллиметра.

$d_1$	$z_m$	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Въ среднемъ } z_m = 5,0^\mu \\ \text{Ср. } T_p = 0,1158. \end{array}$
40,0	4,5 $\mu$	
42,0	4,9	
43,0	5,2	
41,5	4,5	
41,8	6,1	

Ошибка средняго  $z_m$  не превышаетъ нѣсколькихъ долей  $\mu$ .

II-ой способ.

Вертикальные колебания въ верхнемъ этажѣ служительскаго флигеля.  
Электромагнитъ поставленъ.

Данныя.

$d_1$	45,7	45,7	45,7	46,0	45,0	47,0	47,0
$i$	0,5 амп.	1,0	0	0,5	0,5	0,5	0
$T_p$	0,1169	0,1163	0,1160	0,1158	0,1160	0,1160	0,1156
$2y_m$	5,77 <sup>м/х</sup>	2,05	12,12	5,15	4,65	4,25	7,95
$T'$	0,1151	0,1151	0,1151	0,1148	0,1158	0,1140	0,1140
$\sigma$	2,55	2,55	2,55	2,54	2,56	2,52	2,52
$h$	0,0134	0,0323	0,00469	0,0133	0,0135	0,0132	0,00478

На основаніи этихъ данныхъ получаются слѣдующія значенія постоянныхъ  $a$ ,  $b$ , и  $m$  (см. формулы (58)).

$d_1$	45,7	45,7	45,7	46,0	45,0	47,0	47,0
$a$	1,1413	0,8171	0,5549	0,6335	0,1324	1,2999	1,0229
$b$	0,1953	1,5473	0,04427	0,2432	0,3031	0,3516	0,1005
$m$	0,0017318	0,0046990	0,0003353	0,0010269	0,0007435	0,0019769	0,0008949

Рѣшая систему уравненій вида

$$a\xi + b\eta = m \dots \dots \dots (59)$$

по способу наименьшихъ квадратовъ, получается

$$\xi = + 0,0008$$

и

$$z_m = 25,5^{м1},$$

со средней ошибкой

$$\varepsilon_{z_m} = \pm 0,77^{м},$$

что составляетъ, примѣрно, 3% отъ опредѣляемой величины  $z_m$ .

При этомъ среднее значеніе  $T_p = 0,1161$ .

<sup>1)</sup> См. формулу (57).

Эти примѣры наглядно показываютъ, что данный весьма грубый и простой приборъ обладаетъ всетаки весьма большой чувствительностью и можетъ для малыхъ періодовъ колебаній вполне замѣнить собой любой чувствительный сейсмографъ, такъ какъ онъ даетъ возможность опредѣлять абсолютныя величины смѣщеній  $z_m$  съ совершенно достаточной точностью.

Если во время производства наблюденій нагрузка мотора сохраняется достаточно постоянной, то средняя ошибка результата не должна превышать нѣсколькихъ долей  $\mu$ .

Въ этомъ отношеніи можно считать, что описанный здѣсь приборъ вполне оправдалъ свое назначеніе.

Перейду теперь къ изложенію результатовъ самихъ наблюденій, причемъ я буду всегда давать только окончательныя среднія величины  $T_p$  и  $z_m$ , а также и величину наибольшаго ускоренія

$$\omega = \left(\frac{2\pi}{T_p}\right)^2 \cdot z_m \dots \dots \dots (60)$$

Единицей ускоренія въ абсолютной системѣ единицъ будетъ ускореніе въ 1 сант. въ секунду.

Этой единицѣ присвоено названіе Gal (отъ слова Галилей). Въ сейсмологіи принято выражать ускоренія въ тысячныхъ доляхъ Gal'a, т. е. въ Milli-Gal'ахъ (M. G.). Въ этихъ единицахъ я и буду давать величины  $\omega$ .

*Служительскій флигель.*

Верхній этажъ.

Колебанія.	$T_p$	$z_m$	$\omega$	
Вертикальныя .....	0,1161	25,5 <sup>м</sup>	7469 M. G.	
Горизонтальныя {	⊥ длинному фасаду ..	0,1158	5,0	1472 » »
		» » ..	0,1160	2,3

У уровня почвы.

(примѣрно въ разстояніи 14,5 м. отъ мотора Дизеля).

Вертикальныя	0,1194	5,6 <sup>м</sup>	1551 M. G.
--------------	--------	------------------	------------

Эти числа показываютъ первымъ дѣломъ, что періодъ колебаній зданія дѣйствительно соотвѣтствуетъ періоду сотрясеній отъ мотора Дизеля, какъ то и слѣдовало ожидать по теоріи и что подтвердилось на опытахъ съ подвижной платформой.

Дѣйствительно, валъ мотора Дизеля общей мощности, примѣрно, въ 200 силъ, въ зависимости отъ нагрузки, дѣлаетъ отъ 247 до 260 оборотовъ въ минуту. На этотъ валъ дѣйствуютъ послѣдовательно одинъ за другимъ четыре мотора Дизеля, но, такъ какъ каждый моторъ Дизеля четырехъ-тактный, то число ударовъ въ минуту будетъ вдвое больше. Отсюда слѣдуетъ, что періодъ сотрясеній  $\tau$  отъ мотора Дизеля долженъ заключаться въ предѣлахъ между

$$\tau = \frac{60}{2.247} = 0;121 \quad \text{и} \quad \tau = \frac{60}{2.260} = 0;115.$$

И дѣйствительно, при всѣхъ моихъ наблюденіяхъ, не только въ служительскомъ флигелѣ, но и въ другихъ мѣстахъ, я всегда получалъ для  $T_p$  величины, заключающіяся между этими предѣлами.

Такимъ образомъ періодъ колебаній зданій дѣйствительно совпадаетъ съ періодомъ мотора.

Далѣе видно, что вертикальныя сотрясенія, по крайней мѣрѣ въ болѣе близкомъ сосѣдствѣ съ моторомъ Дизеля, имѣютъ преобладающее значеніе, но и горизонтальныя смѣщенія также существуютъ, причемъ зданіе раскачивается болѣе значительно въ направленіи перпендикулярномъ длинному своему фасаду.

Любопытно, что абсолютная величина  $z_m$  даже для вертикальныхъ колебаній оказалась въ сущности весьма малой, всего только около  $2\frac{1}{2}$  сотыхъ миллиметра.

Судя по интенсивности ощущаемыхъ въ верхнемъ этажѣ служительскаго флигеля сотрясеній, дѣлающихъ условія жизни въ этомъ флигелѣ весьма тяжелыми, я ожидалъ получить гораздо бѣльшую величину для абсолютнаго смѣщенія  $z_m$ , и съ перваго взгляда можетъ показаться даже страннымъ, какимъ образомъ такія ничтожныя абсолютныя смѣщенія могутъ вызвать такія энергичныя сотрясенія и дѣйствовать разрушительнымъ образомъ на зданіе. Такое разрушительное дѣйствіе, однако, несомнѣнно существуетъ, такъ какъ, послѣ установки мотора Дизеля, въ зданіи именно и появились очень значительныя трещины.

Это кажущееся противорѣчіе разъясняется, однако, очень просто, если мы примемъ во вниманіе малость самого періода сотрясеній. Благодаря малости  $T_p$ , несмотря на то, что абсолютная величина  $z_m$  и очень мала, сотрясенія отъ мотора Дизеля очень энергично ощущаются.

Это станетъ особенно понятнымъ, если мы отъ абсолютной величины  $z_m$ , перейдемъ къ разсмотрѣнію производимому этими сотрясеніями ускоренію  $\omega$ , что и служитъ главнымъ образомъ мѣриломъ дѣйствія мотора.

Это ускореніе для верхняго этажа служительскаго флигеля оказалось равнымъ 7469 М. G., что представляетъ собою уже весьма значительную

величину. И такъ, даже при малыхъ величинахъ  $\varepsilon_m$ , если только моторъ работаетъ быстро,  $\omega$  можетъ достигнуть очень значительныхъ величинъ.

Чтобы составить себѣ приблизительное представленіе о томъ, что представляетъ собою ускореніе примѣрно въ 7500 М. Г., возьму примѣръ изъ недавняго страшнаго Мессинскаго землетрясенія 15/28 Декабря 1908 года.

По указаніямъ профессора Богдановича, посѣтившаго Мессину вскорѣ послѣ катастрофы, на набережной виденъ слѣдъ сейсмической волны, высоту гребня котораго онъ опредѣляетъ примѣрно въ 4 вершка, т. е. въ 178  $\frac{1}{x}$ . Относя это смѣщеніе къ первому главному maximum'у, для котораго  $T_p$  по Пулковской сейсмограммѣ опредѣляется въ 16,6, получится для соотвѣтствующей величины  $\omega$  — 2550 М. Г.

Этимъ примѣромъ я отнюдь не желаю проводить какую-либо аналогію между обоими явленіями; мнѣ важно было только иллюстрировать на примѣрѣ, заимствованномъ изъ практики, какое огромное значеніе имѣетъ величина самого періода сотрясеній  $T_p$ . Въ сейсмологіи давно извѣстно, что короткія сейсмическія волны съ малыми  $T_p$  являются самыми опасными и разрушительными.

Возвращаясь къ мотору Дизеля, можно сказать, что дѣйствіе его на зданіе можно уподобить ряду вертикальныхъ ударовъ на почву подъ фундаментомъ, причѣмъ число такихъ ударовъ  $N$  въ секунду можетъ при малыхъ величинахъ  $T_p$  быть довольно значительнымъ.

Въ нашемъ частномъ случаѣ

$$N = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{0,116} = 8,62.$$

Мы можемъ здѣсь провести полную аналогію съ дѣйствіемъ копра при вколачиваніи свай, гдѣ, подъ вліяніемъ каждаго удара, свая немного поддается въ грунтъ. Здѣсь только удары слѣдуютъ чрезвычайно быстро одинъ за другимъ.

Попытаемся оцѣнить силу каждаго такого удара, относя эту силу къ единицѣ поверхности въ 1 квадратный метръ.

Высота пола верхняго этажа служительскаго флигеля надъ уровнемъ почвы составляла 7,3 метра. Положивъ еще приблизительно 5,2 метра на высоту стѣнъ верхняго этажа и на глубину фундамента, можно принять всю высоту стѣнъ  $H$  въ 12,5 метра.

Предполагая, что вся эта высота состоитъ изъ кирпичной кладки и принимая, на основаніи специально произведеннаго опредѣленія, удѣльный вѣсъ кирпича равнымъ 1,93, нормальное давленіе  $P_0$  на 1 квадратный

метръ почвы подъ фундаментомъ будетъ равенъ

$$P_0 = 10000 \times 1250 \cdot 1,93 = 24125000 \text{ гр.} = 24125 \text{ килгр.}$$

Мы видѣли раньше, что на высотѣ 7,3 м. надъ почвой величина наибольшаго вертикальнаго смѣщенія  $z_m = 25,5^m$ , а у уровня почвы  $z_m = 5,6^m$ . Такъ какъ высоту всего зданія  $H$  мы приняли равнымъ 12,5 м., то среднее значеніе  $z_m$  для всей высоты стѣнъ можно принять, считая глубину фундамента въ 2 метра, приблизительно равнымъ 17,3<sup>м</sup>.

Этой величинѣ  $z_m = 17,3^m$  при  $T_p = 0,1161$  соответствуетъ ускореніе

$$\omega = 5067 \text{ M. G.}$$

Отношеніе этого  $\omega$  къ ускоренію силы тяжести въ Петербургѣ  $g = 981,85 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}^2}$  будетъ

$$\frac{\omega}{g} = 0,00516.$$

Это отношеніе и служить характернымъ мѣриломъ силы удара. Оно показываетъ намъ, что въ теченіе одного полнаго колебанія все зданіе становится на такую то долю общаго своего вѣса то легче, то тяжелѣе.

Такимъ образомъ силу вертикальнаго удара на 1 квадратный метръ  $P$  можно положить равнымъ

$$P = 2P_0 \frac{\omega}{g},$$

что составитъ

$$P = 249 \text{ килограммъ.}$$

Такова сила удара, вызываемаго работой мотора Дизеля на 1 кв. метръ.

Сама по себѣ величина эта и не особенно значительна, но, если принять во вниманіе, что въ одну секунду число такихъ ударовъ свыше 8 и что это дѣйствіе продолжается въ темное время года изо дня въ день и въ каждый день нѣсколько часовъ подрядъ, то легко себѣ представить, что при слабой подпочвѣ, особенно при болотистомъ грунтѣ, фундаментъ зданія, подъ дѣйствіемъ такихъ непрерывно слѣдующихъ одинъ за другимъ частыхъ ударовъ, можетъ дать неравномѣрную осадку и вызвать въ стѣнахъ значительныя трещины.

Дѣло инженеровъ-строителей разобраться въ вопросѣ, насколько такія трещины грозятъ опасностью самому зданію и какія мѣры возможно принять къ огражденію зданія отъ разрушенія; моя-же задача заключалась лишь въ томъ, чтобы освѣтить вопросъ только съ чисто физической точки

зрѣнія и дать числовыя данныя, характеризующія дѣйствіе мотора Дизеля на зданіе. Казалось бы, однако, что проложеніемъ длинныхъ продольныхъ рельсовъ надъ фундаментомъ, способствующихъ болѣе равномерному распределенію вертикальныхъ ударовъ на большую поверхность, возможно въ нѣкоторой степени парализовать вредное дѣйствіе вертикальныхъ сотрясеній, вызываемыхъ работой мотора Дизеля.

Результатомъ этого изслѣдованія явилось то, что администрація Морского Корпуса по совѣщанію съ техническимъ персоналомъ рѣшило всѣхъ жителей служительскаго флигеля выселить и само зданіе разобрать, что въ настоящее время уже исполнено.

Горизонтальныя колебанія, какъ видно, не особенно значительны и они по всей вѣроятности не представляли для прочности зданія большой опасности.

Перейду теперь къ изслѣдованію колебаній около самого мотора Дизеля.

Для этой цѣли вышеописанный приборъ былъ установленъ въ помѣщеніи электрической станціи около середины вала мотора Дизеля въ разстояніи 2,2 метра отъ вала и по направленію перпендикулярному къ оси вала.

Наблюденія дали слѣдующіе результаты.

*Около мотора Дизеля.*

Колебанія.	$T_p$	$z_m$	$\omega$	
Вертикальныя . . . . .	0,1168	22,7 <sup>m</sup>	6569 М. Г.	
Горизонтальныя {	⊥ оси вала . .	0,1163	3,4	992 » »
		» » . .	0,1156	2,4

И здѣсь вертикальныя колебанія значительно больше горизонтальныхъ, причемъ вертикальныя колебанія около мотора Дизеля оказались такого-же порядка, какъ въ верхнемъ этажѣ служительскаго флигеля, отстоящаго въ горизонтальномъ направленіи въ разстояніи 14,5 м. отъ мотора, тогда какъ въ нижнемъ этажѣ этого зданія вертикальныя колебанія, какъ мы видѣли раньше, значительно меньше.

Это показываетъ намъ, что интенсивность вертикальныхъ сотрясеній больше въ верхнихъ этажахъ зданія и что въ такихъ этажахъ  $z_m$ , даже въ извѣстномъ разстояніи отъ двигателя, можетъ быть столь же велико, какъ въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ валомъ машины.

Наблюденія въ верхнихъ этажахъ въ сущности нѣсколько усложняются тѣмъ обстоятельствомъ, что мы такимъ образомъ изслѣдуемъ, собственно

говоря, не колебанія самихъ стѣнъ зданія, а только пола, на которомъ приборъ установленъ, причемъ эти послѣднія колебанія могутъ въ свою очередь нѣсколько зависѣть отъ упругости балокъ и пр., дѣйствіе которыхъ можно до извѣстной степени уподобить дѣйствию упругой подушки. Съ этимъ обстоятельствомъ я, однако, при предыдущемъ выводѣ силы удара  $P$  не считался, въ виду крайней трудности сколько нибудь надежнымъ образомъ учесть вліяніе балокъ на интенсивность наблюдаемыхъ колебаній, а принималъ просто, что наблюденныя абсолютныя смѣщенія  $z_m$  соотвѣтствуютъ дѣйствительно колебаніямъ самихъ стѣнъ. Въ этомъ отношеніи предыдущіе расчеты требовали бы, конечно, нѣкоторой поправки, но на этомъ вопросѣ излишне останавливаться, такъ какъ здѣсь въ сущности важно знать не столько точную, абсолютную величину  $z_m$ , сколько *порядокъ малости* этой величины, а для этой цѣли предыдущіе расчеты можно считать достаточно надежными.

Горизонтальныя колебанія пола около самого мотора Дизеля у уровня почвы также ощущаются, какъ то показываютъ вышеприведенныя числа, но они не особенно значительны, причемъ эти колебанія, повидимому, нѣсколько больше въ направленіи перпендикулярномъ къ оси вала.

Теперь разсмотримъ результаты наблюденій, произведенныхъ въ разныхъ этажахъ новаго зданія Николаевской Морской Академіи.

На слѣдующемъ чертежѣ 8 показано примѣрное расположеніе зданій, въ которыхъ производились наблюденія надъ колебаніями.

$D$  есть помѣщеніе мотора Дизеля,  $O$  — середина его вала.

$A$  —  $B$  представляетъ собою часть зданія Морской Академіи.

$B$  планъ Физической лабораторіи и Компасной комнаты, причемъ сторона  $GH$  равнялась 22,2, а сторона  $HI$  — 8,4 метрамъ. Приборъ устанавливался въ точки  $M_3$  приблизительно посрединѣ этихъ залъ.

$C$  — представляетъ собою коробку лѣстницы, гдѣ также производились наблюденія, причемъ въ пятомъ этажѣ приборъ стоялъ приблизительно противъ середины Компасной комнаты въ  $M_4$ , а въ нижнемъ этажѣ въ  $M_2$ .

Горизонтальное разстояніе  $M_2$  отъ середины вала Дизеля  $O$  равно приблизительно

$$r_2 = OM_2 = 31 \text{ м.}$$

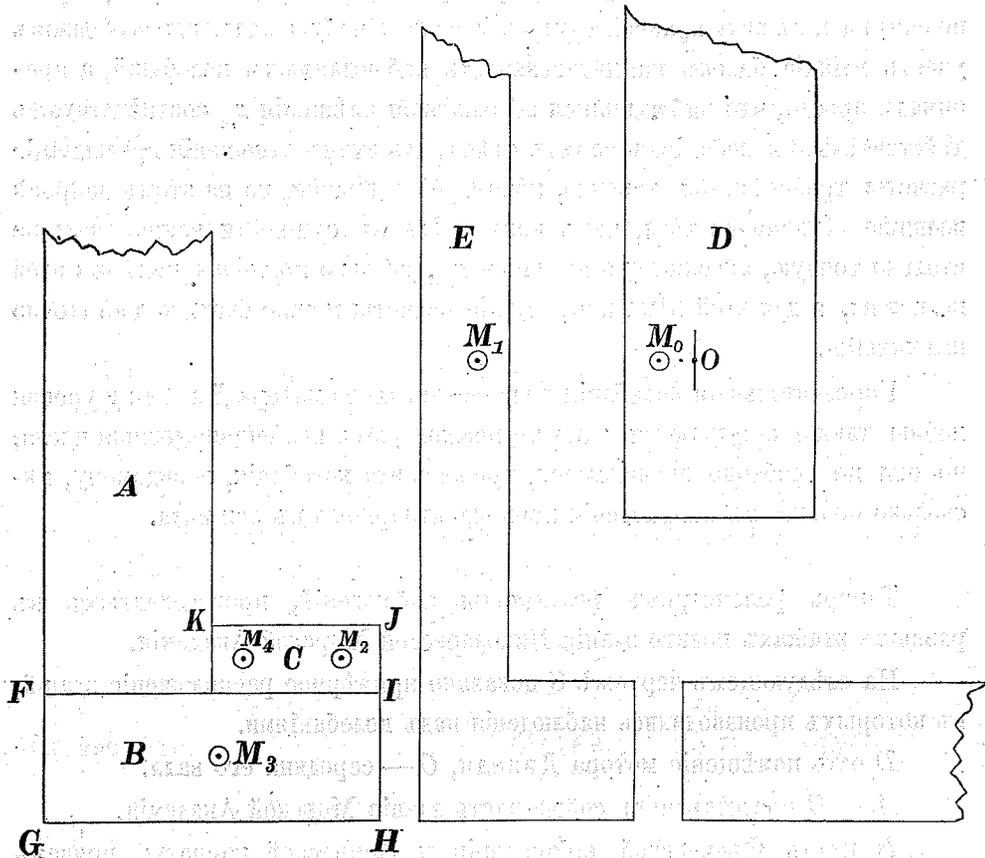
Размѣры коробки лѣстницы слѣдующіе:

$$KJ = 10,9 \text{ м.}$$

$$IJ = 4,2 \text{ »}$$

Въ помѣщеніи мотора Дизеля приборъ стоялъ въ  $M_0$  приблизительно въ разстояніи 2,2 метра отъ середины вала, а въ служительскомъ флигелѣ

Черт. 8.



$E$  въ  $M_1$ , причѣмъ горизонтальное разстояніе  $M_1$  до  $O$  равно приблизительно

$$r_1 = OM_1 = 14,5 \text{ м.}$$

На слѣдующемъ чертежѣ 9 представлено вертикальное расположеніе помѣщеній Морской Академіи, въ которыхъ производились наблюденія.

Приборъ былъ установленъ: 1) въ Физической лабораторіи на высотѣ 12,5 м. надъ уровнемъ почвы, 2) въ Компасной комнатѣ на высотѣ 21,9 м., 3) далѣе въ коробкѣ лѣстницы противъ Компасной комнаты, слѣдовательно на той-же высотѣ и, наконецъ, 4) на нижней площадкѣ лѣстницы на высотѣ 1,8 м. надъ уровнемъ почвы.

Во всѣхъ этихъ точкахъ изслѣдовались, какъ вертикальныя колебанія, такъ и горизонтальныя, причѣмъ горизонтальныя колебанія опредѣлялись,

какъ въ направленіи перпендикулярномъ, такъ и въ направленіи параллельномъ болѣе длинному фасаду зданія  $GH^1$ ).

Приведу теперь окончательные средніе результаты всѣхъ этихъ наблюдений.

Физическая лабораторія.

Колебанія.	$T_p$	$z_m$	$\omega$	
Вертикальныя . . . . .	0,1178	1,3 <sup>м</sup>	366 М. Г.	
Горизонтальныя {	⊥ длинному фасаду . .	0,1178	2,1	590 » »
		» » . .	0,1174	0,3

Компасная комната.

Колебанія.	$T_p$	$z_m$	$\omega$	
Вертикальныя . . . . .	0,1170	2,9—4,1 <sup>м</sup>	838—1173 М. Г.	
Горизонтальныя {	⊥ длинному фасаду . .	0,1170	1,7	503 » »
		» » . .	0,1185	1,1

На лѣстницѣ передъ Компасной комнатой.

Колебанія.	$T_p$	$z_m$	$\omega$	
Вертикальныя . . . . .	0,1176	1,6 <sup>м</sup>	470 М. Г.	
Горизонтальныя {	⊥ длинному фасаду . .	0,1176	2,0	557 » »
		» » . .	0,1177	0,6

На нижней площадкѣ лѣстницы.

Колебанія.	$T_p$	$z_m$	$\omega$	
Вертикальныя . . . . .	0,1180	0,7 <sup>м</sup>	205 М. Г.	
Горизонтальныя {	⊥ длинному фасаду . .	0,1176	0,3	93 » »
		» » . .	—	< 0,05

На основаніи приведеннаго числового матеріала можно прийти къ слѣдующимъ выводамъ и заключеніямъ.

Вертикальныя колебанія значительно меньше, чѣмъ въ служительскомъ флигелѣ.

<sup>1)</sup> Въ служительскомъ флигелѣ  $E$  расположеніе длиннаго фасада перпендикулярно къ  $GH$  и параллельно валу мотора.

По мѣрѣ возвышенія надъ уровнемъ почвы интенсивность вертикальныхъ колебаній возрастаетъ.

На той-же высотѣ въ помѣщеніи коробки лѣстницы вертикальныя колебанія меньше, чѣмъ въ сосѣдней Компасной комнатѣ. Это обстоя-

тельство объясняется, вѣроятно, меньшею площадью коробки лѣстницы по сравненію съ площадью пола Компасной комнаты, а также и ббльшею близостью прибора къ стѣнѣ. Это какъ бы указываетъ на то, что, благодаря упругости балокъ, вертикальныя колебанія посрединѣ комнаты могутъ быть больше, чѣмъ около стѣнѣ, на что я раньше уже обращалъ вниманіе.

Горизонтальныя колебанія въ верхнихъ этажахъ значительно больше, чѣмъ соответственныя колебанія внизу.

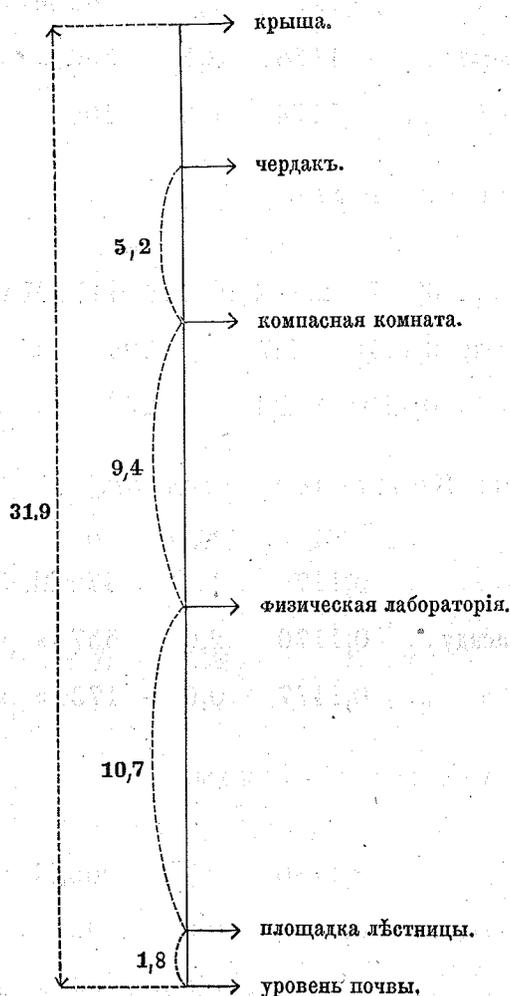
Горизонтальныя колебанія, перпендикулярныя длинному фасаду зданія больше, что объясняется тѣмъ, что въ данномъ направленіи зданіе легче всего раскачивается.

Горизонтальныя колебанія, перпендикулярныя длинному фасаду зданія, въ коробкѣ лѣстницы почти такія-же или даже нѣсколько больше, чѣмъ въ сосѣдней Компасной комнатѣ, а параллельныя длинному фасаду меньше.

Горизонтальныя колебанія, параллельныя длинному фасаду зданія, гораздо меньше въ Физической лабораторіи, чѣмъ двумя этажами выше, въ Компасной комнатѣ. Эта особенность объясняется вѣроятно тѣмъ обстоятельствомъ, что верхніе этажи зданія болѣе реагируютъ на колебанія почвы, чѣмъ нижніе.

Все это указываетъ на то, что индивидуальныя особенности зданія, а

Черт. 9.



также вѣроятно и расположеніе сосѣднихъ построекъ имѣютъ большое вліяніе на интенсивность тѣхъ или иныхъ колебаній.

Горизонтальныя колебанія, перпендикулярныя длинному фасаду зданія, на нижней площадкѣ лѣстницы очень малы, а параллельно длинному фасаду совершенно даже ничтожны.

Тогда какъ въ служительскомъ флигелѣ *E*, находящемся въ ближайшемъ сосѣдствѣ съ моторомъ Дизеля, абсолютныя величины  $z_m$  для вертикальныхъ колебаній значительно больше, чѣмъ для горизонтальныхъ, въ зданіи Морской Академіи интенсивность вертикальныхъ колебаній и горизонтальныхъ, перпендикулярныхъ длинному фасаду зданія, въ разныхъ мѣстахъ наблюденія приблизительно одного и того-же порядка, причемъ въ Физической лабораторіи и на лѣстницѣ передъ Компасной комнатою абсолютная амплитуда горизонтальныхъ смѣщеній даже нѣсколько больше.

Чтобы вывести вліяніе мотора Дизеля на зданіе Морской Академіи, попробуемъ оцѣнить, какъ мы это уже сдѣлали для служительскаго флигеля, интенсивность *P* вертикальныхъ ударовъ на 1 квадратный метръ почвы подѣ фундаментомъ, подѣ вліяніемъ вертикальныхъ колебаній всего зданія. Мы будемъ при этомъ и здѣсь, какъ и раньше, предполагать, что наблюденныя величины  $z_m$  относятся къ самимъ стѣнамъ. На самомъ-же дѣлѣ  $z_m$  для стѣнъ зданія вѣроятно нѣсколько меньше; слѣдовательно опредѣляемая такимъ образомъ величина *P* является въ сущности лишь верхнимъ предѣломъ для искомой силы вертикальнаго удара.

Для этой цѣли примемъ, на основаніи ранѣе приведенныхъ данныхъ, среднее значеніе  $z_m$  при вертикальныхъ колебаніяхъ для всей высоты стѣнъ зданія равнымъ  $2,5^m = 0,0025^m/k$ . Принимая  $T_p = 0,117$ , получимъ

$$\omega = 721 \text{ М. С.}$$

и

$$\frac{\omega}{g} = 0,000734.$$

Принимая высоту стѣнъ съ фундаментомъ равнымъ 29 метрамъ и полагая удѣльный вѣсъ кирпича равнымъ 1,93, получимъ для нормальной нагрузки на 1 кв. метръ

$$P_0 = 55970 \text{ килограммъ.}$$

Искомая сила удара будетъ такимъ образомъ равна

$$P = 2 \frac{\omega}{g} \cdot P_0 = 82 \text{ кил.}$$

Число такихъ ударовъ въ секунду

$$N = \frac{1}{T_p} = 8,55.$$

Абсолютная величина силы удара  $P$  получилась такимъ образомъ въ три раза меньше, чѣмъ въ служительскомъ флигелѣ, но, въ виду того что эти удары слѣдуютъ непрерывно одинъ за другимъ, зданіе Морской Академіи всетаки дало неравномѣрную осадку: появились въ нѣкоторыхъ мѣстахъ трещины и кое-гдѣ балки прогнулись.

Такимъ образомъ оказывается, что и въ сравнительно большомъ удаленіи и даже при весьма малыхъ значеніяхъ абсолютныхъ вертикальных смѣщеній  $s_m$ , моторъ Дизеля, благодаря своему быстрому вращенію, можетъ оказывать разрушительное дѣйствіе на зданія.

Вслѣдствіе всего вышесказаннаго въ настоящее время рѣшено моторъ Дизеля совсѣмъ убрать и замѣнить его на электрической станціи Морского Корпуса турбо-генераторомъ постояннаго тока.

#### § 4.

#### Общіе выводы и заключеніе.

На основаніи всего вышеизложеннаго можно прійти къ слѣдующимъ общимъ выводамъ и заключеніямъ.

Описанный въ настоящей статьѣ приборъ оказался вполне пригоднымъ для изслѣдованія частыхъ, ритмическихъ колебаній зданій, причемъ теорія прибора подтвердилась вполне спеціальными, произведенными съ нимъ наблюденіями.

Приборъ этотъ до извѣстной степени универсальный, такъ какъ при помощи него можно изучать, какъ вертикальныя, такъ и горизонтальныя колебанія, причемъ онъ даетъ возможность получить абсолютную величину смѣщеній  $s_m$ .

При всей своей простотѣ и грубости, приборъ этотъ, при надлежащемъ способѣ пользованіи имъ вблизи резонанса, обладаетъ всетаки большою чувствительностью, такъ какъ опредѣленіе съ нимъ смѣщеній порядка 1-го микрона вполне возможно.

При помощи него можно издали слѣдить за всякими измѣненіями въ нагрузкѣ мотора.

При незначительныхъ абсолютныхъ амплитудахъ колебаній, цѣлесо-

образно, для увеличенія чувствительности записей, вовсе не вводитъ добавочнаго затуханія. Въ этомъ случаѣ требуется, однако, очень точное знаніе собственнаго періода  $T$  колебанія пружины при различныхъ положеніяхъ передвижнаго груза  $M_1$ .

Такъ какъ величина собственнаго періода пружины  $T$  зависитъ нѣсколько отъ способа закрѣпленія пружины, то слѣдуетъ въ этомъ случаѣ вводить поправку на принятую основную величину  $T$ , причемъ эту поправку можно вывести изъ самихъ наблюденій, снимая рядъ кривыхъ при различныхъ положеніяхъ передвижнаго груза  $M_1$  вблизи резонанса.

Условіе успѣшности наблюденій съ этимъ приборомъ обуславливается правильной ритмичностью хода мотора и вызываемымъ этимъ ходомъ колебаніемъ зданія. Всякое измѣненіе нагрузки мотора во время производства наблюденій вредно отражается на точности окончательнаго вывода.

Такъ какъ амплитуда колебаній зданія зависитъ нѣсколько отъ нагрузки мотора, то, для полученія вполне сравнимыхъ данныхъ, слѣдовало бы производить наблюденія всегда при одной и той-же нагрузкѣ, но это требованіе на практикѣ не всегда осуществимо. Въ частности, при моихъ наблюденіяхъ, соответствующая нагрузка динамо-машины при моторѣ Дизеля измѣнялась, примѣрно, въ предѣлахъ отъ 850 до 1000 амперъ; но, такъ какъ это измѣненіе нагрузки не очень значительно, то это обстоятельство не можетъ много повліять на сравнительные выводы и заключенія изъ наблюденій, такъ какъ въ данномъ случаѣ было не столь важно получить по возможности точную величину  $z_m$ , сколько изучить общій характеръ сотрясеній въ различныхъ зданіяхъ и въ различныхъ этажахъ того-же зданія.

Примѣненіе этого прибора на практикѣ къ изученію колебаній зданій подъ вліяніемъ работы мотора Дизеля доказало полную его пригодность для означенной цѣли, причемъ выяснился цѣлый рядъ характерныхъ особенностей этихъ колебаній, перечисленныхъ въ настоящей статьѣ.

Вкратцѣ эти особенности заключаются въ слѣдующемъ.

Дѣйствіе достаточно сильнаго, напр. двухъ-сотъ сильнаго мотора Дизеля на близъ-стоящія зданія можетъ быть очень вреднымъ. Это дѣйствіе можно уподобить ряду весьма частыхъ, вертикальныхъ ударовъ тяжелаго молота, которые, дѣйствуя непрерывно въ теченіе долгаго времени, могутъ вызвать неравномѣрную осадку фундамента и образованіе значительныхъ трещинъ, что на практикѣ и наблюдается.

Въ близкомъ разстояніи отъ мотора Дизеля вертикальныя колебанія имѣютъ преобладающее значеніе. Въ болѣе отдаленныхъ зданіяхъ амплитуды вертикальныхъ и горизонтальныхъ колебаній, уменьшаясь въ абсолютной своей величинѣ, представляются въ общемъ величинами одного и того-же порядка малости.

Въ верхнихъ этажахъ интенсивность вертикальныхъ и горизонтальныхъ колебаній больше, чѣмъ внизу.

Амплитуда горизонтальныхъ колебаній въ направленіи перпендикулярномъ къ длинному фасаду зданія больше, чѣмъ въ направленіи параллельномъ этому фасаду.

Величина амплитуды колебаній въ различныхъ мѣстахъ зависитъ отъ характерныхъ особенностей зданія, а для горизонтальныхъ колебаній, вѣроятно, и отъ расположенія близъ-находящихся строеній.

Вышеописанный приборъ является пригоднымъ не только для изслѣдованія колебаній зданій, но и разныхъ другихъ искусственныхъ сооружений, какъ то мостовыхъ фермъ и пр., при условіи, однако, ритмичности первичной причины, вызвавшей колебанія.

Попробуемъ теперь въ заключеніе вывести изъ этихъ наблюденій практическое правило, въ какомъ именно разстояніи можно при плохой подпочвѣ устанавливать безъ вреда для зданія 200-сильный 4-хъ цилиндровый моторъ Дизеля, дѣлающій около 260 оборотовъ въ минуту. Этотъ выводъ не можетъ, конечно, претендовать на точность, но, при полномъ отсутствіи какихъ либо данныхъ по этому вопросу, даже грубая, примѣрная оцѣнка явленія можетъ быть не бесполезной.

Въ сейсмологіи принимается, что энергія поверхностныхъ сейсмическихъ волнъ убываетъ обратно пропорціонально разстоянію до эпицентра землетрясенія, распространяясь вначалѣ по окружностямъ все бѣльшаго и бѣльшаго радіуса. Независимо отъ этого энергія убываетъ и въ силу неизбежнаго затуханія движенія въ верхнихъ слояхъ земной оболочки.

Такимъ образомъ, обозначая эту энергію въ разстояніи  $r$  отъ очага черезъ  $I$ , черезъ  $a$  коэффициентъ затуханія, а черезъ  $A$  нѣкоторую постоянную, можно положить

$$I = \frac{A}{r} e^{-ar} \dots \dots \dots (61)$$

Въ нашемъ случаѣ источникомъ энергіи колебательнаго движенія почвы, которое затѣмъ передается и разнымъ зданіямъ, является моторъ Дизеля.

Мы можемъ, слѣдовательно, и въ нашемъ случаѣ примѣнить ту-же формулу (61).

Если бы мы пожелали учесть возможное распространеніе энергіи колебательнаго движенія вглубь, то пришлось бы въ предыдущей формулѣ поставить  $r$  въ знаменателѣ въ какой-нибудь степени выше первой, но въ первомъ приближеніи можно отъ такого распространенія энергіи вглубь совершенно отвѣчаться.

Съ другой стороны энергія  $I$  должна быть пропорціональна средней живой силѣ колебаній за одинъ полный періодъ  $T_p$ .

Мы можемъ такимъ образомъ положить

$$I = k \left( \frac{z_m}{T_p} \right)^2, \dots \dots \dots (62)$$

гдѣ  $k$  есть нѣкоторый множитель пропорціональности.

Если намъ извѣстны значенія  $z_{m_1}$  и  $z_{m_2}$  въ двухъ разстояніяхъ  $r_1$  и  $r_2$  отъ мотора Дизеля и соотвѣтствующія значенія  $T_{p_1}$  и  $T_{p_2}$ , то отсюда можно вывести величину коэффициента затуханія  $a$ .

Подставляя выраженіе  $I$  изъ формулы (62) въ формулу (61), будемъ имѣть

$$z_m = \sqrt{\frac{A}{k}} \cdot \frac{T_p}{\sqrt{r}} e^{-\frac{1}{2} ar}$$

или

$$\frac{z_{m_2}}{z_{m_1}} = \frac{T_{p_2}}{T_{p_1}} \cdot \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} e^{-\frac{1}{2} a(r_2 - r_1)} \dots \dots \dots (63)$$

Отсюда получаемъ

$$a = \frac{2 \operatorname{Lg} \left\{ \frac{z_{m_1}}{z_{m_2}} \cdot \frac{T_{p_2}}{T_{p_1}} \cdot \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} \right\}}{(r_2 - r_1) \operatorname{Lg} e} \dots \dots \dots (64)$$

Для вычисленія коэффициента  $a$  воспользуемся наблюденіями надъ вертикальными колебаніями въ служительскомъ флигелѣ внизу и на нижней площадкѣ лѣстницы въ зданіи Морской Академіи<sup>1)</sup>.

На основаніи предыдущихъ данныхъ мы имѣемъ:

$r_1 = 14,5$ м.	$z_{m_1} = 5,6^u$	$T_{p_1} = 0,119$
$r_2 = 31$ »	$z_{m_2} = 0,7$	$T_{p_2} = 0,118.$

Подставляя эти величины въ предыдущую формулу (64), находимъ

$$a = 0,205,$$

причемъ разстоянія  $r$  должны быть выражены въ метрахъ.

$a$  есть коэффициентъ затуханія энергіи поверхностныхъ вертикальныхъ колебаній въ зависимости отъ разстоянія.

<sup>1)</sup> Въ виду возможныхъ неправильностей въ колебаніяхъ въ ближайшемъ сосѣдствѣ съ моторомъ Дизеля, выгоднѣе, для вычисленія  $a$ , брать значенія  $z_m$  не при слишкомъ малыхъ величинахъ  $r$ .

Вспользуемся теперь этой величиной  $a$ , чтобы определить степень быстроты уменьшения  $z_m$  съ разстояніемъ.

Положимъ теперь, что въ предыдущей формулѣ (63)  $z_{m_1}$  представляетъ собою абсолютную амплитуду вертикальныхъ смѣщеній въ разстояніи 1-го метра отъ мотора Дизеля, а  $z_m$  то-же смѣщеніе въ разстояніи  $r$ . Тогда, при равенствѣ періодовъ  $T_{p_1}$  и  $T_{p_2}$ , мы будемъ имѣть

$$\frac{z_m}{z_{m_1}} = e^{-\frac{1}{2} a (r-1)} \dots \dots \dots (65)$$

По этой формулѣ вычислены слѣдующія величины отношенія  $\frac{z_m}{z_{m_1}}$  для разныхъ разстояній  $r$ , приведенныхъ въ слѣдующей таблицѣ VI.

Таблица VI.

$r$	$\frac{z_m}{z_{m_1}}$
25 м.	0,017
50 »	0,0 <sub>3</sub> 93
75 »	0,0 <sub>4</sub> 58
100 »	0,0 <sub>5</sub> 39
125 »	0,0 <sub>6</sub> 27
150 »	0,0 <sub>7</sub> 19

Эта таблица показываетъ, что  $z_m$  очень быстро убываетъ съ разстояніемъ.

Посмотримъ, что будетъ въ разстояніи 75 и 100 метровъ отъ мотора Дизеля.

Принимая для двухъ-сотъ сильного мотора Дизеля  $z_{m_1}$  въ разстояніи 1-го метра равнымъ  $30^{\mu}$ , получимъ

при  $r = 75$  м.  $z_m = 0,0017^{\mu}$   
 »  $r = 100$  »  $z_m = 0,00012^{\mu}$ ,

что при  $T_p = 0,116$  даетъ

при  $r = 75$  м.  $\omega = 0,50$  М. Г.  
 »  $r = 100$  »  $\omega = 0,035$  М. Г.

Это ускорение относится къ уровню почвы.

Въ верхнихъ этажахъ зданія, какъ мы видѣли раньше, вертикальное ускорение можетъ быть примѣрно въ 5 разъ больше.

Такимъ образомъ въ верхнихъ этажахъ зданія, въ разстояніи 75 и 100 метровъ отъ 200-сильнаго 4-хъ цилиндроваго мотора Дизеля нельзя ожидать встрѣтить вертикальныя ускоренія  $\omega$ , превышающія соотвѣтственно 2,5 и 0,2 М. Г.

Такое малое ускорение, даже при быстромъ ходѣ мотора Дизеля, наврядъ-ли можетъ оказаться сколько-нибудь вреднымъ для прочности зданія.

Такимъ образомъ въ разстояніи 75 — 100 метровъ дѣйствіе мотора Дизеля можно признать уже безвреднымъ.

Для сравненія можно здѣсь указать, что при сильныхъ дальнихъ землетрясеніяхъ абсолютная амплитуда смѣщенія почвы можетъ достигнуть  $0,6 \frac{m}{x}$  и даже бѣльшихъ величинъ. Принимая для поверхностныхъ сейсмическихъ волнъ  $T_p = 20^c$ , получится,

при  $z_m = 0,6 \frac{m}{x}$ ,  $\omega = 6 \text{ М. Г.}$

Несмотря на то, что такое ускорение при дальнихъ землетрясеніяхъ превышаетъ ранѣе вычисленныя величины  $\omega$ , такія колебанія почвы тѣмъ не менѣе совершенно безвредны для зданій, такъ какъ они совершаются въ очень медленномъ темпѣ.

Въ заключеніе можно указать на то, что для устраненія вышеуказаннаго, существеннаго недостатка моторовъ Дизеля, а именно разрушительнаго ихъ дѣйствія на близъ-стоящія зданія, фундаменты коихъ заложены на болотистой почвѣ, слѣдовало бы дѣлать эти моторы, при сохраненіи ихъ четырехъ-тактности, многоцилиндровыми, напримѣръ, шестицилиндровыми, располагая цилиндры и соединенія ихъ съ валомъ въ такомъ послѣдовательномъ порядкѣ, чтобы вертикальныя толчки по возможности взаимно уничтожались.

Такой уравновѣшенный моторъ Дизеля не вызоветъ, по всей вѣроятности, и въ близко находящихся зданіяхъ никакихъ вредныхъ и опасныхъ колебаній.

