

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

SOMMAIRE

Livraison I, 1911

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

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

Livraison II, 1911

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

Livraison III, 1912

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

ИМПЕРАТОРСКАЯ АКАДЕМІЯ НАУКЪ.

**ИЗВѢСТІЯ
ПОСТОЯННОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ
КОМИССИИ.**

—
Томъ 4.
—

Выпускъ I.

—

ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES.

COMPTES RENDUS DES SÉANCES

DE

LA COMMISSION SISMIQUE PERMANENTE.

—
Tome 4.
—

Livraison I.

1911
Geophysikalisches Institut
Universität Straßburg

N^o 427

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Institut de
Physique du Globe

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

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

ТИПОГРАФІА ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.

Вас. Остр., 9 лин., № 12.

Оглавление. — Sommaire.

Протоколы засѣданій Постоянной Централь- ной Сейсмической Комиссии:	Стр.	Comptes-rendus des séances de la Com- mission Centrale Sismique Permanente:	Pages.
Засѣданіе 29-го января	I	Séance du 29 janvier	I
Резюме доклада А. А. Полѣ- щукѣ: «Опредѣленіе устойчи- вости зданій въ зависимости отъ колебаній почвы при землетрясеніяхъ»	VIII	Résumé du rapport de Mr. Pole- ščuk: «Détermination de la stabilité des édifices pendant les oscillations du sol durant un tremblement de terre»	VIII
Засѣданіе 30-го января	XIII	Séance du 30 janvier	XIII
Извлеченіе изъ докладной за- писки Директора Иркутской Магнитно-Метеорологической Обсерваторіи А. В. Возне- сенскаго	XIX	Extrait du rapport de Mr. Vozne- sensenskij, directeur de l'obser- vatoire magnétique et météoro- logique d'Irkoutsk	XIX
Докладная записка Директора Тифлисской Физической Об- серваторіи С. В. Гласека	XXII	Rapport de Mr. Glasek, directeur de l'observatoire physique de Tiflis	XXII
Докладъ Г. В. Левицкаго о вто- рокласныхъ сейсмическихъ станціяхъ	XXVII	Rapport de Mr. G. Levickij sur les stations sismiques de deuxi- ème ordre	XXVII
Засѣданіе 5-го марта	XXX	Séance du 5 mars	XXX
Резюме доклада И. И. Вилипа: «О вліяніи воздушныхъ пото- ковъ на чувствительные маят- ники»	XXXVII	Résumé du rapport de Mr. J. Wi- lip: «Sur l'influence des mou- vements de l'air sur les pendu- les sensibles»	XXXVII
Протоколъ засѣданія Подкомис- сии по вопросу объ изслѣдова- ніи интермиттирующихъ ис- точниковъ	XL	Compte-rendu de la séance de la Sous-Commission pour l'étude des sources intermittentes	XL
Копія отношенія Геологическаго Комитета	XLII	Copie de la communication du Comité Géologique	XLII
Засѣданіе 9-го апрѣля	XLIV	Séance du 9 avril	XLIV
Резюме доклада Н. Я. Цингера: «Объ опредѣленіи времени по наблюденіямъ звѣздъ попарно въ одномъ и томъ же альму- кантиратѣ»	XLIX	Resumé du rapport de Mr. N. Cinger: «Sur la détermination de l'heure d'après les observa- tions des différentes paires d'étoiles sur un même almican- tharat	XLIX
Засѣданіе 12-го мая	LVI	Séance du 12 mai	LVI
» 8-го октября	LXIII	» » 8 octobre	LXIII
» 19-го ноября	LXXIV	» » 19 novembre	LXXIV

	Стр.		Pages.
Протоколъ засѣданія Подкомис- сіи по реорганизации сейсми- ческихъ наблюдений въ Россіи LXXXIV		Compte-rendu de la séance de la Sous-Commission pour la réor- ganisation des observations sis- miques en Russie	LXXXIV
Князь Б. Б. Голицынъ. Опредѣленіе коэффициента затуханія горизонталь- наго маятника при сильномъ затуха- ніи.	1	Fürst B. Galitzin. Ueber die Bestim- mung des Dämpfungsverhältnisses stark gedämpfter Horizontalpendel. .	1
И. И. Вилипъ. О ходѣ нѣкоторыхъ контактныхъ часовъ.	23	Mr. J. Wilip. Sur la marche de différentes horloges à contact	23
Князь Б. Б. Голицынъ. Новый аперіо- дическій горизонтальный маятникъ съ гальванометрической регистра- ціей на разстояніи.	30	Fürst B. Galitzin. Ueber ein neues ape- riodisches Horizontalpendel mit galva- nometrischer Fernregistrierung . . .	30

ПРОТОКОЛЫ ЗАСѢДАНІЙ

Постоянной Центральной Сейсмической Комиссии.

Протоколъ засѣданія 29-го января 1910 года.

Подъ предѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Сейсмической Комиссии: А. П. Герасимовъ, князь Б. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, Г. В. Левицкій, А. Я. Орловъ, И. И. Померанцевъ, М. А. Рыкачевъ, Ѡ. Н. Чернышевъ, Ю. М. Шокальскій, Э. В. Штеллингъ, секретарь Комиссии П. М. Никифоровъ и приглашенные на засѣданіе гости: О. О. Баклундъ, П. И. Броуновъ, И. И. Вилиппъ, А. В. Клоссовскій, К. К. Матвѣевъ и А. А. Полѣщукъ.

§ 1.

Прочтенъ и утвержденъ протоколъ предыдущаго засѣданія 22 ноября 1909 г.

§ 2.

Князь Б. Б. Голицынъ сдѣлалъ докладъ: „Объ Исландскомъ землетрясеніи 9/22 I 1910 г.“. Помощью Laufzeitcurven Wiechert-Zöppritz'a для P и S , князь Б. Б. Голицынъ нашелъ разстояніе отъ эпицентра до Пулкова: $s = 2400$ км.

Кромѣ того, князь Б. Б. Голицынъ вычислилъ азимуть α сейсмической радиаци, пользуясь недавно опубликованнымъ имъ способом¹⁾.

Оказалось

$$\alpha = \text{NW} - 49,4.$$

По этимъ даннымъ для s и α можно было опредѣлить географическія координаты эпицентра:

$$\varphi = 68^\circ \text{ N}$$

$$\lambda = 17^\circ \text{ W}.$$

¹⁾ Извѣстія Императорской Академіи Наукъ № 14, (1909).

Такимъ образомъ, положеніе эпицентра было найдено по даннымъ лишь одной Пулковской сейсмической станціи. Эта точка лежитъ нѣсколько къ N отъ остр. Исландіи, вопреки указаніямъ многихъ иностранныхъ станцій, предполагавшихъ эпицентръ лежащимъ или на Кавказѣ или въ Арменіи.

Въ бюллетеняхъ Гамбургской сейсмической станціи за 1910 г. № 2 д-ръ Тамсъ опубликовалъ результаты своихъ вычисленій положенія эпицентра по даннымъ сейсмическихъ станцій въ Югенгеймѣ, Страсбургѣ, Вѣнѣ и Гамбургѣ. Пользуясь способомъ наименьшихъ квадратовъ, Тамсъ нашелъ слѣдующія значенія:

$$\varphi = 70,3 \pm 1,7 \text{ N}$$

$$\lambda = 14,3 \pm 2,2 \text{ W}$$

Это прекрасное согласіе результатовъ данныхъ лишь одной Пулковской станціей съ результатами вычисления наблюдений 4-хъ перво-классныхъ Западноевропейскихъ станцій, вмѣстѣ взятыхъ, свидѣтельствуеетъ о полной возможности вычисления координатъ эпицентра по способу князя Б. В. Голицына изъ записей лишь одной сейсмической станціи, если послѣдняя снабжена подходящими инструментами (аперіодическій маятникъ, гальванометрическая регистрація).

Далѣе, на сейсмограммѣ были измѣрены 14 различныхъ максимумовъ, и по нимъ вычислены истинныя смѣщенія точки земной поверхности для соответствующихъ моментовъ времени, исправленныхъ на запаздываніе приборовъ.

Смѣщенія, вычисленныя отдѣльно по записямъ маятника III и маятника R—P, очень хорошо согласуются между собою.

Наибольшее смѣщеніе равнялось 0,44^m/m, тогда какъ при Мессинскомъ землетрясеніи оно достигло 1,2^m/m.

На сейсмограммѣ ясно были видны также W_2 - и W_3 -волны. Сличая моменты ихъ наступленія, а также амплитуды съ соответственными величинами главнаго максимума, можно было вычислить какъ скорость v распространенія поверхностныхъ волнъ, такъ и коэффициентъ поглощенія a сейсмической энергіи.

Оказалось

	v	a
для W_2	3,3 ^{km./sec.}	0.00029
для W_3	3,5 ^{km./sec.}	0.00027
Среднее	3,4 ^{km./sec.}	0.00028
При Мессинск. землетр.	3,5 ^{km./sec.}	0.00027

§ 3.

Князь Б. В. Голицынъ демонстрировалъ малый пассажный инструментъ, прибрѣтенный имъ для Физической Лабораторіи Императорской Академіи Наукъ отъ фирмы Ванншафъ въ Берлинѣ.

Инструментами подобнаго типа, по мнѣнію князя Б. Б. Голицына, слѣдовало бы снабдить сейсмическія станціи въ цѣляхъ самостоятельнаго опредѣленія времени этими станціями.

Г. Предсѣдатель Комиссіи О. А. Баклундъ предложилъ отправить пассажныи инструментъ для испытанія въ Пулковскую Астрономическую Обсерваторію, на что князь Б. Б. Голицынъ отвѣтилъ полной готовностью.

§ 4.

Князь Б. Б. Голицынъ демонстрировалъ кривую съ ежеминутными отмѣтками времени, снятую съ регистрирующаго аппарата, построеннаго г. Мазингомъ; при этомъ князь Б. Б. Голицынъ обратилъ вниманіе Комиссіи на замѣчательно правильный ходъ аппарата.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 5.

А. П. Герасимовъ сдѣлалъ докладъ по поводу статьи д-ра Ф. Ф. Мольденгауеръ: „Neue Forschungen auf dem Gebiete der Quellenlehre und Erdbebenkunde“, редактированіе которой докладчикъ принялъ на себя, а также по поводу внесеннаго княземъ Б. Б. Голицынымъ на засѣданіи 28 октября 1909 г. предложенія организовать совмѣстно съ Геологическимъ Комитетомъ систематическія изслѣдованія Кавказской группы перемежающихся источниковъ въ связи съ сейсмическими наблюденіями.

А. П. Герасимовъ изложилъ въ краткихъ словахъ содержаніе вышеназванной статьи д-ра Ф. Ф. Мольденгауеръ, который производилъ свои наблюденія надъ Екатерининскимъ источникомъ въ Боржомѣ помощью изобрѣтеннаго имъ же прибора — Quellenbiograph'a.

Сличая запись своего прибора съ записями Тифлисской сейсмической станціи, д-ръ Мольденгауеръ подмѣтилъ, что моменты нарушенія правильной интермиттенціи обыкновенно на 2—4 часа предшествуютъ наступленію сейсмическихъ возмущеній.

По мнѣнію докладчика, выводы д-ра Мольденгауеръ имѣютъ большой научный интересъ, и вышеназванная статья, послѣ нѣкоторыхъ редакціонныхъ сокращеній, можетъ быть напечатана въ „Извѣстіяхъ“ Комиссіи.

Переходя къ вопросу объ организаціи дальнѣйшихъ наблюденій надъ интермиттирующими источниками, А. М. Герасимовъ считаетъ необходимымъ:

- 1) провѣрить выводы д-ра Мольденгауеръ и на другихъ интермиттирующихъ источникахъ;
- 2) необходимо выработать новый типъ самопишущаго прибора для автоматической регистраціи интермиттенціи источниковъ, такъ какъ приборъ д-ра Мольденгауеръ приспособленъ исключительно къ Екатерининскому источнику въ Боржомѣ съ верти-

- кальной скважиной и непригоденъ для изслѣдованія другихъ источниковъ съ горизонтальными и наклонными скважинами;
- 3) необходимо вести одновременно дополнительные наблюденія надъ физико-химическими свойствами источниковъ (радиоактивность, температура, осмотическое давленіе и т. д.);
 - 4) для выполненія указанныхъ въ пунктахъ (1) и (3) наблюденій должно быть приглашено специальное лицо;
 - 5) детальное обсужденіе всѣхъ вопросовъ, связанныхъ съ организаціей наблюденій надъ перемежающимися источниками слѣдуетъ поручить особой Подкомиссіи изъ представителей Сейсмической Комиссіи и Геологическаго Комитета.

По поводу доклада А. П. Герасимова, Г. В. Левицкій замѣтилъ, что въ свѣдѣніяхъ о землетрясеніяхъ, которыя присылаются Сейсмической Комиссіи частными лицами, часто обращается вниманіе на рѣзкое колебаніе уровня воды въ колодцахъ.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ, что Великому Князю Николаю Михайловичу угодно было выразить принципиальное согласіе на постановку наблюденій надъ Боржомскими источниками.

Постановлено:

- 1) напечатать статью Ф. Ф. Мольденгауеръ: „Neue Forschungen auf dem Gebiete der Quellenlehre und Erdbebenkunde“ въ „Извѣстіяхъ Сейсмической Комиссіи“;
- 2) обратиться въ Управление дѣлами Великаго Князя Николая Михайловича съ официальнымъ ходатайствомъ о разрѣшеніи производить наблюденія надъ источниками въ Боржомѣ;
- 3) обратиться къ наследникамъ д-ра Мольденгауеръ съ просьбой предоставить во временное пользованіе Сейсмической Комиссіи приборъ д-ра Мольденгауеръ,
- 4) внесенныя А. П. Герасимовымъ предложенія обсудить на засѣданіи 30 января, назначенномъ для рѣшенія вопросовъ административнаго и хозяйственнаго характера.

§ 6.

А. Я. Орловъ сдѣлалъ докладъ: „Объ опредѣленіи постоянной горизонтальнаго маятника по способу князя Б. Б. Голицына“.

Для опредѣленія угла i между отвѣсной линіей и осью вращенія горизонтальнаго маятника А. Я. Орловъ воспользовался способомъ, предложеннымъ княземъ Б. Б. Голицынымъ въ статьѣ „Zur Methodik der Seismom. Beobacht.“ стр. 65 и слѣд.

Способъ этотъ заключается въ измѣреніи періода колебанія маятника, T , при различныхъ значеніяхъ угла i .

Полагая:

$$i_j - i_1 = \alpha_j$$

и имѣя, кромѣ того, для маятниковъ безъ затуханія, при достаточно

малыхъ амплитудахъ, соотношеніе:

$$\frac{T_1^2}{T_j^2} = \frac{i_j}{i_1},$$

находятъ:

$$i_1 = \frac{\alpha_j}{\frac{T_1^2}{T_j^2} - 1}.$$

Для измѣренія угловъ α_j А. Я. Орловъ предлагаетъ пользоваться установочнымъ винтомъ, шагъ котораго предполагается извѣстнымъ. При своихъ опытахъ докладчикъ раздѣлилъ головку винта на 90 частей; винтъ поворачивался каждый разъ на 20 дѣлений, и при каждомъ положеніи винта опредѣлялся періодъ колебанія маятника. Цѣна одного оборота винта равнялась 459",7, такъ что ось маятника наклонялась каждый разъ на 102",2.

Производя вычисленія для каждого положенія винта, А. Я. Орловъ нашелъ для i_1 слѣдующія значенія:

	111",6
	110",5
	111",2
	111",0
	110",9
Среднее:	111",0

Докладъ А. Я. Орлова будетъ напечатанъ въ „Извѣстіяхъ Сейсмической Комиссіи“ Т. III, вып. 3.

§ 7.

А. Я. Орловъ доложилъ о статьѣ Comas Solá: „Calcul de la profondeur des hypocentres sismiques“, помѣщенной въ Comptes Rendus. 1909. № 12, p. 536 и далѣе.

Всѣ разсужденія ведутся авторомъ въ предположеніи, что очагъ землетрясенія (гипоцентръ) есть точка, и что разстояніе отъ сейсмической станціи до эпицентра не превышаетъ 500 km., такъ что дугу большого круга, заключенную между эпицентромъ и станціей, можно принять за прямую линію, перпендикулярную къ прямой, соединяющей гипоцентръ съ эпицентромъ.

Обозначая черезъ

δ — разстояніе эпицентра отъ станціи по дугѣ большого круга,

p — глубину гипоцентра,

V — скорость распространенія продольныхъ волнъ,

v — скорость распространения поверхностных волн,
 t_1 — момент наступления первой фазы,
 t_3 — момент наступления главной фазы,
 x — кратчайшее расстояние станции отъ гипоцентра, и полагая:

$$x - p = \chi,$$

авторъ приходитъ къ слѣдующимъ двумъ уравненіямъ:

$$(1) \quad \chi = \frac{V}{v} [\delta - (t_3 - t_1) v].$$

$$(2) \quad p = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta^2}{\chi} - \chi \right).$$

V , скорость распространения продольныхъ волнъ, есть величина переменная, функція глубины гипоцентра. Видъ этой функціи теоретически не найденъ и, очевидно, очень сложенъ. Однако, для малыхъ значеній δ и предполагая, что глубина очага вообще очень мала сравнительно съ земнымъ радіусомъ, авторъ считаетъ возможнымъ принять эмпирическую функцію Бенндорфа:

$$V = 5,5 + 0,0206 p.$$

v — величина постоянная, равная $3,4 \text{ km./sec.}$

Исходя изъ этихъ данныхъ, можно написать три слѣдующія уравненія, которыя и рѣшаютъ задачу:

$$(3) \quad \chi = \frac{V}{3,4} [\delta - (t_3 - t_1) 3,4].$$

$$(4) \quad p = \frac{1}{2} \left[\frac{\delta^2}{\chi} - \chi \right].$$

$$(5) \quad V = 5,5 + 0,0206 p.$$

Эту систему уравненій удобнѣе всего рѣшать методомъ послѣдовательныхъ приближеній.

Предполагая, наконецъ, p величиною исчезающей и принимая приближенное значеніе отношенія $\frac{V}{v}$, изъ (3) можно вывести слѣдующую простую формулу для приближенного вычисленія эпицентрального расстоянія въ предѣлахъ 200—1000 km.:

$$\delta = 6,6 [t_3 - t_1].$$

А. Я. Орловъ примѣнилъ формулы Comas Solá къ нѣсколькимъ землетрясеніямъ и въ нѣкоторыхъ случаяхъ получилъ результаты или

невѣроятные или абсурдные; p оказалось равнымъ или нѣсколькимъ тысячамъ километровъ или отрицательной величинѣ.

§ 8.

А. А. Полѣщукъ сдѣлалъ докладъ: „Опредѣленіе устойчивости зданій въ зависимости отъ колебаній почвы при землетрясеніяхъ“.

Резюме этого доклада, составленное авторомъ, напечатано въ приложеніи къ сему протоколу.

*Приложеніе къ § 8 протокола засѣданія Сейсмической Комиссіи
29-го января 1910 года.*

**Резюме доклада А. А. Полѣщука: „Опредѣленіе
устойчивости зданій въ зависимости отъ колебаній
почвы при землетрясеніяхъ“.**

Выводу условій прочности и устойчивости зданій докладчикъ пред-
послалъ описаніе результатовъ нѣсколькихъ произведенныхъ имъ опытовъ
надъ свойствами грунтовъ.

Опытъ 1. На двѣ рва глубиною въ 1 саж. складываютъ 10 столбовъ
изъ кирпича, причемъ въ первомъ содержится 100 кирпичей, а въ каждомъ
изъ послѣдующихъ число ихъ увеличивается на 100; вѣсъ отдѣльнаго кир-
пича 10 фунт., площадь основанія каждаго столба—100 кв. дюйм. Слѣдо-
вательно, для этихъ столбовъ будутъ соотвѣтственно:

число кирпичей.....	100, 200, 300, 400, 500	и т. д.
вѣсъ столба	25, 50, 75, 100, 125 пуд.	и т. д.
давленіе на 1 кв. дюймъ . .	0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 пуд.	и т. д.

Если грунтъ, на которомъ сложены столбы, сжимаемъ (въ данномъ
случаѣ принять суглинокъ), то черезъ 6 мѣсяцевъ оказывается, что углу-
бленіе кирпичей въ грунтъ не пропорціонально величинѣ грузовъ, а возра-
стаетъ быстрѣе ихъ и составляетъ:

0,10; 0,25; 0,45; 1,00; 1,70 дюйм. и т. д.

Возникающій при этомъ вопросъ — какую величину нагрузки нужно
принять за нормальную, допускаемую на грунтъ, чтобы зданіе было устой-
чиво — былъ рѣшенъ еще въ 1881 г. Леманомъ, показавшимъ, что для
устойчивости зданія можно нагрузить сжимаемый грунтъ (глину, сугли-
нокъ, пльвунъ) настолько, чтобы въ 6 мѣсяцевъ углубленіе не превосхо-

дило 25 мм., или 1". Въ данномъ случаѣ такой грузъ будетъ 1 пудъ на 1 кв. д., что и выражаетъ предѣльное допустимое давленіе фундамента на почву. Изъ этого положенія не слѣдуетъ, что превышеніе такой нормы вызываетъ обрушеніе зданія; неустойчивость здѣсь понимается лишь въ смыслѣ возможности появленія трещинъ при значительной разницѣ давленія въ смежныхъ стѣнахъ.

Опытъ 2. Если оставить указанные въ первомъ опытѣ кирпичи во рвѣ еще на 6 мѣсяцевъ, то новое углубленіе окажется вдвое меньшимъ, чѣмъ полученное за первые 6 мѣсяцевъ. Приблизительныя данныя за десятилѣтіе показали, что величину всего углубленія черезъ 10 лѣтъ можно принять равной двойной осадкѣ за первые 6 мѣсяцевъ. Изъ этого опыта мы получаемъ данныя для опредѣленія момента появленія трещинъ въ зданіяхъ и убѣждаемся, что отсутствіе трещинъ въ теченіе первыхъ 6 мѣсяцевъ еще не гарантируетъ отъ ихъ образованія черезъ годъ, два или даже черезъ десятки лѣтъ.

Опытъ 3. Если упомянутый въ 1 опытѣ ровъ заполнить водою, то кирпичи дадутъ значительно большую осадку, и даже тотъ столбъ, въ которомъ давленіе на основаніе ограничивается 0,25 пуда на 1 кв. д., окажется замѣтно углубленнымъ. Наглядный примѣръ подобнаго явленія представляетъ новое зданіе семинаріи въ Одессѣ, въ которомъ разность осадки въ разныхъ мѣстахъ достигала 36 см. и которое дало за нѣсколько лѣтъ 276 трещинъ; но послѣ того, какъ защитили асфальтовой мостовой грунтъ отъ прониканія воды подъ фундаментъ, перестали прямо въ него спускать воду и исправили всѣ водопроводныя и канализаціонныя трубы, осадка прекратилась.

Опытъ 4. Если вырыть ровъ въ 10 разъ глубже, чѣмъ въ 1 опытѣ, то при тѣхъ же условіяхъ нагрузки и качества грунта сопротивленіе получится въ 4—5 разъ больше; иначе говоря, для углубленія на 1" въ этомъ случаѣ нуженъ грузъ не въ 100 пуд., а въ 400 или 500 пуд. Значитъ, чѣмъ глубже фундаментъ, при одинаковой ширинѣ основанія, тѣмъ зданіе устойчивѣе.

Опытъ 5. Если забить въ грунтъ сваи и нагрузить ихъ несимметрично, то зданіе, несмотря на неравномѣрное сжатіе, будетъ вполне устойчиво и или совсѣмъ не дастъ осадки, или она окажется равномѣрною. Такимъ образомъ, свайныя основанія можно разсматривать, какъ несжимаемый грунтъ.

Опытъ 6. У зданія круглаго въ планѣ осадка будетъ равномѣрная и въ томъ случаѣ, когда центръ давленія выходитъ изъ центра тяжести сѣченія, но не болѣе $\frac{1}{4}$ ширины этого сѣченія; значитъ, круглыя въ планѣ зданія значительно устойчивѣе прямоугольныхъ.

Опытъ 7. Если во рвѣ перваго опыта грунтъ будетъ песчаный, то черезъ шесть мѣсяцевъ углубленіе приметъ совершенно иную форму, чѣмъ при суглинкѣ: начиная съ нагрузки въ 2 пуда на 1 кв. д., кривая углубленія обращается въ прямую, причемъ углубленіе остается все время равнымъ 1 дюйму. Это странное на первый взглядъ явленіе объясняется тѣмъ, что песокъ передаетъ давленіе подъ угломъ въ 45° , вслѣдствіе чего давленіе на 1 кв. д. съ глубиной быстро уменьшается. Изъ этого слѣдуетъ, что песчаный грунтъ очень хорошо сопротивляется давленію и въ случаяхъ, когда вода или вѣтеръ не въ состояніи уносить отдѣльныя песчинки, оказывается весьма надежнымъ.

Опытъ 8. Если слой песка менѣе 2 саж., и подъ нимъ идетъ мягкій или сжимаемый грунтъ, напр., илѣстый, торфяной и т. п., то фундаментъ даетъ значительную осадку. Для изслѣдованія причины такого явленія рекомендуется слѣдующій пріемъ. На мягкую глину или иль кладутъ нѣсколько слоевъ песка, окрашенныхъ въ разные тона, а сверху возводятъ столбъ, который съ извѣстнаго момента нагрузки начинаетъ садиться. Когда осадка становится достаточно замѣтной, грузъ снимаютъ, а грунтъ разрѣзываютъ вертикальными плоскостями. Оказывается, что давленіе не передается равномерно, а сосредоточивается по серединѣ; доказать это нетрудно и теоретически. Значитъ, фундаментъ, лежащій на пескѣ, подъ которымъ близко находится сжимаемый грунтъ, какъ бы упирается на двѣ крайнія линіи площади основанія — условіе весьма невыгодное для устойчивости.

Сопоставленіе выводовъ изъ вышеизложенныхъ опытовъ показываетъ, сколь трудно опредѣлить дѣйствительную устойчивость зданія, которая зависитъ отъ многихъ побочныхъ причинъ: грунтовыхъ и атмосферныхъ водъ, вида наслоеній грунта, глубины фундамента и т. д. Во время колебаній почвы отъ землетрясеній или другихъ причинъ устойчивость зданія значительно уменьшается. Если бы грунтъ былъ тѣло упругое, и величины сжатія или растяженія были пропорціональны дѣйствующимъ на нихъ силамъ и ударамъ, то вопросъ о вліяніи землетрясеній на устойчивость зданій разрѣшался бы просто. Къ сожалѣнію, въ большинствѣ случаевъ, грунтъ не только тѣло неупругое, но обыкновенно даже и неоднородное на разныхъ глубинахъ и ширинѣ. Вотъ почему зависимость устойчивости зданій приходится опредѣлять не на основаніи статически или динамически выводимыхъ формулъ, а лишь опытнымъ путемъ, примѣнительно къ условіямъ данной мѣстности.

При этомъ нельзя упускать изъ виду, что всякая осадка фундамента на 25 милл. — величину, установленную Леманомъ, какъ предѣлъ допустимаго для устойчивости зданія углубленія сжимаемаго грунта въ шести-

мѣсячный срокъ подѣ вліяніемъ наибольшей нагрузки, разовьетъ силу, способную разорвать стѣну, независимо отъ высоты и толщины послѣдней и независимо отъ того, произойдетъ-ли такая осадка мгновенно или въ продолженіе извѣстнаго періода. Извѣстное изъ механики упругаго тѣла положеніе, что живая сила пропорціональна квадрату скорости, подтверждается опытомъ и на неупругихъ тѣлахъ; иными словами, если опытомъ дознано, что въ двухъ случаяхъ одинъ ударъ вызываетъ углубленіе почвы на m и n мм., а для полученія единицы уплотненія требуется соотвѣтственно M и N ударовъ, то имѣетъ мѣсто соотношеніе:

$$\frac{M}{N} = \frac{m^2}{n^2}$$

На этомъ основаніи, обозначая черезъ x число колебаній и черезъ a высоту волны, получимъ для случая углубленія фундамента на 25 мм.

$$x = \frac{25^2}{a^2}$$

Такимъ образомъ, вопросъ о количествѣ колебаній для полученія 25 миллиметроваго углубленія сводится къ вопросу объ опредѣленіи высоты волны или, практически говоря, величины вертикальнаго перемѣщенія фундамента при одномъ ударѣ. Если $a = 0,002$ мм., то $x = 156.250.000$; полагая длительность одного колебанія равной 0,1 сек., найдемъ, что такое количество колебаній займетъ 4340 часовъ, или 180 сутокъ непрерывной работы источника, производящаго подобныя колебанія. Если же землетрясеніе вызываетъ вертикальное перемѣщеніе, равное, на примѣръ, 8,33 мм., то трещина появится черезъ $\frac{25^2}{(8,33)^2} = 9$ колебаній, т. е. при тѣхъ же условіяхъ менѣе, чѣмъ черезъ одну минуту.

Изложенные выводы вытекаютъ изъ перваго изъ перечисленныхъ опытовъ; сдѣланные на основаніи ихъ расчеты вполне подтверждаются наблюденіями надъ существующими постройками. Прочіе же опыты показываютъ, какъ надо измѣнить подсчетъ при томъ или иномъ свойствѣ грунта; не имѣя прямого отношенія къ приводимому расчету, зависящему не отъ свойства грунта, а отъ высоты волны колебаній, они служатъ лишь указаніемъ, какой грунтъ лучше или хуже для постройки, и какую нагрузку можно допустить на грунтъ, въ зависимости отъ его состоянія. Общій выводъ изъ сказаннаго — что солидность фундамента имѣетъ громадное значеніе для прочности зданія.

Всѣ предыдущія разсужденія и опыты касались устойчивости зданій въ смыслѣ прочности его частей, выражающейся отсутствіемъ трещинъ; совершенно другой характеръ носитъ устойчивость въ смыслѣ сопроти-

влянія зданія опрокидыванію: трещины появляются отъ вертикальнаго смѣщенія при колебаніи, а зданіе опрокидывается отъ горизонтальнаго смѣщенія подъ вліяніемъ инерціи. Опредѣленіе устойчивости зданія въ последнемъ смыслѣ производится на основаніи выводовъ надъ повѣркой устойчивости старинныхъ построекъ. Эти выводы выражаются нижеслѣдующей эмпирической формулой:

$$h = 2p \sqrt[3]{u},$$

гдѣ h — высота центра тяжести всего сооруженія надъ поверхностью земли, p — горизонтальное разстояніе того же центра отъ ближайшей наиболее слабой наружной грани сооруженія, u — удѣльный вѣсъ сооруженія. Въ обыкновенныхъ зданіяхъ послѣднюю величину можно принять равной 0,5 и потому для нихъ

$$h = 2p \sqrt[3]{0,5}, \quad \text{или} \quad h = 1,58p.$$

Такимъ образомъ для зданія шириной въ 6 саж. ($p = 3$ саж.) $h \leq 4,74$ саж., что соотвѣтствуетъ приблизительно общей высотѣ зданія 10 саж. — условіе справедливое въ случаѣ круглаго зданія, гдѣ всѣ стѣны связаны между собою непосредственно. Обыкновенно же стѣны приходится рассчитывать отдѣльно; принимая удѣльный вѣсъ стѣны съ нагрузкой пола равнымъ 3 и ширину ея равной 1 арш., получаемъ для высоты центра тяжести

$$h = \frac{2 \times 3}{3 \times 2} \sqrt[3]{3} = 1,44 \text{ саж.},$$

т. е. въ три примѣрно раза меньше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ. Это показываетъ на громадное значеніе поперечныхъ стѣнъ, которыхъ въ данномъ случаѣ не предполагалось, и вообще связей, вліяющихъ на сомкнутость сооруженія. Оконныя и дверныя отверстія, уменьшающія эту сомкнутость, а также удѣльный вѣсъ стѣны, остаются всегда вредными какъ для прочности, такъ и для устойчивости.

Протоколъ засѣданія 30-го января 1910 года.

Подъ предсѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссии: А. П. Герасимовъ, князь Б. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, Г. В. Левицкій, А. Я. Орловъ, И. И. Померанцевъ, Ю. М. Шокальскій, Э. В. Штеллингъ и секретарь Комиссии П. М. Никифоровъ.

§ 9.

Доложенъ кассовый отчетъ Комиссии за истекшій 1909 годъ.

На какой предметъ.	Ассигновано.		Израсходовано.		Остатокъ.		Перерасходъ.	
	Руб.	к.	Руб.	к.	Руб.	к.	Руб.	к.
I. На сейсмическія станціи 2-го класса:								
а) содержаніе 11 станцій по 150 р. въ годъ	1650	—	1500	—	150 ¹⁾	—	—	—
б) содержаніе станціи въ г. Вѣрномъ	250	—	75	—	175 ¹⁾	—	—	—
в) обработка сейсмограммъ 12 станцій по 50 р.	600	—	500	—	100 ¹⁾	—	—	—
г) улучшеніе станцій 2-го класса	300	—	317	41	—	—	17	41
II. Расходы по редакціи Сейсмическаго Бюллетеня	900	—	900	—	—	—	—	—
III. На Пулковскую сейсмическую станцію	1400	—	1698	90	—	—	298	90
IV. На опыты князя Б. Б. Голицына	600	—	301	10	298	90 ²⁾	—	—
V. Субсидія Юрьевской станціи	200	—	200	—	—	—	—	—
VI. На опыты А. Я. Орлова	400	—	400	—	—	—	—	—
VII. На путевые расходы иногороднихъ членовъ	300	—	220	—	80	—	—	—
VIII. Жалованье секретарю Комиссии	600	—	600	—	—	—	—	—
IX. Расходы по Канцеляріи	400	—	540	60	—	—	140	60
X. На изданія Комиссии	1400	—	1020	52	379	48	—	—
На переводы денегъ по почтѣ	—	—	28	40	—	—	28	40
					1183	38	485	31
Итого	9000	—	8301	93	698	07	—	—

¹⁾ Станціи въ Пятигорскѣ и Вѣрномъ не функционировали.

²⁾ Осталось неоплаченныхъ счетовъ на опыты кн. Б. Б. Голицына на сумму 248 р. 90 к.

§ 10.

Переходя къ обсужденію вопроса о дальнѣйшемъ существованіи второклассныхъ сейсмическихъ станцій, Комиссія пожелала ознакомиться съ отзывами А. В. Вознесенскаго и С. В. Гласека о состояніи и дѣятельности ввѣренныхъ имъ сейсмическихъ станцій.

Выдержки изъ докладныхъ записокъ, присланныхъ А. В. Вознесенскимъ и С. В. Гласекомъ, напечатаны въ приложеніи къ сему протоколу.

Въ этомъ же приложеніи напечатанъ также отзывъ Г. В. Левицкаго.

Вопросъ о дальнѣйшемъ существованіи сѣти второклассныхъ станцій подвергся продолжительному и серьезному обсужденію.

А. Я. Орловъ и И. И. Померанцевъ настаивали на закрытіи второклассныхъ станцій.

А. Я. Орловъ указывалъ, между прочимъ, что послѣ установки въ Тифлисѣ и Баку приборовъ системы кн. Б. Б. Голицына отпадаетъ необходимость въ Кавказскихъ второклассныхъ станціяхъ, такъ какъ не можетъ быть землетрясеній, которыя были бы отмѣчены исключительно второклассными станціями.

И. И. Померанцевъ обращалъ вниманіе Комиссіи на то, что свѣдѣнія о землетрясеніяхъ со второклассныхъ станцій совершенно не заслуживаютъ довѣрія и не имѣютъ никакого научнаго значенія, такъ какъ большинство наблюдателей очень небрежно относятся къ своему дѣлу.

Э. В. Штеллингъ, Г. В. Левицкій, А. П. Герасимовъ, кн. Б. Б. Голицынъ и г. Предсѣдатель Комиссіи О. А. Баклундъ высказывались за сохраненіе, хотя бы не въ полномъ объемѣ, существующей сѣти второклассныхъ станцій.

Э. В. Штеллингъ замѣтилъ, что Laufzeitcurven не точны для малыхъ эпицентральныхъ разстояній, а потому необходимо сохранить второклассныя станціи, расположенныя въ сейсмическихъ областяхъ, для точнаго опредѣленія моментовъ наступленія землетрясенія въ самомъ эпицентрѣ.

Мнѣніе Г. В. Левицкаго, какъ уже упомянуто, напечатано въ приложеніи къ сему протоколу.

А. П. Герасимовъ указывалъ на важное значеніе второклассныхъ станцій въ дѣлѣ геологическихъ изслѣдованій. Онъ напомнилъ Комиссіи, что А. В. Вознесенскій по записямъ Восточно-сибирской сейсмической сѣти установилъ два самостоятельныхъ сейсмическихъ очага, Селенгинскій и Переемнинскій, въ Байкальскомъ районѣ.

Конечно продуктивность станціи зависитъ отъ болѣе или менѣе удачнаго выбора мѣстности, и такія станціи, какъ Читинская и Красноярская, лежація внѣ сейсмическихъ областей, можно было бы закрыть. Но предложеніе А. В. Вознесенскаго открыть станцію въ Баргузинѣ заслуживаетъ полнаго одобренія, тѣмъ болѣе, что тамъ имѣются интересныя источники.

Что же касается желанія С. В. Гласека имѣть сейсмическую станцію въ сѣверо-западной части Кавказа, въ виду обнаруженныхъ якобы тамъ большихъ залежей нефти, то А. П. Герасимовъ находитъ станцію въ названной части Кавказа совершенно ненужной, такъ какъ, по послѣднимъ изслѣдованіямъ, залежей нефти въ сѣверо-западной части Кавказа не оказалось.

Князь В. В. Голицынъ также находитъ желательнымъ поддерживать существующія станціи, пока не явится возможность поставить ихъ на должную высоту послѣ утвержденія новаго проекта смѣты Сейсмической Комиссіи, уже поступившаго на разсмотрѣніе Законодательныхъ Учрежденій; съ закрытіемъ же существующей сѣти сейсмическихъ станцій придется понапрасну затратить много труда и времени при ихъ возстановленіи.

Г. Предсѣдатель Комиссіи О. А. Баклундъ держится того же мнѣнія и рекомендуетъ, по возможности, сохранить въ текущемъ году status quo, закрывши лишь самыя неудовлетворительныя станціи.

Считая вопросъ достаточно выясненнымъ г. Предсѣдатель Комиссіи ставитъ на баллотировку каждую станцію въ отдѣльности.

Единогласно постановлено *закрѣтъ* сейсмическія станціи въ *Читѣ* и *Красноярскѣ*, съ тѣмъ, чтобы освободившіяся средства были обращены на улучшеніе сохраненныхъ станцій Восточно-сибирской сѣти.

Большинствомъ семи голосовъ противъ двухъ постановлено *сохранить* сейсмическія станціи въ *Боржомѣ*, *Батумѣ*, *Шемахѣ* и *Пятигорскѣ*.

Большинствомъ пяти голосовъ противъ четырехъ постановлено *сохранить* сейсмическія станціи въ *Аджалакахъ* и *Зурнабитѣ*.

Большинствомъ пяти голосовъ противъ четырехъ постановлено *закрѣтъ* сейсмическую станцію въ *Дербентѣ*, съ тѣмъ, чтобы освободившіяся средства были обращены на улучшеніе сохраненныхъ станцій Кавказской сѣти.

А. Я. Орловъ и И. И. Померанцевъ остались при особомъ мнѣніи, настаивая на закрытіи всѣхъ второклассныхъ станцій безъ исключенія.

§ 11.

Г. В. Левицкій доложилъ Комиссіи, что І. І. Сикора на его запросъ о времени закрытія сейсмической станціи въ г. Вѣрномъ отвѣтилъ въ томъ смыслѣ, что онъ, І. І. Сикора, извѣщалъ Э. В. Штеллинга о закрытіи станціи и денегъ на содержаніе ея болѣе не получаетъ.

Отвѣтъ І. І. Сикоры не удовлетворилъ Комиссію, такъ какъ І. І. Сикора извѣстилъ Э. В. Штеллинга о закрытіи станціи лишь въ началѣ 1909 года, тогда какъ въ редакціи „Бюллетеня“ не имѣется свѣдѣній о землетрясеніяхъ съ Вѣрненской сейсмической станціи еще со второй половины 1907 года.

Постановлено предложить І. І. Сикорѣ

- 1) сообщить Комиссіи точныя свѣдѣнія о времени и причинахъ закрытія сейсмической станціи въ г. Вѣрномъ,

- 2) представить отчетъ въ израсходованіи 375 рублей, отпущенныхъ ему, І. І. Сикорѣ, на содержаніе Вѣрненской сейсмической станціи въ теченіе 1908 года и первой четверти 1909 года.

§ 12.

Утверждена смѣта расходовъ Сейсмической Комиссіи на 1910 годъ.

Смѣта Сейсмической Комиссіи на 1910 годъ.

1. На содержаніе второклассныхъ сейсмическихъ станцій ¹⁾	2400 руб.
2. На содержаніе сейсмической станціи въ Пулковѣ ²⁾	1700 „
3. Субсидія на содержаніе сейсм. станціи въ Юрьевѣ	200 „
4. Расходы по редакціи сейсмическаго бюллетеня	900 „
5. На опыты князя Б. Б. Голицына	500 „
6. „ „ А. Я. Орлова	500 „
7. На изданія Комиссіи	1200 „
8. Путевые расходы иногороднихъ членовъ	300 „
9. Жалованье секретарю Комиссіи	600 „
10. На приобрѣтеніе книгъ и выписку газетъ и журналовъ	250 „
11. Расходы по Канцеляріи	300 „
12. Пересылка инструментовъ и изданій	150 „
	<hr/>
	Итого 9000 руб.

1) а. На содержаніе сейсм. станціи въ с. Кабанскомъ	450 руб.
б. На обработку сейсмограммъ сейсм. ст. въ с. Кабанскомъ	150 „
в. На содержаніе 6 сейсм. станцій на Кавказѣ: въ Ахалкалакахъ, Батумѣ, Боржомѣ, Зурнабатѣ, Пятигорскѣ и Шемахѣ	1050 „
г. На обработку сейсмограммъ 6 сейсмич. станцій на Кавказѣ	350 „
д. На содержаніе сейсмической станціи въ Екатеринбургѣ	150 „
е. На обработку сейсмограммъ с. ст. въ Екатеринбургѣ	50 „
ж. На мелкіе расходы по второкласснымъ станціямъ	200 „
	<hr/>
	Итого . . 2400 руб.

2) Смѣта Пулковской Сейсмической Станціи на 1910 г.	
Жалованье завѣдывающему	600 руб.
„ механику при станціи	240 „
Расходы на поѣздки (до 60 разъ въ году)	180 „
Фотографическая бумага	640 „
Мелкіе расходы	40 „
	<hr/>
	Итого . . 1700 руб.

§ 13.

Постановлено покрыть неоплаченные счета за приборы для опытов князя Б. Б. Голицына на сумму 248 р. 90 к. изъ остатковъ отъ смѣты 1909 г.

§ 14.

Остающіяся отъ смѣты 1909 г., за покрытіемъ счетовъ по опытамъ князя Б. Б. Голицына, 449 рублей 17 коп., постановлено, по предложенію князя Б. Б. Голицына, обратитъ на приобрѣтеніе для первоклассной сейсмической станціи въ Тифлисѣ двухъ маятниковъ системы князя Б. Б. Голицына.

Г. В. Левицкій высказалъ при этомъ пожеланіе, чтобы при первой возможности подобными же приборами была снабжена и сейсмическая станція въ Ташкентѣ.

§ 15.

Принято предложеніе А. П. Герасимова поручить разработку всѣхъ вопросовъ, связанныхъ съ организаціей наблюденій надъ интермиттенціей источниковъ особой Подкомиссіи.

Въ составъ Подкомиссіи избраны А. П. Герасимовъ и князь Б. Б. Голицынъ.

§ 16.

А. Я. Орловъ сообщилъ, что, по наведеннымъ имъ справкамъ, механику Шульце въ Юрьевѣ было заказано: 18 тяжелыхъ маятниковъ Цёлльнера, 10 регистрирующихъ аппаратовъ старой конструкціи и 4 регистрирующихъ аппаратовъ новой конструкціи.

Изъ числа этихъ приборовъ 10 маятниковъ и 10 регистрирующихъ аппаратовъ старой конструкціи уже готовы и были сданы Г. В. Левицкому въ разное время.

Остальные маятники и одинъ новый регистрирующій аппаратъ тоже уже готовы. Въ работѣ останутся, такимъ образомъ, лишь 3 регистрирующихъ аппарата новой конструкціи, которые въ скоромъ времени также будутъ готовы.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 17.

Князь Б. Б. Голицынъ предложилъ выписывать для бібліотеки Сейсмической Комиссіи „Beiträge zur Geophysik“ и „Rivista Sismologica“.

Предложеніе принято.

§ 18.

Поручено секретарю Комиссіи П. М. Никифорову запросить С.-Петербургское Телеграфное Агенство, на какихъ условіяхъ оно согласится доставлять Комиссіи телеграфныя свѣдѣнія о землетрясеніяхъ.

§ 19.

Постановлено обратиться въ Министерство Народнаго Просвѣщенія съ просьбой командировать князя Б. Б. Голицына лѣтомъ сего 1910 г. на 2 мѣсяца въ Германію, Италію, Францію и Англію для осмотра западноевропейскихъ сейсмическихъ станцій и установки на нѣкоторыхъ изъ нихъ сейсмометрическихъ приборовъ его, князя Б. Б. Голицына, системы.

Вмѣстѣ съ тѣмъ постановлено ходатайствовать объ ассигнованіи изъ кредита Министерства Народнаго Просвѣщенія 700 руб. на покрытие расходовъ по поѣздкѣ князя Б. Б. Голицына.

§ 20.

Князь Б. Б. Голицынъ доложилъ о письмѣ проф. В. А. Ульянина, въ которомъ послѣдній увѣдомляетъ его, что Императорскій Казанскій Университетъ затрудняется открыть у себя сейсмическую станцію за отсутствіемъ необходимыхъ къ тому денежныхъ средствъ.

Постановлено официальнымъ отношеніемъ подтвердить Казанскому Университету крайнюю желательность имѣть въ Казани сейсмическую станцію.

§ 21.

По предложенію князя Б. Б. Голицына, для полной характеристики состоянія сейсмической сѣти постановлено обратиться ко всемъ русскимъ сейсмическимъ станціямъ за свѣдѣніями о типѣ установленныхъ маятниковъ, способѣ регистраціи, типѣ регистрирующаго аппарата, системѣ контактныхъ часовъ и личномъ составѣ наблюдателей.

§ 22.

Доложено письмо Директора Минералогической и Геологической Лабораторіи въ Греноблѣ, въ которомъ доводится до свѣдѣнія Комиссіи о закрытіи сейсмической станціи въ Греноблѣ, съ просьбой посылать впредь изданія Комиссіи сейсмическимъ обсерваторіямъ въ Марселѣ или Безансонѣ.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 23.

Князь Б. Б. Голицынъ доложилъ о письмѣ, полученномъ имъ отъ д-ра Somville'a (Бельгія), въ которомъ послѣдній увѣдомляетъ объ имѣющей состояться въ 1910 году въ Брюсселѣ международной выставкѣ и обращается къ князю Б. Б. Голицыну съ просьбой прислать на выставку свои приборы или фотографическіе снимки съ нихъ.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ о своемъ намѣреніи отправить въ Брюссель увеличенные снимки со своихъ приборовъ.

*Приложене къ § 10 протокола засѣданія Сейсмической Комиссіи
30-го января 1910 года.*

Извлеченіе изъ докладной записки Директора Иркутской Магнитно-Метеорологической Обсерваторіи А. В. Вознесенскаго.

По поводу возникшихъ въ Сейсмической Комиссіи предположеній о закрытіи нѣкоторыхъ второстепенныхъ сейсмическихъ станцій имѣю честь сообщить слѣдующее. Подъ моимъ руководствомъ въ теченіе почти 6 лѣтъ работаютъ станціи въ Читѣ, Кабанскѣ и Красноярскѣ, снабженныя приборами Боша, и въ теченіе года съ небольшимъ станція въ Маритуѣ, снабженная сейсмографомъ Вихерта съ воздушнымъ затуханіемъ. Всѣ 4 станціи снабжены для самостоятельнаго опредѣленія поправокъ часовъ солнечнымъ кольцомъ.

Состояніе приборовъ на 3-хъ первыхъ станціяхъ весьма печальное. Особенно плохи какъ часовые механизмы движущіе барабаны, такъ и контактные часы. Безъ 5—6 починокъ въ годъ не обходится ни одна станція. Только въ настоящемъ году я получилъ для замѣны контактныхъ часовъ 1 часы Штрассера съ хорошимъ ходомъ, тогда какъ ими надо снабдить всѣ 4 станціи, какъ объ этомъ я много разъ напрасно просилъ Комиссію. Приходится такъ же вотъ уже 3 года ждать снабженія станцій пассажными приборами. При такихъ условіяхъ оборудованія станцій, нѣтъ ничего удивительнаго, что станціи наши работаютъ съ перерывами и съ переменнымъ успѣхомъ.

Много труда посвящается наблюдателями опредѣленію времени, безъ этихъ опредѣленій всѣ наблюденія обезцѣниваются совершенно. Благодаря затрудненіямъ, доставляемымъ этими наблюденіями по временамъ, особенно при смѣнѣ наблюдателей, наблюденія вообще настолько страдали, что приходилось откидывать ихъ за полгода и болѣе. Благодаря недостаткамъ часовыхъ механизмовъ часто приходилось отбрасывать и наблюденія по одному изъ 2-хъ парныхъ приборовъ. Въ общемъ могу сказать, что Кабанская станція дала болѣе 90% годныхъ сейсмограммъ, Красноярская около 50%, Читинская около 40%, Маритуйская около 80%.

Къ мнѣнію нѣкоторыхъ членовъ Комиссіи о необходимости оставить

только наиболее надежныя станціи я вполне присоединяю, такъ какъ много напрасной работы и силъ считаю потраченными на веденіе и обработку записей, совершенно негодныхъ. Считаю только существенно необходимымъ указать на крайне печальное состояніе приборовъ на всѣхъ станціяхъ. По моему мнѣнію, 6—7 лѣтъ работы для приборовъ, особенно часовъ Боша это уже предѣльный срокъ. Дальше дѣло вести такъ нельзя и рѣшительно необходимо оборудовать тѣ станціи, которыя будутъ сочтено полезнымъ оставить, совершенно заново надежными приборами: а) для записи далекихъ землетрясеній, б) для записи мѣстныхъ землетрясеній, в) хорошими контактными часами, г) приборами для опредѣленія времени. Затѣмъ необходимо назначить приличное вознагражденіе наблюдателямъ (отъ 80 до 100 р. ежемѣсячно), тогда только можно требовать отъ нихъ не благотворительнаго, а серьезнаго отношенія къ дѣлу. Наконецъ, необходимо озаботиться и о надлежащемъ помѣщеніи для приборовъ.

По поводу приборовъ я особенно настаиваю на приборахъ для мѣстныхъ землетрясеній, такъ какъ считаю наши приборы высокой чувствительности мало пригодными и не дающими почти ничего для характеристики мѣстныхъ толчковъ. Уже при 5—7 баллахъ записи нашихъ приборовъ выходятъ изъ предѣловъ бумаги, вдобавокъ скорость записи недостаточна для мѣстныхъ толчковъ и, вѣроятно, ее придется увеличить въ 5, если не въ 10 разъ. До сихъ поръ мы можемъ дать много интересныхъ указаній относительно отдаленныхъ землетрясеній, но наши собственныя землетрясенія можемъ изучать не по инструментальнымъ, а лишь по опроснымъ даннымъ. Этотъ существенный пробѣлъ необходимо заполнить.

Въ общемъ я высказываюсь за возможно болѣе полное и обстоятельное оборудованіе небольшого числа надежныхъ станцій съ специальными и подготовленными наблюдателями и думаю, что не будетъ никакого ущерба для науки отъ значительнаго сокращенія нынѣ существующаго (притомъ отчасти на бумагахъ только) числа дешевенькихъ станцій съ наблюдателями, случайно взявшимися за это дѣло, и съ приборами изъ милости помѣщенными въ закоулкахъ различныхъ зданій.

Въ частности, переходя къ Сибирскимъ станціямъ, я склоняюсь къ тому, что ни Читинская станція, ни Красноярская никакого особеннаго значенія не имѣютъ. Часть землетрясеній записана на нихъ правда безукоризненно, но такъ какъ вторая, меньшая часть, записана довольно плохо, съ плохой проверкой времени, то этимъ обезцѣпивается и первая часть, такъ какъ всегда остается нѣкоторое сомнѣніе въ надежности сообщаемыхъ данныхъ. Такимъ образомъ запись обѣихъ этихъ станцій едва ли послужатъ серьезно наукѣ. Обѣ эти станціи притомъ лежатъ внѣ сейсмическихъ центровъ и своихъ мѣстныхъ землетрясеній, не записанныхъ другими станціями, почти не даютъ.

Другое дѣло 2 остальныхъ станціи—Кабанскъ, лежащій между 2 сейсмическихъ очаговъ Селенгинскаго и Переемнинскаго, и Маритуй по другую сторону того же Переемнинскаго очага. Обѣ эти станціи мнѣ кажутся весьма полезными для изученія мѣстныхъ землетрясеній и объ закрытіи ихъ можно говорить только въ томъ случаѣ, если всѣ второстепенныя станціи признано будетъ необходимымъ закрыть. Кстати наблюдатели обѣихъ станціи рѣдко надежныя и исполнительныя лица, прекрасно ведущія порученное имъ дѣло. Въ Маритуѣ построенъ и специальный домикъ для сейсмографа. Меньшая успѣшность работы Маритую, оцѣниваемая мною въ 80%, объясняется исключительно недостатками контактныхъ часовъ Вихертовскаго прибора, которые намъ удалось устранить только лѣтомъ 1909 г.

Я не скажу, конечно, что съ лучшимъ устройствомъ 2-хъ этихъ станціи вполне удовлетворительно можетъ быть рѣшенъ вопросъ объ изслѣдованіи Сибири въ сейсмическомъ отношеніи. Если бы нашлись средства, я особенно настаивалъ бы на устройствѣ 3-хъ новыхъ наблюдательныхъ пунктовъ, а именно на Витимскомъ нагорьѣ къ В. отъ Баргузина, гдѣ имѣется свой очагъ землетрясеній въ области богатой вулканическими породами и громадными тектоническими дислокаціями, затѣмъ на Камчаткѣ и, наконецъ, на Алтаѣ. Тогда, мнѣ кажется, была бы размѣщена серія наблюдательныхъ пунктовъ достаточная, хотя бы на первый разъ, для записи всѣхъ землетрясеній въ громадномъ сейсмическомъ поясѣ, протянувшемся отъ Камчатки черезъ Байкалъ къ Туркестану.

Средствъ, ассигнуемыхъ намъ на это дѣло, недостаточно. Свыше 300 р. тратится ежегодно на уходъ за приборами, болѣе 100 р. на зданіе, около 100 р. на освѣщеніе и отопленіе, 250 р. на бумагу; остающихся 650 р., конечно, недостаточно для оплаты труда лица, сколько-нибудь отвѣтственнаго. За отсутствіемъ такового мнѣ лично приходится брать на себя все руководство этимъ дѣломъ, вникать во всѣ мелочи ухода и отчетности и, само собой разумѣется, что во время моихъ отлучекъ дѣло стоитъ, а иногда и идетъ хуже, чѣмъ должно было бы идти. Назначеніе особаго лица съ большимъ вознагражденіемъ, отъ котораго можно было бы требовать вполне сознательнаго отношенія къ дѣлу—я считаю крайне необходимымъ. Такъ, какъ оно велось до сихъ поръ, можетъ вестись дѣло только временно. Дѣлъ у меня прибавляется, число помощниковъ все то же—нужно подумать объ упроченіи всего этого. Наша станція нуждается также и въ приборахъ болѣе лучшихъ, чѣмъ работающіе. Затуханіе мы пытаемся ввести только на одномъ приборѣ Репсольда, теперь передѣлываемомъ. Остальные 2—Боша и Мильна—отсталые типы, требующіе замѣны. Недостатокъ приборовъ для мѣстныхъ землетрясеній такъ же даетъ себя знать.

*Приложєніє къ § 10 протокола застѣданія Сейсмической Комиссіи
30-го января 1910 года.*

Докладная записка Директора Тифлисской Физической Обсерваторіи С. В. Гласека.

Вслѣдствіе предложенія Комиссіи отъ 2-го декабря 1909 г. за № 3824, Тифлисская Физическая Обсерваторія имѣетъ честь привести ниже слѣдующія свои соображенія относительно Кавказскихъ второклассныхъ сейсмическихъ станцій и мѣрахъ къ возможному улучшенію ихъ дѣятельности.

Расположеніе второклассныхъ сейсмическихъ станцій на Кавказѣ, охватывающихъ его поясомъ со всѣхъ сторонъ, за исключеніемъ Сѣверо-запада, гдѣ до сихъ поръ не удалось организовать сейсмическую станцію, слѣдуетъ признать весьма благопріятнымъ: всѣ станціи находятся вблизи главнѣйшихъ, частью уже извѣстныхъ, частью еще, вѣроятно, совсѣмъ не изслѣдованныхъ эпицентральныхъ областей; послѣднія лежатъ въ недоступныхъ для человѣческаго жилья горныхъ мѣстностяхъ, такъ что часто единственныя свѣдѣнія о происшедшихъ тамъ землетрясеніяхъ можно почерпнуть лишь изъ записей маятниковъ близлежащихъ сейсмическихъ станцій; это обстоятельство пріобрѣтаетъ особенно важное значеніе, если принять во вниманіе, что многія изъ такихъ землетрясеній, вслѣдствіе малой глубины ихъ очага, не отмѣчаются вовсе сейсмографами Тифлисской Обсерваторіи, несмотря на ихъ большую чувствительность, и, такимъ образомъ, можно судить объ эпицентрѣ лишь по разстоянію, опредѣленному на основаніи записи близлежащей сейсмической станціи. Нерѣдко также бываетъ, что въ Обсерваторію поступаютъ свѣдѣнія изъ населенныхъ мѣстъ о землетрясеніи, не отличающіяся, какъ извѣстно, вообще большой благонадежностью, и, въ только-что приведенныхъ случаяхъ, лишь на основаніи сейсмограммъ той

или другой близлежащей станціи можно удостовѣриться, дѣйствительно ли произошло землетрясеніе, или же полученное извѣщеніе есть плодъ воображенія.

Такимъ образомъ, сохраненіе на будущее время нынѣшняго распредѣленія сейсмическихъ станцій представляется весьма цѣлесообразнымъ и нужно приложить всѣ усилія къ тому, чтобы поддержать существующую сѣть ихъ и дополнить ее, гдѣ необходимо новыми станціями; это въ особенности относится къ с.-западной части Кавказа, гдѣ теперь открыты громадныя новыя нефтяныя залежи и начато уже буреніе; здѣсь такимъ образомъ представляется прекрасная возможность установить влияніе на земную кору искусственнаго образованія въ ней огромныхъ пустотъ вслѣдствіе, выкачивания нефти. Между тѣмъ закрытіе, согласно мнѣнію членовъ Комиссіи, большинства станцій неминуемо поведетъ не только къ тому, что о многихъ землетрясеніяхъ совершенно ничего не будетъ извѣстно, но легко даже можетъ случиться, что при повтореніи катастрофальнаго землетрясенія, возможность котораго далеко не исключена, изслѣдователи его останутся, какъ это бывало и раньше, безъ достаточныхъ мало-мальски положительныхъ научныхъ данныхъ о немъ. Нельзя не упомянуть и о томъ, что, вообще, вопросъ относительно характера колебаній и распространенія волнъ вблизи эпицентровъ еще совершенно не разработанъ и представляется поэтому весьма важнымъ накопленіе возможно большаго соотвѣтственнаго матеріала; громадное значеніе имѣетъ подобный матеріалъ и для сейсмической триангуляціи и опредѣленія глубины очага землетрясенія.

На основаніи сказаннаго является необходимымъ сохраненіе дѣйствующихъ сейсмическихъ станцій въ столь благопріятной для такихъ изслѣдованій области, какъ Кавказъ, такъ какъ, безъ сомнѣнія, онѣ въ будущемъ дадутъ еще много весьма цѣннаго матеріала, какъ это было и до сихъ поръ, несмотря на встрѣчающіеся временами въ ихъ дѣятельности недостатки, неизбѣжныя вездѣ и наблюдающіеся также и на заграничныхъ станціяхъ. Для примѣра стоитъ только упомянуть о *Laufzeitcurven* *Wiechert'a* и *Zoerpritz'a*, при проведеніи которыхъ эти ученые въ значительной степени пользовались цѣнными данными, почерпнутыми изъ записей Кавказскихъ второклассныхъ сейсмическихъ станцій; неоднократно и другіе иностранные и русскіе ученые изслѣдователи основывались на данныхъ этихъ станцій, какъ, на примѣръ, *Otogi*, засвидѣтельствовавшій, что результаты, полученные имъ на основаніи записей Кавказскихъ станцій, хорошо согласуются съ результатами записей лучшихъ иностранныхъ станцій, г. *Rosenthal*, указавшій при изслѣдованіи Камчатскихъ землетрясеній, что Кавказскія станціи дали ему наилучшіе результаты, или *Navarro Neumann*, въ самыхъ лестныхъ выраженіяхъ отозвавшійся о значеніи полученныхъ на

этихъ станціяхъ записей, и профессоръ Agapenone, который неоднократно письменно выражалъ свою благодарность, удостовѣряя особую цѣнность подобныхъ данныхъ для предпринятыхъ имъ изслѣдованій. На получение въ особенности цѣннаго матеріала можно рассчитывать съ тѣхъ станцій, которыя въ послѣднее время были снабжены новыми контактными часами, оказавшимися дѣйствительно хорошими, такъ что возможные ошибки во времени, происходившія отъ плохого качества контактныхъ часовъ, теперь ничтожны.

Прилагаемая при семъ сводка, характеризуетъ дѣятельность отдѣльныхъ станцій за послѣдніе 2 года; въ первомъ столбцѣ приведено противъ названія станціи общее число полученныхъ оттуда лентъ съ записями землетрясеній; во 2-мъ столбцѣ указано число вполне удовлетворительныхъ записей и въ скобкахъ процентъ удовлетворительности; въ 3-мъ столбцѣ помѣщено число отчасти удовлетворительныхъ записей, въ большинствѣ случаевъ дающихъ возможность опредѣлить относительное время, вслѣдствіе неполученія на станціи почему-либо сигналовъ времени; наконецъ, 4-й столбецъ заключаетъ въ себѣ числа, указывающія на количество неудовлетворительныхъ сейсмограммъ. Какъ видно изъ этой сводки, удовлетворительность записей колеблется въ довольно широкихъ предѣлахъ; на такой станціи, какъ Боржомъ, гдѣ завѣдываніе ею находится въ рукахъ лица весьма добросовѣстнаго, дѣло идетъ не хуже даже, чѣмъ въ Обсерваторіи, несмотря на то, что онъ не получалъ за свой трудъ никакого вознагражденія; на нѣкоторыхъ другихъ станціяхъ дѣло идетъ также болѣе или менѣе успѣшно, соотвѣтственно имѣющимся условіямъ; на другихъ станціяхъ, гдѣ, обыкновенно временами, дѣло идетъ хуже, это объясняется, въ большинствѣ случаевъ, частой смѣной въ завѣдываніи станціей, требующемъ сравнительно продолжительнаго опыта и сноровки.

На всѣхъ станціяхъ имѣются въ настоящее время или отдѣльныя, специально для нихъ возведенныя зданія, или особо приспособленныя помѣщенія, оборудованіе которыхъ и постепенное приведеніе въ надлежащій видъ сопряжено было съ большой затратой энергіи и стоило немало хлопотъ. Сигнализациа времени изъ Обсерваторіи на станціи также наладилась теперь удовлетворительно, что потребовало долгаго времени, пока наблюдатели станцій и, въ особенности, чины телеграфнаго вѣдомства привыкли къ тому, чтобы регулярно слѣдить за телеграфными аппаратами; поэтому, если, въ случаѣ закрытія теперь станціи, въ будущемъ снова возникнетъ вопросъ объ устройствѣ тамъ же станціи, опять легко можетъ пройти годъ и два, пока дѣло наладится, какъ слѣдуетъ.

На основаніи всѣхъ вышесказанныхъ соображеній, Тифлисская Физическая Обсерваторія приходитъ къ заключенію, что на будущее время

необходимо всѣми мѣрами стремиться къ поддержанію существующей сѣти второклассныхъ сейсмическихъ станцій, идя и дальше тѣмъ же путемъ, какимъ шла Комиссія до сихъ поръ, т. е., сообразно съ имѣющимися средствами, постепенно улучшать постановку дѣла на нихъ; именно, съ одной стороны, представляется необходимымъ замѣнить устарѣвшіе контактные часы, остающіеся еще на нѣкоторыхъ станціяхъ, новыми, а также часовые механизмы, вращающіе барабаны, болѣе усовершенствованными, хотя бы типа Боша, которые при сравнительной своей дешевизнѣ дѣйствуютъ, какъ известно, достаточно удовлетворительно. Не отрицая того, что маятники на станціи по своей конструкціи далеко не совершенны, Тифлисская Обсерваторія полагаетъ, что, вмѣсто того, чтобы закрытіемъ станцій ихъ выбросить, можно было бы выработать на основаніи имѣющагося опыта типъ дешевыхъ передѣлокъ, который позволилъ бы сохранить большинство частей существующихъ аппаратовъ. Желательно, напримѣръ, дать имъ значительно большее увеличеніе (до 40—50), при одновременномъ увеличеніи груза, и примѣнить къ нимъ магнитное или какое-либо другое затуханіе, которое, однако, при достаточномъ собственномъ періодѣ колебанія маятника можно и не считать необходимымъ, поскольку вопросъ идетъ о записяхъ близкихъ землетрясеній; какъ, между прочимъ, на это было указано въ Постоянной Комиссіи при Международной Сейсмической Ассоціаціи, когда выработывались правила для конкурса сейсмографовъ, предназначенныхъ для регистраціи близкихъ землетрясеній. Съ другой стороны необходимо также, по мѣрѣ возможности, озаботиться болѣе правильной и соответствующей дѣлу постановкой завѣдыванія станціями, не полагаясь на одинъ лишь научный интересъ къ дѣлу со стороны наблюдателей; поэтому личный составъ на станціяхъ нужно заинтересовать соответствующимъ образомъ и матеріально, назначеніемъ достаточнаго вознагражденія, которое являлось бы дѣйствительно воспособленіемъ при жалкомъ, обычно, жалованьи, получаемомъ наблюдателемъ, такъ что даже какіе-нибудь дополнительные 10—15 руб. въ мѣсяцъ отстранили бы, хотя на нѣкоторое время, печальную необходимость для такого наблюдателя станціи постоянно помышлять о переводѣ на болѣе сносно оплачиваемую должность; при этомъ самую выдачу вознагражденія необходимо предоставить вполнѣ Обсерваторіи, которая имѣла бы, такимъ образомъ, нравственное право предъявлять къ наблюдателямъ тѣ или другія требованія, а не должна была бы ограничиваться, какъ до сихъ поръ, лишь одними болѣе или менѣе убѣдительными просьбами.

1908 г.

НАЗВАНИЕ СТАНЦІЙ.	Число посту- пившихъ лентъ съ записями землетрясеній.	Число вполне удовлетвори- тельныхъ лентъ.	Число отчасти удовлетвори- тельныхъ лентъ (дающихъ относительныя велич.).	Число совершенно неудовлетвори- тельныхъ лентъ.
Ахалкалаки	73	24 (= 33%)	29 (= 40%)	20 (= 27%)
Боржомъ	79	77 (= 97%)	—	2 (= 3%)
Батумъ	50	30 (= 60%)	14 (= 28%)	6 (= 12%)
Шемаха	54	28 (= 52%)	3 (= 6%)	23 (= 42%)
Дербентъ	63	19 (= 30%)	9 (= 15%)	35 (= 55%)
Зурнабатъ	3	—	3 (= 100%)	—
	322	178 (= 55%)	58 (= 18%)	86 (= 27%)
Тифлисъ	1114	1096 (= 98%)	—	18 (= 2%)
1909 г.				
Ахалкалаки	43	25 (= 58%)	8 (= 19%)	10 (= 23%)
Боржомъ	71	66 (= 93%)	—	5 (= 7%)
Батумъ	62	52 (= 84%)	8 (= 13%)	2 (= 3%)
Шемаха	92	53 (= 58%)	25 (= 27%)	14 (= 15%)
Дербентъ	57	19 (= 33%)	12 (= 20%)	26 (= 46%)
Зурнабатъ	23	—	19 (= 82%)	4 (= 18%)
Пятигорскъ	17	16 (= 94%)	—	1 (= 6%)
	365	231 (= 63%)	72 (= 20%)	62 (= 17%)
Тифлисъ	1166	1144 (= 98%)	4 (= 0%)	18 (= 2%)

*Приложеніе къ § 10 протокола засѣданія Сейсмической Комиссіи
30-го января 1910 года.*

Докладъ Г. В. Левицкаго о второклассныхъ сейсмическихъ станціяхъ.

Цѣлью учрежденія второклассныхъ сейсмическихъ станцій было преимущественно изученіе мѣстныхъ землетрясеній, почему станціи эти устраивались въ сейсмическихъ мѣстностяхъ: на Кавказѣ, въ Восточной Сибири и въ Туркестанскомъ краѣ. Въ этой послѣдней, наиболѣе важной сейсмической области предположеніе объ учрежденіи сейсмическихъ станцій осуществить, однако, не удалось. Сѣтъ Восточно-сибирскихъ станцій также была развита весьма недостаточно, по сравненію съ размѣрами и важностью этого сейсмического района. Предположенія Сейсмической Комиссіи объ устройствѣ станцій во Владивостокѣ, Портъ-Артурѣ и по линіи Восточно-Китайской ж. д. не осуществились, если не ошибаюсь, по случаю войны съ Японіей. Такимъ образомъ, чрезвычайно важная въ сейсмическомъ отношеніи Приморская область на Тихомъ океанѣ русскихъ сейсмическихъ станцій не имѣетъ. Сколько мнѣ извѣстно, не удалось также устроить постоянную сейсмическую станцію на Камчаткѣ. Такимъ образомъ, предложенная сѣтъ второклассныхъ сейсмическихъ станцій осуществлена была не вполнѣ.

Второклассныя станціи снабжены были регистрными аппаратами стараго, весьма несовершеннаго устройства. Также несовершенны были и контактные часы. Но затѣмъ на нѣсколькихъ станціяхъ плохіе Бошевскіе контактные часы были замѣнены сравнительно удовлетворительными часами Бомейера. Далѣе имѣлось въ виду снабжать второклассныя станціи весьма хорошими часами Штрассера и Роде. Къ сожалѣнію, фирма эта чрезвычайно медленно выполняетъ сдѣланный ей заказъ и до сихъ поръ еще поставила не всѣ тѣ часовые механизмы, которые обѣщала сдѣлать.

Такимъ образомъ, приборы, которыми снабжены второклассныя сейсмическія станціи оставляютъ желать лучшаго. Но Сейсмической Комиссіей

предположено усовершенствовать эти приборы, и это предположение частью выполнено по отношенію къ одной изъ Кавказскихъ станцій, снабженной видоизмѣненными кн. Голицынымъ горизонтальными маятниками. Также изготовляются улучшенные регистривные аппараты (одинъ изъ которыхъ готовъ). Поэтому можно ожидать достиженія удовлетворяющаго современнымъ требованіямъ снабженія сейсмическихъ станцій приборами.

Пріисканіе вполне благонадежныхъ завѣдующихъ второклассными сейсмическими станціями оказалось весьма затруднительнымъ. Поэтому дѣятельность нѣкоторыхъ изъ этихъ станцій нельзя считать нормальной. Нерѣдки случаи неполноты или даже отсутствія наблюденій на этихъ станціяхъ, не оправдываемыхъ серьезными причинами. Бывали также случаи небрежнаго обращенія съ инструментами.

По указаннымъ выше обстоятельствамъ, дѣятельность второклассныхъ сейсмическихъ станцій не дала столь значительныхъ результатовъ, какіе ожидались сначала. Если не ошибаюсь, обработка сейсмограммъ этихъ станцій въ дѣляхъ опредѣленія характера сейсмическаго колебанія на мѣстѣ установки приборовъ не производилась, главнымъ образомъ, вслѣдствіе несовершенствъ регистривныхъ аппаратовъ и, отчасти, трудности детальнаго обработокъ такого рода. Возможно, однако, что съ развитіемъ способовъ такой обработки, таковая будетъ выполнена на нѣкоторыхъ, по крайней мѣрѣ, наиболѣе для того пригодныхъ сейсмограммахъ истекшаго періода дѣятельности этихъ станцій.

Затѣмъ, не взирая на несовершенство наблюденій нѣкоторыхъ сейсмическихъ станцій, результаты этихъ наблюденій, напечатанные въ Сейсмическихъ Бюллетеняхъ, представляются весьма любопытными и важными для выясненія рода землетрясенія, отмѣченнаго главной и второстепенными станціями.

На многихъ примѣрахъ въ Бюллетеняхъ, можно видѣть, какъ облегчаютъ наблюденія на второклассныхъ станціяхъ рѣшеніе вопроса о томъ, принадлежало ли отмѣченное на главной станціи землетрясеніе къ числу міровыхъ землетрясеній (Weltbeben) или оно охватывало только значительную область Россійской Имперіи, или, наконецъ, было чисто мѣстнымъ, распространившимся только на данный сейсмическій районъ. Полагаю, что замѣчательныя открытія сдѣланныя въ послѣднее время кн. Голицынымъ, увеличатъ цѣнность второклассныхъ сейсмическихъ станцій даже и въ томъ несовершенномъ видѣ, въ какомъ онѣ находятся, а тѣмъ болѣе, конечно, при ожидаемомъ усовершенствованіи этихъ станцій. Дѣйствительно, только благодаря упомянутымъ открытіямъ оказывается возможнымъ вполне основательное опредѣленіе мѣстонахожденія эпицентровъ міровыхъ землетрясеній.

Въ связи съ этими опредѣленіями наблюденія на второклассныхъ станціяхъ дадутъ возможность надежно опредѣлить границы сейсмическихъ мѣстностей.

Несмотря на многія несовершенства русскихъ сейсмическихъ станцій, полагаю, что наблюденія на нѣкоторыхъ изъ нихъ не уступали, по цѣнности, наблюденіямъ западно-европейскихъ станцій, снабженныхъ маятниками Боша прежней конструкціи.

Р. В. Левицкій.

Протоколь засѣданія 5-го марта 1910 года.

Подъ предѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссии: А. П. Герасимовъ, князь В. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, А. Я. Орловъ, И. И. Померанцевъ, М. А. Рыкачевъ, Ѳ. Н. Чернышевъ, Ю. М. Шокальскій, Э. В. Штеллингъ, секретарь Комиссии П. М. Никифоровъ и приглашенные на засѣданіе гости: О. О. Баклундъ, Ѳ. Ф. Василевскій И. И. Вилингъ, П. А. Земятченскій, Г. А. Керсновскій и К. К. Матвѣевъ.

§ 24.

Прочтенъ и утвержденъ протоколь засѣданія 29 января 1910 года.

§ 25.

Князь В. Б. Голицынъ сдѣлалъ докладъ: „Къ вопросу объ опредѣленіи коэффиціента затуханія горизонтальныхъ маятниковъ“.

Изъ теоріи сейсмографа вытекаетъ, что смѣщеніе точки земной поверхности, x_m , выражается слѣдующей формулой:

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

гдѣ l — приведенная длина маятника,

L — разстояніе пишущаго пера отъ оси вращенія маятника,

$u = \frac{T_p}{T}$, причеиъ T_p — періодъ сейсмич. волны, T — періодъ маятника безъ затуханія,

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

и μ^2 связано съ $\left[v = \frac{y_k}{y_{k+1}} \right]$ слѣдующимъ образомъ:

$$v = e^{\frac{\pi \sqrt{1-\mu^2}}{\mu}}$$

При уменьшении μ^2 отъ 1 до 0, v весьма быстро возрастаетъ отъ 1 до ∞ , и при достаточно маломъ μ^2 уже невозможно опредѣлить изъ опыта v .

Для опредѣленія μ^2 въ подобныхъ случаяхъ князь Б. Б. Голицынъ предложилъ 2 способа.

I способъ. Маятнику дается толчокъ, и на вычерченной кривой измѣряется максимальная амплитуда y_0 и еще двѣ ординаты y_1 и y_2 черезъ равныя промежутки времени τ .

Вводя новую переменную ψ , связанную съ μ^2 соотношеніемъ

$$\mu^2 = \sin^2 \psi,$$

имѣютъ

$$v = e^{\pi \cdot \cotg \psi}.$$

Обозначая

$$y_0 - y_1 = m_1 \quad \text{и} \quad y_0 - y_2 = m_2$$

и полагая

$$n\tau = \alpha, \quad \text{гдѣ} \quad n = \frac{2\pi}{T},$$

получаютъ:

$$\frac{m_1}{m_2} = F(\alpha, \psi),$$

$$F(\alpha, \psi) = \frac{\sin \psi - e^{-\alpha \cos \psi} \cdot \sin [\alpha \sin \psi + \psi]}{\sin \psi - e^{-2\alpha \cos \psi} \cdot \sin [2\alpha \sin \psi + \psi]}.$$

Княземъ Б. Б. Голицынымъ составлены таблицы $F(\alpha, \psi)$ для различныхъ значеній аргумента α , по которымъ, зная $\frac{m_1}{m_2}$, легко найти ψ и μ^2 .

Этотъ способъ удобенъ тѣмъ, что не требуетъ точнаго проведенія нулевой линии.

II способъ. Пусть t_0 обозначаетъ промежутокъ времени, протекшій отъ начала движенія до момента достиженія максимальной амплитуды y_0 . Кромѣ того измѣряются еще другія ординаты на разстояніи t_0 другъ отъ друга и отъ y_0 , напр. y_1, y_2 и y_3 .

Обозначая:

$$\frac{y_1}{y_0} = p_1, \quad \frac{y_2}{y_0} = p_2, \quad \frac{y_3}{y_0} = p_3,$$

имѣютъ:

$$p_1 = \frac{2 \cos \psi}{e^\beta} = f_1(\psi).$$

$$p_2 = \frac{3 - 4 \sin^2 \psi}{e^{2\beta}} = f_2(\psi).$$

$$\beta = \frac{\psi}{\text{tang } \psi}.$$

$$p_3 = \frac{4 \cos \psi (1 - 2 \sin^2 \psi)}{e^{3\beta}} = f_3(\psi).$$

Имѣя изъ опыта p и, тѣмъ самымъ, зная численное значеніе $f(\psi)$, легко найти ψ и μ^2 .

Для быстрого нахождения ψ , княземъ Б. Б. Голицынымъ составлены таблицы $f_1(\psi)$, $f_2(\psi)$ и $f_3(\psi)$.

Этотъ способъ имѣетъ то преимущество, что $f(\psi)$ весьма быстро мѣняется въ зависимости отъ μ^2 , вслѣдствіе чего μ^2 можетъ быть опредѣлено весьма точно, если правильно проведена нулевая линія.

Статья князя Б. Б. Голицына „Къ вопросу объ опредѣленіи коэффиціента затуханія горизонтальныхъ маятниковъ“ будетъ напечатана въ т. IV, вып. 1 „Извѣстій Сейсмической Комиссіи“.

§ 26.

И. И. Вилипъ сдѣлалъ докладъ: „Вліяніе воздушныхъ потоковъ на чувствительные горизонтальные маятники“.

Резюме этого доклада, составленное авторомъ, напечатано въ приложеніи къ сему протоколу.

Статья И. И. Вилипа „Вліяніе воздушныхъ потоковъ и т. д.“ будетъ напечатана въ т. IV, вып. 1 „Извѣстій Сейсмической Комиссіи“.

§ 27.

П. М. Никифоровъ сдѣлалъ докладъ: „О нѣкоторыхъ характерныхъ сейсмограммахъ Пулковской сейсмической станціи“.

Докладчикъ обратилъ вниманіе Комиссіи на большое число дальнихъ землетрясеній, очень отчетливо и со всѣми характерными фазами записанныхъ въ Пулковѣ, которыя въ то же время совершенно не отмѣчены ни одной сейсмической станціей въ Европѣ, за исключеніемъ Пулковской.

Эта чрезвычайная отчетливость записи, дающая возможность вполне точнаго и безошибочнаго опредѣленія отдѣльныхъ фазъ землетрясенія, составляетъ большое преимущество приборовъ системы князя Б. Б. Голицына передъ прочими типами сейсмическихъ аппаратовъ, такъ какъ, помимо указаннаго уже выше полнаго пропуска землетрясеній, въ бюллетеняхъ иностранныхъ сейсмическихъ станцій даются иногда совершенно невѣрные моменты наступленія фазъ.

Далѣе было отмѣчено, что всѣ записи землетрясеній, имѣющихъ одинъ и тотъ же эпицентръ, обладаютъ многими общими, характерными чертами, такъ что иногда безъ всякихъ вычисленій, при одномъ взглядѣ на сейсмограмму можно опредѣлить приблизительно положеніе эпицентра.

Во время доклада были демонстрированы помощью проекціоннаго фонаря нѣсколько типичныхъ сейсмограммъ.

§ 28.

П. М. Никифоровъ доложилъ о статьѣ Н. Wehner'a: „Westwanderung seismischer und vulkanischer Aktivität“, помѣщенной въ P ZS. 10 J. 1909 p. 962.

Н. Wehner принимает, что земной шаръ состоитъ изъ двухъ частей, внутренняго твердаго ядра и наружной оболочки, отдѣленныхъ слоемъ магмы. Эти двѣ части вращаются вокругъ земной оси съ неодинаковой угловою скоростью, причемъ наружная оболочка опережаетъ ежегодно ядро на $22' 41''$, 345, а на 360° опередить втеченіе 952 лѣтъ.

Этотъ періодъ равенъ продолжительности полнаго періода вѣковыхъ магнитныхъ вариаций.

Столкновеніе складокъ ядра и складокъ оболочки и вызываетъ, по мнѣнію Н. Wehner'a, землетрясенія, причемъ, очевидно, сейсмическія катастрофы должны перемѣщаться, съ теченіемъ времени, къ *W*.

Напримѣръ, въ 1880 году имѣло мѣсто разрушительное землетрясеніе въ Смирнѣ.

Дальнѣйшія землетрясенія слѣдуютъ къ *W* въ сейсмически возбудимыхъ областяхъ, лежащихъ на той же параллели:

въ 1881 году.....	Хіосъ
1886 „	Аѳины
1888 „	Коринфъ
1893 „	Цанте
1893—1905 году.....	рядъ землетрясеній въ Іонійскомъ морѣ
1908 году.....	Мессина

Если предположеніе Н. Wehner'a справедливо, то должны произойти катастрофы:

въ 1914 году.....	Палермо
1952 „	Аликанте
1972 „	Португалія.

Г. Предсѣдатель Комиссіи О. А. Баклундъ замѣтилъ по поводу реферата П. М. Никифорова, что на основаніи работъ Folie и Love'a слѣдуетъ признать совершенно недопустимой гипотезу, будто земной шаръ состоитъ изъ 2 частей, такъ какъ въ такомъ случаѣ должны были бы наблюдаться многія явленія, не имѣющія мѣста въ дѣйствительности.

Э. В. Штеллингъ указалъ на произвольность принятаго Н. Wehner'омъ періода вѣковыхъ магнитныхъ вариаций въ 952 года и, кромѣ того, замѣтилъ, что Ansel въ своей статьѣ, появившейся мѣсяць спустя послѣ опубликованія работы Н. Wehner'a, объясняетъ кажущееся перемѣщеніе сейсмической дѣятельности въ Тихомъ Океанѣ къ *W* (о чемъ писалъ Wehner) просто измѣненіемъ курса океанскихъ пароходовъ на болѣе западный, почему за послѣднее время и регистрируется большее число моретрясеній въ западной части Тихаго Океана.

§ 29.

Князь Б. Б. Голицынъ доложилъ о статьѣ Н. Arnold'a: „Die Erdbewegung während des ersten Vorläufers eines Erdbebens“, помѣщенной въ Beiträge zur Geophysik т. X, стр. 269.

Прежде всего князь Б. Б. Голицынъ остановился на утвержденіи Arnold'a, что запись приборовъ при дальнихъ землетрясеніяхъ обусловливается исключительно смѣщеніями земной поверхности, такъ какъ наклоны ея настолько малы, по мнѣнію автора, что не могутъ вліять на приборы.

Простымъ вычисленіемъ князь Б. Б. Голицынъ показалъ, что при вертикальномъ перемѣщеніи $z_m = 1$ м.м. и при періодѣ колебанія $T_p = 20^s$ наклонъ можетъ достигать $\left(\frac{1}{55}\right)''$; при чувствительности современныхъ приборовъ и столь малые наклоны могутъ дѣйствовать на горизонтальные маятники.

Въ § 2 Arnold переходитъ къ краткому изложенію теоріи сейсмографовъ и выводитъ общее дифференціальное уравненіе, интегрируя которое два раза по времени, получаетъ окончательно:

$$x = x_0 + \frac{1}{V} \left[y_0 + (t_1 - t_0) \left\{ Vx_0' + y_0' + 2\epsilon y_0 \right\} \right] - \frac{1}{V} \left[y + 2\epsilon \int_{t_0}^t y dt + n^2 \int_{t_0}^t dt \int_{t_0}^t y dt \right], \quad (*)$$

- гдѣ x — перемѣщеніе точки земной поверхности,
 y — перемѣщеніе пишущаго пера,
 t — время,
 V — увеличеніе маятника (для бесконечно малаго періода сейсмической волны).
 ϵ — константа, зависящая отъ затуханія,
 $n = \frac{2\pi}{T}$, T — періодъ маятника.

Arnold почему то считаетъ вліяніе членовъ, стоящихъ въ верхней строкѣ уравненія (*), несущественнымъ и рассматриваетъ только члены второй строки, что, по мнѣнію князя Б. Б. Голицына, совершенно неправильно.

Далѣе авторъ не замѣчаетъ, что $Vx_0' + y_0' = 0$, и вся функція при этомъ упрощается.

Не изслѣдовано также вліяніе повторныхъ толчковъ.

Вслѣдъ за тѣмъ, авторъ переходитъ къ различнымъ приемамъ интегрированія сейсмограммъ.

Останавливается на графическомъ способѣ Massau и на инструментальномъ методѣ (приборъ Coradi), но оба эти приема находятъ неудобными.

Самым простым и удобным въ примѣненіяхъ онъ признаетъ способъ квадратуръ помощью правила Simpson'a, усовершенствованнаго профессоромъ Runge.

Въ слѣдующемъ параграфѣ авторъ излагаетъ результаты анализа сейсмограммъ и приходитъ иногда къ невѣроятному результату, что точка земной поверхности непрерывно удаляется съ теченіемъ времени отъ своего начальнаго положенія.

Результатъ этотъ онъ объясняетъ тѣми трудностями, съ какими сопряжена обработка сейсмограммы. Во-первыхъ, трудно вычислить членъ, зависящій отъ тренія пера о бумагу, почему князь Б. Б. Голицынъ полагаетъ болѣе удобнымъ для подобныхъ цѣлей пользоваться оптической регистраціей.

Далѣе, малѣйшая неточность принятой нулевой линіи влечетъ за собою ошибку, весьма быстро увеличивающуюся съ теченіемъ времени, и даже при интегрированіи въ предѣлахъ только 1 минуты эта ошибка совершенно искажала результаты Arnold'a.

Въ послѣднемъ параграфѣ авторъ останавливается на работѣ И. И. Померанцева, единственной, которая до сихъ поръ была посвящена вопросу о движеніи земли во время землетрясенія, и на чисто теоретическомъ изслѣдованіи Lamb'a, поставившаго себѣ задачей изслѣдовать, какія волны распространяются внутри и на поверхности упругаго тѣла послѣ толчка.

§ 30.

Оглашенъ протоколъ засѣданія Подкомиссіи по вопросу объ изслѣдованіи перемежающихся источниковъ, а также отношеніе Геологическаго Комитета по тому же вопросу.

Объ эти записки напечатаны въ приложеніи къ сему протоколу.

По обсужденіи вопросовъ, затронутыхъ Подкомиссіей и Геологическимъ Комитетомъ, Комиссія постановила обратиться въ Управление дѣлами Его Императорскаго Высочества Великаго Князя Николая Михайловича съ ходатайствомъ о возобновленіи наблюденій надъ интермиттенціей Екатерининскаго источника въ Боржомѣ, а также къ г. Министру Торговли и Промышленности съ ходатайствомъ о постановкѣ подобныхъ же наблюденій на одной изъ скважинъ въ Ессентукахъ и объ отпускѣ необходимыхъ къ тому денежныхъ средствъ.

§ 31.

Доложено письмо бывшаго Директора Гимназіи въ г. Вѣрномъ, М. В. Вахрушева, съ предложеніемъ возобновить дѣятельность Вѣрненской сейсмической станціи, причемъ М. В. Вахрушевъ предлагаетъ помѣстить приборы въ его собственномъ домѣ и обѣщаетъ лично вести всѣ наблюденія.

Постановлено благодарить М. В. Вахрушева за его предложеніе и просить его о составленіи смѣты расходовъ на возстановленіе станціи

§ 32.

Оглашено содержаніе опросныхъ листовъ, посланныхъ по предложенію князя Б. Б. Голицына на всѣ сейсмическія станціи, состоящія въ вѣдѣніи Комиссіи.

Содержаніе опросныхъ листовъ одобрено.

I. *Маятники.*

- 1) Типъ установленнаго маятника.
- 2) Періодъ полного колебанія маятника.
- 3) Приведенная длина маятника (разстояніе центра качанія отъ оси вращенія).
- 4) Введено ли затуханіе, и, если введено, то какъ оно велико (отношеніе 2-хъ послѣдовательныхъ амплитудъ).
- 5) Способъ регистраціи.
- 6) Если регистрація оптическая, то какимъ пользуются источникомъ свѣта.
- 7) Если регистрація механическая, то имѣется ли увеличительный приборъ.
- 8) Увеличеніе маятника:
 - а) при механической регистраціи безъ увеличительнаго прибора—отношеніе разстоянія пишущаго пера отъ оси вращенія къ приведенной длинѣ маятника;
 - б) при механической регистраціи съ увеличительнымъ приборомъ—отношеніе разстоянія конца короткаго плеча увеличительнаго прибора отъ оси вращенія маятника къ приведенной длинѣ маятника и отношеніе плечъ увеличительнаго прибора;
 - в) при оптической регистраціи—удвоенное отношеніе длины оптическаго рычага къ приведенной длинѣ маятника.

II. *Регистрирующие аппараты.*

- 1) Чьей конструкціи.
- 2) Длина одной минуты на барабанѣ.
- 3) Разстояніе между 2-мя ближайшими линіями на сейсмограммѣ (шагъ винта).
- 4) Какъ часто мѣняется бумага.

III. *Часы.*

- 1) Какіе имѣются часы, и какъ велика возможная погрѣшность въ опредѣленіи времени по этимъ часамъ.
- 2) Какіе промежутки времени отмѣчаются на сейсмограммѣ.

IV. *Географическія координаты всѣхъ станцій.*

- V. *Кто состоитъ наблюдателемъ на второклассныхъ станціяхъ (образовательный цензъ и общественное положеніе наблюдателя).*

*Приложеніе къ § 26 протокола засѣданія Сейсмической Комисіи
5-го марта 1910 г.*

Резюме доклада И. И. Вилипа о „Вліяніи воздушныхъ потоковъ на чувствительные маятники“.

Пулковскіе чувствительные маятники показываютъ въ нѣкоторые дни своеобразныя движенія, такъ-называемыя микросейсмическія колебанія II рода, зависящія отъ силы мѣстнаго вѣтра. Опытами кн. Б. Б. Голицына съ маятниками въ разрѣженномъ воздухѣ было выяснено, что эти движенія существуютъ также въ томъ случаѣ, когда маятники вполне отдѣлены отъ наружнаго воздуха; они тогда только значительно меньше. Эти движенія регистрируются различными маятниками и на различныхъ столбахъ помѣщенія различно. Кривыя статоскопа, полученныя во время сильнаго вѣтра, въ помѣщеніи для маятниковъ показываютъ, что тутъ происходятъ измѣненія давленія, откуда слѣдуетъ, что въ виду того во время вѣтра образуются и внутри помѣщенія движенія воздуха.

Докладчикъ предполагаетъ, что часть этихъ микросейсмическихъ колебаній принадлежитъ дѣйствию аспираціи на маятники, стоящіе въ соединеніи съ атмосфернымъ воздухомъ, часть дѣйствию давленія воздушныхъ потоковъ на стѣнки колпаковъ и столбовъ, и что эти потоки такимъ образомъ частью и вызываютъ колебанія на маятникахъ въ разрѣженномъ воздухѣ. Конечно, можетъ, кромѣ того, вѣтеръ непосредственно дѣйствовать на стѣны всего зданія и вызвать движеніе почвы.

Чтобы доказать дѣйствіе воздушныхъ потоковъ на хорошо покрытые маятники и даже совсѣмъ изолированныя отъ воздуха, докладчикъ предпринялъ нѣсколько опытовъ и искусственно вызвалъ потоки въ помѣщеніи. Во-первыхъ, онъ воспользовался для этой цѣли электрическимъ вентиляторомъ и приводилъ въ помѣщеніи воздухъ въ движеніе при различныхъ условіяхъ, во время работы сейсмографовъ. При томъ функционировалъ въ помѣщеніи и статоскопъ.

Маятникъ, хуже всѣхъ покрытый, описываетъ очень неправильную кривую, когда дверь помещенія открыта и вентиляторомъ въ опредѣленныхъ періодахъ дѣйствовать отъ двери на стѣны. Статоскопъ и другіе маятники ничего въ такомъ случаѣ не даютъ. Другая картина получится, когда вмѣсто двери закрыть входъ толстою бумагою, оставляя незначительное отверстіе для вентилятора. Въ этомъ случаѣ показываетъ статоскопъ періодическое измѣненіе давленія, если вентиляторъ работаетъ съ опредѣленнымъ періодомъ коммутирования направленія движенія. И записи всѣхъ маятниковъ имѣютъ довольно правильный синусоидальный характеръ. Это обстоятельство можно объяснить тѣмъ, что въ последнемъ случаѣ потоки воздуха въ помещеніи имѣютъ болѣе правильный характеръ и, кромѣ того, при накопленіи или разрѣженіи воздуха образуются теченія, имѣющія вполне опредѣленное направленіе и вступающія или вытекающія изъ щелей противоположной стѣны.

Уже такія теченія по всей вѣроятности достаточно сильны, чтобы дѣйствовать на стѣны колпаковъ и столбовъ и вызвать наклоны у маятника въ разрѣженномъ воздухѣ.

Въ первомъ случаѣ, такъ показываетъ статоскопъ, такого теченія нѣтъ, такъ какъ потоки, падающіе непосредственно отъ вентилятора на стальной колпакъ, компенсируются противоположными потоками, вытекающими изъ помещенія при открытыхъ дверяхъ.

Докладчикъ производилъ еще много разъ слѣдующій опытъ: стоя у стального колпака спокойно онъ дулъ изъ рта на стальной колпакъ. Опытъ показывалъ каждый разъ, что если дѣйствовать очень короткое время такимъ образомъ, то движенія точки на барабанѣ не замѣтно, но если дуть непрерывно съ продолжительностью 5—10 сек., то точка замѣтно отклоняется.

Докладчикъ опредѣлилъ вѣсами, какое давленіе приблизительно соотвѣтствуетъ такому дутью и потомъ обратно вычисляетъ порядокъ скорости теченія воздуха, могущаго вызвать такія отклоненія. Для того, чтобы получить микроколебанія II рода, достаточно, чтобы давленіе 5 гр. на стѣну 300 килограмм. колпака дѣйствовало въ продолженіи 5—10 сек. такому давленію соотвѣтствуетъ скорость потоковъ приблизительно $0,2 \frac{m}{sec}$.

Какъ видно изъ этого изложенія, никакъ нельзя въ случаѣ микросейсмическихъ II рода съ опредѣленностью сказать, какія движенія принадлежатъ дѣйствительному движенію почвы отъ вѣтра. Кромѣ того всѣ эти движенія могутъ весьма вредно вліять на записи землетрясеній.

Въ виду того, докладчикъ считаетъ для точной сейсмометріи весьма нужнымъ, болѣе чувствительные маятники герметически отдѣлать отъ воз-

духа и поставить ихъ такъ, чтобы потоки не могли дѣйствовать на стѣны колпаковъ и столбовъ.

Докладчикъ совѣтуетъ поставить маятники не на столбахъ, но въ герметическихъ шкапахъ, образующихъ одно цѣлое съ почвою, притомъ шкафъ могъ бы служить штативомъ маятника.

Только въ такомъ видѣ можно надѣяться получить и въ случаѣ микро-сейсм. II рода истинное движеніе поверхности земли.

И. Вилипъ.

*Приложение къ § 30 протокола засѣданія Сейсмической Комиссiи
5-го марта 1910 г.*

**Протоколъ засѣданія Подкомиссiи по вопросу объ из-
слѣдованiи интермиттирующихъ источниковъ.**

На состоявшемся 4 февраля 1910 г. засѣданiи Подкомиссiи, въ составѣ А. П. Герасимова, кн. Б. Б. Голицына и А. Н. Огильви, пришла къ слѣдующимъ заключенiямъ.

1) Для установленiя связи между землетрясенiями и различнаго рода отклоненiями отъ нормальнаго теченiя жизни минеральныхъ источниковъ необходимо организовать непрерывныя правильныя наблюденiя за этою жизнью, хотя бы на нѣкоторыхъ изъ нашихъ отечественныхъ источниковъ.

2) Подкомиссiя полагаетъ, что на первое время возможно ограничиться организацiей такого рода наблюденiй, во-первыхъ, на Екатерининскомъ источникѣ въ Боржомѣ, и, во-вторыхъ, на одной изъ скважинъ, проведенныхъ въ послѣднее время Геологическимъ Комитетомъ въ Эссен-тукахъ.

3) Въ Боржомѣ, какъ извѣстно, такого рода наблюденiя были установлены въ 1902 г. докторомъ Ф. Ф. Мольденгауеромъ, но затѣмъ, съ уходомъ его, прекратились. Подкомиссiя полагаетъ, что надлежитъ обратиться къ августѣйшему владѣльцу Боржомскихъ водъ съ ходатайствомъ возобновить такого рода наблюденiя. вмѣстѣ съ тѣмъ представляется желательнымъ выяснитъ вопросъ о томъ, гдѣ въ настоящее время находится аппаратъ, построенный для такихъ наблюденiй д-ромъ Мольденгауеромъ.

4) Выборъ въ Эссен-тукахъ скважины, наиболѣе удобной для организацiи намѣчаемыхъ наблюденiй, слѣдуетъ предоставить сотруднику Геологическаго Комитета горному инженеру Я. В. Лангвагенъ и химику Управленiя Кавказскихъ минеральныхъ водъ Э. Э. Карстенсъ, какъ лицамъ, ближе всѣхъ знакомымъ съ свойствами вновь открытыхъ источниковъ.

5) Необходимо возбудить передъ Управленіемъ Кавказскихъ минеральныхъ водъ ходатайство о томъ, чтобы скважина въ Ессентукахъ, избранная только-что названными лицами, была предоставлена Центральной Сейсмической Комиссіи исключительно для организаціи предполагаемыхъ наблюдений и не эксплуатировалась для нуждъ курорта.

6) Переходя къ вопросу объ организаціи наблюдений, Подкомиссія полагаетъ, что они должны заключаться: а) въ установкѣ на глубинѣ термографа, б) въ установкѣ самопишущаго прибора для регистраціи дебита, с) въ установкѣ прибора для автоматической записи интермиттенціи, д) въ производствѣ ежедневныхъ опредѣленій содержанія въ водѣ наиболее характерной составной части и въ производствѣ ежемѣсячныхъ контрольныхъ химическихъ анализовъ воды съ опредѣленіемъ величины плотнаго остатка и содержанія въ ней важнѣйшихъ іоновъ. Въ случаѣ рѣзкихъ измѣненій въ дебитѣ, температурѣ и т. п. необходимо немедленно приступить къ производству полного химическаго анализа воды.

7) По поводу самыхъ приборовъ для регистраціи интермиттенціи и температуры постановлено произвести въ Физическомъ кабинетѣ Академіи Наукъ опыты съ нѣкоторыми намѣченными типами.

8) Подкомиссія полагаетъ, что установка прибора въ томъ видѣ, какъ это было сдѣлано д-ромъ Мольденгауеромъ въ Боржомѣ, вызываетъ нѣкоторыя опасенія за точность показаній, и потому должна быть нѣсколько измѣнена.

9) Организація намѣченныхъ наблюдений и безпрепятственное ихъ производство потребуетъ нѣкоторыхъ расходовъ, которые для Ессентуковъ не превзойдутъ, вѣроятно, 5.000 р. одновременно и 4.000 р. ежегодно. Въ послѣднюю сумму входитъ и вознагражденіе лицу, специально приглашенному для производства наблюдений. Лицу этому могутъ быть поручены также физическія наблюденія на другихъ источникахъ, правильная постановка которыхъ, по мнѣнію Подкомиссіи, является весьма желательной и вполне своевременной.

Кн. Б. Голицынъ.

Ал. Герасимовъ.

А. Огильви.

Приложение къ § 30 протокола засѣданія Сейсмической Комиссіи
5-го марта 1910 г.

Копія отношенія Геологическаго Комитета.

По поводу запроса Центральной Сейсмической Комиссіи о программѣ наблюдений надъ физико-химическими свойствами минеральныхъ источниковъ въ связи съ предполагаемымъ Сейсмической Комиссіею изученіемъ зависимости между нарушеніями нормальной жизни того или другого источника и сейсмическими колебаніями земной коры, Геологическій Комитетъ въ засѣданіи Присутствія 21 января 1910 г. избралъ особую Комиссію въ составѣ А. П. Герасимова, А. Н. Огильви и Л. А. Ячевскаго, которая доложила нижеслѣдующую программу необходимыхъ; по ея мнѣнію, наблюдений, ограничиваясь лишь источниками на группахъ Кавказскихъ минеральныхъ водъ. Программа эта одобрена Присутствіемъ Комитета въ засѣданіи 16-го февраля 1910 г.

1) Производство подробныхъ химическихъ анализовъ воды всѣхъ минеральныхъ источниковъ даннаго района, химическое изслѣдованіе осадковъ, отлагаемыхъ источниками, а также газовъ, какъ растворенныхъ въ водѣ источниковъ, такъ и свободно выдѣляющихся. Анализы должны затронуть также и рѣдкіе элементы.

2) Повтореніе подобныхъ детальныхъ анализовъ черезъ каждыя 3—5 лѣтъ, а также новое производство ихъ въ тѣхъ случаяхъ, когда контрольнымъ анализомъ будетъ обнаружено измѣненіе въ химическомъ составѣ того или другого источника.

3) Систематическое еженедѣльное производство контрольныхъ химическихъ анализовъ надъ однимъ источникомъ cadaго даннаго типа, понимая подъ таковымъ анализомъ опредѣленіе содержанія одной, двухъ наиболее характерныхъ и наиболее точно опредѣляемыхъ составныхъ частей. Производство такихъ же контрольныхъ анализовъ надъ всѣми источниками одинъ разъ въ три мѣсяца, на примѣръ, 1-го января, 1-го апрѣля, 1-го іюля и 1-го октября.

4) Автоматическое регистрирование дебита источниковъ помощью самопишущихъ приборовъ.

5) Регистрирование вездѣ, гдѣ возможно по техническимъ условіямъ, колебаній уровней источниковъ помощью лимниграфовъ.

6) Систематическія наблюденія надъ температурой источниковъ на нѣкоторой глубинѣ отъ поверхности помощью особыхъ термографовъ, при одновременномъ измѣреніи t° , хотя бы разъ въ сутки, точнымъ ртутнымъ термометромъ.

7) Изученіе физическихъ свойствъ источниковъ, — радиоактивности, электропроводности, осмотического давленія и т. п., производящееся систематически, черезъ установленные промежутки времени.

8) Изученіе физическихъ свойствъ газовъ и осадковъ, выдѣляемыхъ источниками, а также сосѣднихъ горныхъ породъ.

9) Систематическія наблюденія надъ количествомъ выдѣляющихся газовъ.

10) Наблюденія надъ интермиттенціей.

11) Распространеніе всѣхъ указанныхъ наблюденій на тѣ прѣсные источники, которые имѣютъ связь съ минеральными источниками.

12) Наблюденіе на разныхъ глубинахъ температуры почвы въ особыхъ сухихъ скважинахъ.

13) Единообразіе методовъ изслѣдованія и тщательное обозначеніе тѣхъ условій, при которыхъ произведено то или другое изслѣдованіе.

14) Приведеніе въ связь указанныхъ наблюденій съ данными мѣстныхъ метеорологическихъ и сейсмическихъ станцій.

15) Устройство особой метеорологической станціи на Бермамытскомъ плато въ цѣляхъ изученія режима Нарзана.

16) Установка въ ближайшемъ будущемъ самопишущихъ приборовъ для регистраціи температуры, дебита и интермиттенціи газовъ на одной изъ новыхъ эссендукскихъ буровыхъ скважинъ, специально для этого оборудованной.

Не подлежитъ никакому сомнѣнію, что широкая программа требуетъ для своего исполненія особаго штата научно-подготовленныхъ лицъ, количество которыхъ въ настоящее время исчерпывается всего двумя вольнонаемными химиками, прекрасно ведущими свою и безъ того весьма интенсивную работу. Несомнѣнно, что при проведеніи въ жизнь намѣченной программы, потребуется не только включеніе въ штатъ Управленія водъ этихъ двухъ химиковъ, но и общее расширеніе химической лабораторіи и ея персонала, а также устройство особаго физико-сейсмическаго кабинета съ особымъ персоналомъ приглашеннымъ по соглашенію съ компетентными учрежденіями и лицами.

Протоколъ засѣданія 9-го апрѣля 1910 года.

Подъ предѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссiи: князь Б. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, А. Я. Орловъ, М. А. Рыкачевъ и Э. В. Штеллингъ, секретарь Комиссiи П. М. Никифоровъ и приглашенные на засѣданіе гости: Н. А. Бѣлелюбскій, И. И. Вилицъ, В. В. Витковскій, Г. А. Керсновскій, В. В. Николаевъ, Д. А. Смирновъ и Н. Я. Цингеръ.

§ 33.

Прочтены и утверждены протоколы засѣданій Комиссiи 30 января и 5 марта 1910 года.

§ 34.

Н. Я. Цингеръ сдѣлалъ докладъ: „Объ опредѣленіи времени по наблюденіямъ звѣздъ попарно въ одномъ и томъ же альмукантаратѣ“.

Резюме этого доклада, составленное авторомъ, напечатано въ приложеніи къ сему протоколу.

§ 35.

А. Я. Орловъ сдѣлалъ докладъ: „О деформацияхъ земли подъ вліяніемъ луннаго притяженія по наблюденіямъ въ Юрьевѣ“.

Наблюденія производились помощью маятниковъ Цельнера, установленныхъ въ старомъ пороховомъ погребѣ при Астрономической Обсерваторіи Юрьевскаго Университета.

Одинъ изъ маятниковъ былъ установленъ въ плоскости меридіана, другой — въ плоскости перваго вертикала.

Наблюденія докладчика охватываютъ почти 9-ти мѣсячный промежутокъ времени.

Полученная кривая движенія нуль — пункта маятниковъ аналитически можетъ быть представлена слѣдующимъ уравненіемъ:

$$\left. \begin{aligned}
 y = a + bt + \dots + A_1 \cos t_{\odot} + B_1 \sin t_{\odot} \\
 + A_2 \cos 2t_{\odot} + B_2 \sin 2t_{\odot} \\
 + \dots \\
 + A_1' \cos t_{\ominus} + B_1' \sin t_{\ominus} \\
 + A_2' \cos 2t_{\ominus} + B_2' \sin 2t_{\ominus} \\
 + \dots
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

Здѣсь t_{\odot} и t_{\ominus} означаютъ часовые углы солнца и луны. Для выясненія вліянія луны на маятники, необходимо было исключить изъ уравненія (1) солнечные члены. Съ этой цѣлью докладчикъ сгруппировалъ наблюденія по лунному времени и взялъ затѣмъ среднія изъ всѣхъ ординатъ, соответствующихъ однимъ и тѣмъ же часовымъ угламъ луны.

Эти среднія съ большою точностью представляются слѣдующими простыми формулами:

$$\left. \begin{aligned}
 \text{Для } N-S \text{ сост.} \dots \dots \dots y_1 = -0,00389 \cos 2t_{\ominus} \\
 \text{„ } E-W \text{ „} \dots \dots \dots y_M = -0,00540 \sin 2t_{\ominus}
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

Если бы на маятники не дѣйствовало никакихъ другихъ возмущающихъ силъ, кромѣ луннаго притяженія, то при абсолютно твердой землѣ мы имѣли бы:

$$\left. \begin{aligned}
 y_1 = -0,00705 \cos 2t_{\ominus} \\
 y_M = -0,00828 \sin 2t_{\ominus}
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

Сравнивая эти выраженія съ формулами (2), можно видѣть, что маятники отклоняются значительно меньше, чѣмъ того требуетъ теорія; а именно, для $N-S$ составляющей наибольшее наблюденное отклоненіе (0,00389) составляетъ лишь 0,55 вычисляемаго по формулѣ (3) (0,00705), для $E-W$ составляющей отношеніе наибольшаго наблюденнаго отклоненія (0,00540) къ вычисленному (0,00828) равно 0,65.

Такое уменьшеніе амплитуды колебанія маятниковъ объясняютъ приливами и отливами въ самой землѣ, причѣмъ оказывается, что въ меридіанѣ движеніе почвы больше, чѣмъ по направленію I вертикала.

Статья А. Я. Орлова: „Наблюденія надъ деформациями земли подъ вліяніемъ луннаго притяженія, произведенныя въ Юрьевѣ съ горизонтальными маятниками Цельнера“ будетъ напечатана въ „Извѣстіяхъ Императорской Академіи Наукъ“ 1910 г. № 10.

§ 36.

Князь Б. Б. Голицынъ сдѣлалъ докладъ „О землетрясеніи 30/III—12/IV 1910 г.“.

Отдѣльныя фазы землетрясенія на пулковской сейсмограммѣ наступили въ слѣдующіе моменты:

$$\left. \begin{array}{l} iP: 0^h 33^m 8^s \\ RP: 0^h 37^m 25^s \\ iS: 0^h 42^m 4^s \\ L: 0^h 54^m \end{array} \right\} \begin{array}{l} S - P = 8^m 56^s = 536^s \\ s = 7450 \text{ km.} \end{array}$$

Первая фаза записана въ Пулковѣ очень отчетливо, и по двумъ составляющимъ князь Б. Б. Голицынъ вычислилъ азимуть эпицентра:

$$\alpha = NE 73,3.$$

Имѣя данныя для s и α , можно было вычислить координаты эпицентра:

$$\varphi = 28^\circ N$$

$$\lambda = 122^\circ E.$$

Такимъ образомъ, эпицентръ опредѣлился въ Восточно-Китайскомъ морѣ.

Опредѣливши положеніе эпицентра, князь Б. Б. Голицынъ вычислилъ также разстоянія отъ этой точки до Гамбурга, Вѣны, Югенгейма и Тифлиса и сопоставилъ ихъ съ тѣми величинами, которыя дали сами станціи на основаніи сейсмограммъ

	s		Δ
	вычисленное	наблюденное	
Гамбургъ.....	8863 km.	8870 km.	— 7 km.
Вѣна.....	8796 "	8800 "	— 4 "
Югенгеймъ....	9160 "	8980 "	+180 "
Тифлисъ.....	7000 "	7100 "	—100 "

Землетрясеніе это было записано очень чисто также новымъ тяжелымъ (100 kg.) маятникомъ, системы князя Б. Б. Голицына, съ механической регистраціей и магнитнымъ затуханіемъ¹⁾, недавно установленнымъ на Пулковской сейсмической станціи.

Затуханіе, введенное на этомъ маятникѣ, сравнительно не велико: $\frac{\theta_k}{\theta_{k+1}} = v = 2.64$; увеличеніе: $V = 46,2$; періодъ колебанія: $T = 22^s$.

¹⁾ Fürst B. Galitzin. Ueber ein neues schweres Horizontalpendel mit mechanischer Registrierung. — Извѣстія П. Ц. Сейсмич. Комиссіи, т. III, вып. 3, стр. 1—76.

Расстояние до эпицентра, вычисленное по записи маятника съ механической регистраціей, оказалось: $s = 7400$.

Кромѣ того, были измѣрены наиболѣе правильныя мѣста на сейсмограммахъ, зарегистрированныхъ какъ гальванометрически, такъ и механически, и отсюда вычислены истинныя смѣщенія точки земной поверхности въ Пулковѣ. Согласіе между показаніями чувствительныхъ маятниковъ съ гальванометрической регистраціей съ одной стороны и новаго маятника съ механической регистраціей съ другой стороны оказалось весьма хорошимъ.

Такимъ образомъ, новый типъ горизонтальнаго маятника съ механической регистраціей оказался вполне отвѣчающимъ своему назначенію и можетъ быть рекомендованъ для сейсмическихъ станцій второго разряда.

§ 37.

Доложенъ отчетъ завѣдывавшаго Вѣрненской сейсмической станціей І. І. Сикоры, въ которомъ послѣдній доводитъ до свѣдѣнія Комиссіи,

1) что Вѣрненская станція была закрыта имъ въ концѣ октября 1908 года за невозможностью добиться порядочныхъ и заслуживающихъ довѣрія наблюденій,

2) что сейсмограммы и журналъ наблюденій за 1908 годъ высылаются имъ одновременно съ симъ отчетомъ,

3) что изъ 375 рублей, высланныхъ на содержаніе Вѣрненской станціи втеченіе 1908 года и первой четверти 1909 года, имъ израсходовано 249 р. 22 коп., какъ видно изъ приложенныхъ къ отчету оправдательныхъ документовъ. Такимъ образомъ, остается на рукахъ І. І. Сикоры неизрасходованныхъ 125 р. 78 к.

Постановлено оставшіеся у І. І. Сикоры 125 р. 78 к. обратить на возстановленіе Вѣрненской сейсмической станціи подъ наблюдениемъ бывшаго Директора мѣстной гимназіи М. В. Вахрушева. Въ виду того, что приборы Вѣрненской станціи пришли въ полную негодность, постановлено также отправить на станцію 2 маятника и 2 регистрирующихъ аппарата новой конструкціи работы механика Шульце въ Юрьевѣ и одинъ экземпляръ новыхъ контактныхъ часовъ Strasser'a и Rodhe.

§ 38.

Доложено, что С.-Петербургское Телеграфное Агенство соглашается доставлять Сейсмической Комиссіи по телеграфу свѣдѣнія о землетрясеніяхъ съ оплатою 5 коп. со слова.

Условія Агенства приняты.

§ 39.

Доложена просьба Географическаго Кружка при С.-Бургскихъ Высшихъ Женскихъ Курсахъ о высылкѣ ему изданій Комиссіи.

Не имѣя достаточнаго количества свободныхъ экземпляровъ Комиссія отклонила ходатайство Круга; желая, однако, пойти навстрѣчу слушательницамъ Курсовъ, интересующимся трудами Комиссіи, постановлено высылать впредь изданія Комиссіи въ бібліотеку Высшихъ Женскихъ Курсовъ.

§ 40.

Доложено о полученіи бібліотекой Комиссіи Gerland's „Beiträge zur Geophysik“ (т. т. I—X и три дополнительныхъ тома) за 165 герм. марокъ и „Bulletins de la Commission Sismologique Italienne“ (т. т. I—XIII) за 104 франка.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 41.

Доложенъ запросъ Начальника 12-ой дистанціи Московско-Казанской ж. д., не могъ ли обвалъ Океаго Косогора, имѣвшій мѣсто 11 янв. с. г., произойти вслѣдствіе многочисленныхъ землетрясеній, отмѣченныхъ въ декабрѣ 1909 г. и началѣ января 1910 г., съ просьбой прислать списокъ землетрясеній за названный промежутокъ времени.

Постановлено отвѣтить, что столь крупныя нарушенія въ земной корѣ, какъ оползни, могутъ быть вызваны лишь весьма сильными сейсмическими колебаніями, каковыхъ въ средней полосѣ Россіи вообще не наблюдается. Упомянутый же оползень произошелъ, по всей вѣроятности, вслѣдствіе циркуляціи подземныхъ водъ и большой крутизны откоса.

*Приложение къ § 34 протокола засѣданія Сейсмической Комиссiи
9-го апрѣля 1910 г.*

Объ опредѣленіи времени по наблюденіямъ звѣздъ попарно въ одномъ и томъ же альмукантаратѣ.

Въ Центральной Сейсмической Комиссiи былъ возбужденъ вопросъ о томъ, какой изъ астрономическихъ способовъ опредѣленія времени удобнѣе всего избрать для повѣрки часовъ на сейсмическихъ станціяхъ. Первенствующее значеніе тутъ пріобрѣтаютъ: простота наблюденій, возможно меньшая ихъ продолжительность, скорость и легкость вывода изъ нихъ искомой поправки часовъ или же того хронометра, которымъ пользуется наблюдатель, и пожалуй еще и то, чтобы служащій для наблюденій инструментъ былъ не великъ и не дорогъ. Точность же наблюденій отодвигается при этомъ на второй планъ, такъ какъ въ опредѣляемой поправкѣ часовъ могутъ допускаться погрѣшности въ нѣсколько десятыхъ долей секунды времени. Подобный же вопросъ можетъ вызываться также и со стороны метеорологическихъ обсерваторій первыхъ разрядовъ; онъ представляется, наконецъ, довольно важнымъ и для небольшихъ астрономическихъ обсерваторій.

Изъ двухъ типовъ простѣйшихъ астрономическихъ инструментовъ, служащихъ для вышесказанной цѣли, — пассажнаго и зенить-телескопа, первый едва ли вполне соответствуетъ даннымъ требованіямъ и обстановкѣ. Онъ требуетъ очень прочной установки, каждое наблюденіе съ нимъ должно сопровождаться двумя весьма деликатными операціями: перекладкой уровня и оси вращенія трубы въ ея гнѣздахъ; да и вообще необходимо очень внимательное и бережное обращеніе съ нимъ, чтобы цапфы трубы не испортились со временемъ отъ частыхъ ихъ перекладокъ и отъ ржавчины. При употребленіи же зенить-телескопа ничего подобнаго не требуется, такъ какъ всѣ выводы изъ наблюденій съ нимъ основываются лишь на сохраненіи высоты его трубы въ теченіе нѣкотораго времени, а малѣйшія измѣненія этой высоты указываются хорошо скрѣпленнымъ съ трубою уровнемъ. Все это заставляеть отдать предпочтеніе зенить-телескопу.

Къ сожалѣнію, отъ простѣйшаго по своей сущности способа опредѣленія времени зенитъ-телескопомъ, заключающагося въ соответственныхъ наблюденіяхъ имъ какой-нибудь звѣзды на обѣихъ сторонахъ меридіана, приходится отказаться вслѣдствіе необходимости сдѣлать промежутокъ между этими двумя ея наблюденіями никакъ не меньшимъ 1 часа; притомъ же и полученный результатъ оказался бы одиночнымъ и ничѣмъ не контролируемымъ. Способъ же наблюдений двухъ разныхъ звѣздъ приблизительно равныхъ склоненій, устраняющій эти неудобства и потому весьма часто у насъ примѣняемый, все-таки еще требуетъ перестановки трубы зенитъ-телескопа (или же другого замѣняющаго его инструмента) для разныхъ паръ звѣздъ на разныхъ высотахъ, что въ значительной степени усложняетъ производство наблюдений и вычислений, а равно и конструкцію самаго инструмента. Несравненно проще будетъ закрѣпить разъ на всегда трубу на какомъ-нибудь опредѣленномъ зенитномъ разстояніи и наблюдать прохожденія черезъ горизонтальныя ея нити какихъ бы то ни было звѣздъ, не слишкомъ удаленныхъ отъ перваго вертикала, но все-таки попарно, такъ чтобы вслѣдъ за восточной звѣздой (*O*) слѣдовала западная (*W*) или же наоборотъ. Тогда двѣ пары такихъ звѣздъ, наблюденныхъ въ порядкѣ *O, W, W, O* (или *W, O, O, W*), или же три звѣзды, наблюденныхъ въ порядкѣ *O, W, O* (или *W, O, W*), дадутъ искомую поправку хронометра два раза, т. е. съ должнымъ контролемъ ея вѣрности и вмѣстѣ съ тѣмъ освобожденную отъ вліянія небольшихъ постепенныхъ измѣненій, которыя могутъ происходить въ мѣстѣ нуля на уровнѣ относительно оптической оси трубы. Зенитное разстояніе избраннаго альмукантарата остается произвольнымъ; невыгодно только дѣлать его меньшимъ 45° , чтобы не уменьшать тѣмъ напрасно числа звѣздъ, находящихся въ нашемъ распоряженіи, и большимъ 60° , что повело бы къ ухудшенію качества изображеній звѣздъ. Остаются лишь сомнѣнія такого рода: достаточно ли число яркихъ звѣздъ на небѣ для того, чтобы такія наблюденія могли быть исполнены небольшою трубою въ довольно короткій промежутокъ времени; не усложнятся ли при этомъ вычисленія искомой поправки хронометра; не пострадаетъ ли, наконецъ, слишкомъ много точность такихъ выводовъ поправки отъ нѣкоторой невѣрности принимаемой въ вычисленіяхъ широты мѣста наблюдений. Всѣ эти сомнѣнія, какъ сейчасъ будетъ видно, разрѣшаются въ благоприятную сторону: такой способъ называется и удобно выполнимымъ на дѣлѣ, и достаточно точнымъ, и требующимъ со стороны наблюдателя лишь небольшой практики и производства самыхъ простыхъ вычислений.

Еще въ 1877 г., при опредѣленіи разности долготъ Варшавы и Кіева, астрономъ-наблюдатель Фабриціусъ сталъ въ первый разъ наблюдать вертикальнымъ кругомъ Ренсольда восточныя и западныя звѣзды при

одномъ и томъ же зенитномъ разстояніи трубы Z , равнымъ дополненію широты мѣста; онъ только наблюдалъ ихъ не попарно, какъ сказано выше, а въ томъ послѣдовательномъ порядкѣ, какъ онѣ проходили черезъ этотъ альмуkantаратъ, и выводилъ искомую поправку хронометра сразу изъ всего ряда такихъ наблюдений, сдѣланныхъ втеченіе цѣлаго часа. Затѣмъ профессоръ Рижскаго Политехникума А. Беккъ публиковалъ въ «Astronomischen Nachrichten» съ 1890 по 1906 г. весьма точные результаты своихъ совместныхъ опредѣленій широты и времени придуманнымъ имъ инструментомъ, въ которомъ труба съ прикрѣпленнымъ къ ней уровнемъ направлена объективомъ внизъ, лучи же отъ звѣздъ, находящихся именно въ альмуkantаратѣ $Z=60^\circ$, попадаютъ въ нее отраженіемъ отъ боковъ призмы, установленной ниже объектива. Во Франціи же съ 1900 г. сталъ испытываться и примѣняться инструментъ, проектированный съ тою же цѣлью г-ми Клодомъ и Дриенкурромъ подъ названіемъ «Astrolabe à prisme». Въ немъ, какъ и въ секстантѣ, посредствомъ ртутнаго горизонта и трехгранной равнобокой призмы, помѣщенной передъ объективомъ горизонтально направленной трубы, наблюдаются два изображенія звѣзды, совпадающія другъ съ другомъ, когда она проходитъ черезъ альмуkantаратъ $Z=30^\circ$. Во всѣхъ этихъ случаяхъ наблюдалось также много звѣздъ въ одинъ приемъ и всѣ искомыя выводились по способу наименьшихъ квадратовъ или же графически для нѣкотораго облегченія такихъ вычисленій.

Удобное для наблюдателя направленіе трубы достигается въ инструментахъ Бекка и Клода большою призмою, установленною передъ самымъ объективомъ, и сопровождается слѣдовательно явнымъ ущербомъ оптической ея силы и качества изображеній. Простая прямая труба, снабженная для смотрѣнія въ нее, какъ то дѣлается обыкновенно, небольшою окулярною призмочкой, всегда будетъ имѣть преимущества, ибо, при діаметрѣ объектива въ 1 дюймъ, ею еще легко наблюдаются звѣзды 5.0 и даже 5.1 величины, между тѣмъ какъ въ инструментѣ г. Бекка для этого требовался объективъ, большій 40 мм. въ діаметрѣ; величиною же объектива опредѣляется длина трубы, а вмѣстѣ съ тѣмъ и размѣръ всего инструмента.

Это позволяетъ намъ допустить, что для нашихъ опредѣленій времени можно будетъ пользоваться звѣздами 5.0 величины и лишь въ видѣ очень рѣдкихъ исключеній звѣздами 5.1 величины. Затѣмъ мы будемъ считать пригодными для опредѣленія времени всѣ тѣ звѣзды, азимуты которыхъ заключаются въ предѣлахъ отъ 45° до 135° (для западныхъ звѣздъ) и отъ 225° до 315° (для восточныхъ звѣздъ). Предположивъ, наконецъ, зенитное разстояніе $Z=45^\circ$, а широту мѣста наблюдений $\varphi=60^\circ$, мы легко увидимъ, что склоненія такихъ звѣздъ должны будутъ заключаться въ предѣлахъ отъ -21° до $+60^\circ$; а число ихъ по фундаментальному каталогу

«Berliner Astronom. Jahrbuch» окажется около 180, больше чего нельзя и желать, такъ какъ наблюденія каждаыхъ двухъ звѣздъ необходимо должны раздѣляться промежуткомъ времени, не меньшимъ 4 минутъ.

На самомъ дѣлѣ, вычисливъ звѣздныя времена и азимуты этихъ звѣздъ при прохожденіяхъ ихъ черезъ альмукантаратъ $Z=45^\circ$ для Пулкова ($\varphi=59^\circ 46' 20''$) и оставивъ изъ нихъ только тѣ, которыми удобнѣе пользоваться, я составилъ эфемериду для непрерывныхъ наблюденій, заключающую въ себѣ всего 124 пары, такъ что на каждый часъ приходится всегда отъ 4 до 7 паръ, т. е. отъ 4 до 7 одиночныхъ опредѣленій поправки хронометра. На два же такихъ опредѣленія, взаимно контролирующіхъ другъ друга и освобождающихся въ среднемъ выводѣ отъ вліянія небольшихъ постепенныхъ измѣненій въ инструментѣ, требуется почти всегда менѣе $\frac{1}{2}$ часа времени. Такимъ образомъ наблюденія звѣздъ попарно въ неизмѣнномъ альмукантаратѣ для сѣверныхъ широтъ около 60° не встрѣчаютъ большихъ препятствій отъ недостаточности числа потребныхъ для того звѣздъ. Тѣмъ болѣе ихъ можно считать обезпеченными въ этомъ отношеніи для меньшихъ широтъ.

Во всѣхъ тѣхъ случаяхъ болѣе или менѣе частыхъ и регулярныхъ опредѣленій времени на одномъ и томъ же мѣстѣ, о которыхъ идетъ рѣчь, постоянство мѣста наблюденій и зенитнаго разстоянія трубы позволяетъ, для каждой звѣзды, входящей въ составленную вышеказаннымъ образомъ эфемериду, принять округленные среднія значенія ея координатъ α_0 и δ_0 для продолжительной эпохи въ три, четыре года и даже болѣе, а для φ и Z взять также нѣкоторыя округленные ихъ значенія φ_0 и Z_0 , и съ этими данными вычислить впередъ со всею необходимою точностью звѣздное время S_0 , когда она должна находиться на той или другой сторонѣ (O или W) альмукантарата Z_0 . Тогда въ послѣдствіи, для видимыхъ координатъ ея α и δ , даваемыхъ на каждый день въ «Berliner Jahrbuch», а равно и для болѣе вѣрныхъ значеній φ и Z , наблюдателю останется только получать точную дѣйствительную величину этого звѣзднаго времени S для своихъ наблюденій такимъ образомъ:

$$S = S_0 + (\alpha - \alpha_0) + B(\delta - \delta_0) + C(\varphi - \varphi_0) + A(Z - Z_0),$$

причемъ численныя величины коэффициентовъ A , B и C , зависящія отъ склоненія и азимута звѣзды, также можно дать въ составленныхъ напередъ таблицахъ вмѣстѣ съ S_0 . Трудъ же составленія такихъ таблицъ для даннаго мѣста наблюденій вовсе не особенно великъ; да онъ и не касался бы наблюдателей сейсмическихъ и метеорологическихъ обсерваторій, а былъ бы дѣломъ центральныхъ учрежденій.

Обращаясь теперь къ самымъ наблюденіямъ и выводамъ изъ нихъ искомой поправки хронометра, предположимъ, что всякая звѣзда будетъ наблюдаться на четырехъ горизонтальныхъ нитяхъ сѣтки трубы, и означимъ среднее изъ этихъ 4-хъ наблюденныхъ по хронометру моментовъ, исправленное за ходъ послѣдняго относительно звѣзднаго времени, черезъ T_0 , а среднее изъ сдѣланныхъ отсчетовъ уровня, выраженное въ секундахъ дуги, — черезъ i . Тогда моментъ T прохожденія звѣзды, приведенный къ нормальному показанію уровня $i = 0$, будетъ

$$T = T_0 + Ai,$$

гдѣ коэффициентъ A при i тотъ же, что и выше. Если означить затѣмъ разность $S - T$ для западной звѣзды черезъ u_w , а для восточной — черезъ u_0 , полусумму $\frac{1}{2}(u_w + u_0)$ черезъ c , и полуразность $\frac{1}{2}(u_w - u_0)$ черезъ d , то искомая поправка хронометра u , а также и поправка Δ принятаго раньше зенитнаго разстоянія трубы Z , получатся такъ:

$$u = c + D.d \quad \text{и} \quad \Delta = E.d;$$

причемъ коэффициенты D и E , зависящіе отъ азимутовъ звѣздъ a_w и a_0 , опять таки могутъ быть вычислены напередъ и даны въ вышесказанныхъ вспомогательныхъ таблицахъ. Такимъ образомъ все, что придется сдѣлать наблюдателю для вывода поправки хронометра изъ своихъ наблюденій, ограничится лишь нѣсколькими весьма простыми арифметическими дѣйствіями.

Остается сказать о погрѣшности, которой могутъ быть подвержены такія опредѣленія времени вслѣдствіе случайныхъ ошибокъ въ отсѣнкѣ моментовъ прохожденій звѣздъ черезъ нити, вслѣдствіе не вполне точнаго знанія широты мѣста наблюденій и еще вслѣдствіе происходящихъ иногда постепенныхъ перемѣнъ въ расположеніи мѣста нуля на уровнѣ. Если принять для средней случайной ошибки ϵ_i въ отсѣнкѣ момента прохожденія звѣзды черезъ нить извѣстное эмпирическое ея выраженіе въ зависимости отъ увеличенія трубы w и скорости движенія звѣзды по отношенію къ нити, то, при $w = 20$, $\varphi = 60^\circ$ и при допущенныхъ нами азимутахъ звѣздъ, въ среднемъ должно выходить приблизительно

$$\epsilon_i = \pm 0.32;$$

соотвѣтствующая же средняя случайная ошибка ϵ_u' въ выводѣ поправки хронометра изъ наблюденій одной пары звѣздъ выйдетъ тогда около ± 0.11 . Принимаемую въ вычисленіяхъ широту мѣста φ мы всегда можемъ считать достаточно хорошо извѣстною, а именно до $1''$, и хотя такая ошибка въ $1'$

повліяеть на выводъ поправки различно въ зависимости отъ азимутвъ звѣздъ, но въ среднемъ для всевозможныхъ паръ звѣздъ вліяніе ея выразится средней случайной ошибкой $\epsilon''_u = \pm 0^{\circ}07$. Подобнымъ же образомъ можно оцѣнить и вліяніе постепенныхъ измѣненій зенитнаго разстоянія трубы Z при одномъ и томъ же нормальномъ показаніи уровня $i = 0$; при допущеніи на основаніи нѣкоторыхъ опытныхъ данныхъ, что въ 10-минутный промежуткъ времени между наблюденіями двухъ звѣздъ это измѣненіе не будетъ превосходить въ среднемъ $\pm 1''$; соответствующая ему средняя случайная ошибка ϵ'''_u въ вычисленной поправкѣ хронометра выйдетъ около $\pm 0^{\circ}10$. Итакъ можно ожидать, что, отъ совокупнаго дѣйствія всѣхъ трехъ причинъ, выводъ поправки хронометра изъ наблюденій одной пары звѣздъ будетъ подлежать средней ошибкѣ

$$\epsilon_u = \pm \sqrt{\epsilon''_u{}^2 + \epsilon''_u{}^2 + \epsilon'''_u{}^2} = \pm 0^{\circ}16,$$

а изъ двухъ паръ звѣздъ, наблюденныхъ въ порядкѣ O, W, W, O или же W, O, O, W ,—средней ошибкѣ.

$$\epsilon_u = \sqrt{\frac{1}{2}(\epsilon''_u{}^2 + \epsilon''_u{}^2)} = \pm 0^{\circ}09.$$

Для повѣрки часовъ сейсмическихъ и метеорологическихъ обсерваторій такая точность, конечно, болѣе чѣмъ достаточна, а она еще нѣсколько повысится въ широтахъ ϕ меньшихъ 60° . Если бы даже широта мѣста наблюденій была извѣстна не съ тою точностью, какую мы предположили, а лишь до $2''$, то и происходящія отъ того въ опредѣленіяхъ времени ошибки были бы допустимы. На самомъ же дѣлѣ никогда не придется основываться на столь невыгодныхъ предположеніяхъ о широтѣ мѣста, такъ какъ она легко можетъ быть опредѣлена съ точностью до $1''$ тѣмъ же самымъ инструментомъ и совершенно подобными же наблюденіями разныхъ звѣздъ въ принятомъ нами неизмѣнномъ альмункантаратѣ $Z = 45^{\circ}$, какіе послужатъ и для опредѣленій времени; но только для этого надо будетъ пользоваться звѣздами, болѣе удаленными отъ перваго вертикала по ихъ азимутамъ, чѣмъ на $\pm 45^{\circ}$, и составлять изъ нихъ разныя пары такъ, чтобы обѣ звѣзды, одна—ближайшая къ югу, а другая—къ сѣверу, находились или на восточной, или же на западной сторонѣ меридіана. Притомъ же и самый выводъ искомой широты мѣста ϕ изъ такихъ наблюденій будетъ столь же простъ, какъ и объясненный нами выводъ поправки хронометра, если для всѣхъ этихъ звѣздъ и разныхъ паръ изъ нихъ будутъ составлены напередъ вспомогательныя таблицы, совершенно подобныя служащимъ для опредѣленій времени. Достаточно посвятить три или четыре вечера на наблюденія 15 паръ такихъ звѣздъ, чтобы широта опредѣлилась точнѣе чѣмъ до $1''$.

Къ испытанію всего вышеизложеннаго на дѣлѣ отнесся самымъ сочувственнымъ образомъ старшій астрономъ Пулковской Обсерваторіи профессоръ О. О. Витрамъ. Сдѣлавъ самъ нѣсколько пробныхъ наблюдений въ альмукантаратѣ $Z = 45^\circ$, онъ предложилъ одному изъ своихъ слушателей, геодезисту капитану Дитцу, исполнить большее число ихъ какъ для опредѣленія времени, такъ и широты мѣста, малымъ универсальнымъ инструментомъ работы Брауера. Прямая труба этого уже довольно стараго и вовсе неприспособленнаго къ такимъ наблюдениямъ инструмента имѣетъ объективъ всего лишь 23 м.м. въ диаметрѣ, а увеличеніе $w = 18$, и снабжена сѣткою изъ 4 горизонтальныхъ нитей на разстояніяхъ другъ отъ друга гораздо бѣльшихъ, чѣмъ это нужно для удобства наблюдений. Многочисленные ряды наблюдений, сдѣланныхъ кап. Дитцемъ въ теченіе шести вечеровъ съ 18 по 29 число минувшаго Марта (наблюдены прохожденія 80 звѣздъ), вполне оправдали сдѣланное нами выше предположеніе о возможности наблюдать такую трубою, при искусственномъ освѣщеніи поля зрѣнія, звѣзды 5.1 величины и привели, послѣ несложной ихъ обработки, къ тому очень важному результату, что оказавшаяся въ дѣйствительности точность выводовъ изъ нихъ поправки хронометра и почти не отличается отъ ожидавшейся à priori для вышесказанной силы трубы. Среднія случайныя ошибки наблюдений и выводовъ изъ нихъ оказались именно таковы:

	Ожидаемая.	Дѣйствительная.
Наблюдения прохожденія черезъ 1 нить . .	± 0.35	± 0.37
Вывода поправки и по одной парѣ звѣздъ .	± 0.17	± 0.18
» » » » двумъ парамъ	± 0.09	± 0.11

Для опредѣленія широты мѣста изъ подобныхъ же наблюдений, т. е. именно такъ, какъ было сказано нами выше, г. Дитцемъ было наблюденно въ тѣ же вечера всего 14 паръ звѣздъ, давшихъ въ общемъ среднемъ выводѣ искомую широту $\varphi = 59^\circ 46' 22''.2$ съ тою же самою среднею случайною ошибкою этого вывода $\pm 0''.45$, какую слѣдовало ожидать и à priori; точно же извѣстная широта геодезической обсерваторіи, гдѣ производились наблюдения ($\varphi = 59^\circ 46' 21''.5$), отличается отъ найденной только на $0''.7$.

Н. Цингеръ.

9 Апрѣля 1910 г.

Протоколь засѣданія 12-го мая 1910 г.

Подъ предѣдательствомъ князя Б. Б. Голицына присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссіи: А. П. Карпинскій, Г. В. Левицкій, А. Я. Орловъ, И. И. Померанцевъ, Ю. М. Шокальскій, Э. В. Штеллингъ, секретарь Комиссіи П. М. Никифоровъ и приглашенные на засѣданіе гости: И. И. Вилиппъ, Г. А. Керсновскій, К. К. Матвѣевъ и Л. А. Ячевскій.

§ 42.

Прочтенъ и утвержденъ протоколь предыдущаго засѣданія 9-го апрѣля 1910 г.

§ 43.

Князь Б. Б. Голицынъ сдѣлалъ докладъ: „О новомъ типѣ вертикальнаго сейсмографа“.

Исслѣдованіе вертикальной составляющей движенія точки земной поверхности представляется чрезвычайно важной задачей точной сейсмологии, такъ какъ комбинируя эту составляющую съ абсолютными значеніями горизонтальныхъ смѣщеній, возможно опредѣлить уголъ, образуемый направлениемъ сейсмическихъ лучей съ плоскостью горизонта, и, такимъ образомъ, освѣтить вопросъ о траекторіи сейсмическихъ лучей внутри земнаго шара, а, вмѣстѣ съ тѣмъ, и пролить свѣтъ на вопросъ о внутреннемъ строеніи нашей планеты. Новый типъ вертикальнаго сейсмографа, разработанный княземъ Б. Б. Голицынымъ, построенъ на тѣхъ же принципахъ, какъ и горизонтальные маятники его системы, а именно, маятникъ доведенъ до границы аперіодичности посредствомъ сильнаго затуханія и снабженъ гальванометрической регистраціей. Плечо маятника съ грузомъ около 24 кгр. можетъ вращаться около горизонтальной оси и удерживается въ горизонтальномъ положеніи посредствомъ стальной пружины. На свободномъ концѣ плеча прикрѣплены индукціонная катушка для гальванометрической регистраціи и мѣдная пластинка для магнитнаго затуханія; какъ первая, такъ и вторая находятся между полюсами сильныхъ постоянныхъ магнитовъ.

Назовемъ черезъ L — длину пружины и черезъ P — силу натяженія пружины. Отношеніе $\beta = \frac{\Delta P}{\Delta L}$ есть постоянная величина, зависящая отъ упругихъ свойствъ пружины.

Обозначая черезъ

- T — періодъ колебанія маятника,
- ε — постоянную, зависящую отъ степени затуханія,
- g — ускореніе подъ вліяніемъ силы земного притяженія,
- $l = \frac{\sum mr^2}{\sum mr}$ — приведенную длину маятника,
- h — разстояніе отъ нижняго конца пружины до плеча маятника,
- a — разстояніе отъ оси вращенія до пружины,
- θ — угловое отклоненіе системы отъ положенія равновѣсія,
- K — моментъ инерціи системы относительно оси вращенія,
- z — вертикальное смѣщеніе точки земной поверхности,

князь Б. Б. Голицынъ находитъ, что θ должно удовлетворять слѣдующему дифференціальному уравненію:

$$\theta'' + 2\varepsilon\theta' + n^2\theta + \frac{z''}{l} = 0, \dots\dots\dots (1)$$

гдѣ

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

и

$$n^2 = \frac{\beta}{K} a^2 - \frac{g}{a} \frac{h}{l} \left(1 - \frac{h}{L}\right) \dots\dots\dots (3)$$

Формула (3) показываетъ, что укрѣпляя нижній конецъ пружины ниже плеча маятника и уменьшая a , можно легко увеличить собственный періодъ прибора, что имѣетъ весьма большое значеніе.

Если къ этому сейсмографу присоединить аперіодическій гальванометръ съ собственнымъ періодомъ $T_1 = \frac{2\pi}{n_1}$, то уголъ отклоненія гальванометра будетъ удовлетворять уравненію:

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

гдѣ k — переводный коэффициентъ, опредѣляющій чувствительность прибора.

Предположимъ теперь, что до сейсмографа доходитъ сейсмическая волна, вертикальная составляющая которой отвѣчаетъ уравненію

$$z = z_m \sin\left(2\pi \frac{t}{T_p} + \delta\right) \dots\dots\dots (5)$$

Введемъ слѣдующія обозначенія:

$$u = \frac{T_p}{T}, \quad u_1 = \frac{T_p}{T_1}, \quad f(u) = \left(\frac{2u}{1+u^2}\right)^2 \quad \text{и} \quad \mu^2 = 1 - \left(\frac{\varepsilon}{n}\right)^2,$$

и назовемъ черезъ A_1 — длину оптического рычага.

Князь Б. Б. Голицынъ показалъ, что кривая, описанная гальванометромъ, имѣетъ тотъ же самый періодъ T_p , какъ и сейсмическая волна; что же касается амплитуды y_m движенія гальванометра, то она связана съ искою амплитудою z_m движенія земли уравненіемъ:

$$z_m = \frac{\pi l}{k A_1} (1 + u_1^2) (1 + u^2) \sqrt{1 - \rho^2 f(u)} \cdot \frac{y_m}{T_p} \dots \dots \dots (6)$$

Формула (6) позволяетъ опредѣлить абсолютное значеніе вертикальнаго смѣщенія точки земной поверхности и она вполне идентична съ той формулой, которую князь Б. Б. Голицынъ далъ ранѣе для горизонтальнаго сейсмографа.

Увеличеніе $V = \frac{y_m}{z_m}$ зависитъ, какъ и во всѣхъ сейсмометрическихъ приборахъ, отъ T_p . Въ первомъ приборѣ этого типа, построенномъ княземъ Б. Б. Голицынымъ, увеличеніе превосходило 800.

Чтобы убѣдиться въ справедливости формулы (6), князь Б. Б. Голицынъ помѣстилъ свой приборъ на подвижную платформу, которая могла совершать вертикальныя колебанія, и помощью системы рычаговъ измѣрялась непосредственно амплитуда z_m вертикальнаго смѣщенія платформы.

Кромѣ того, князь Б. Б. Голицынъ вычислилъ по формулѣ (6) значеніе z_m изъ кривыхъ, описанныхъ гальванометромъ при различныхъ значеніяхъ T_p . Вычисленныя величины оказались въ прекрасномъ согласіи съ непосредственно измѣренной.

Теорія прибора даетъ возможность предвидѣть также, что всегда будетъ существовать разность фазъ между движеніемъ платформы и движеніемъ гальванометра.

Вычисленная разность фазъ также прекрасно согласовалась съ наблюденной.

Г. В. Левицкій привѣтствовалъ князя Б. Б. Голицына съ полнымъ, исчерпывающимъ рѣшеніемъ вопроса и выразилъ пожеланіе, чтобы вертикальный сейсмографъ системы князя Б. Б. Голицына возможно скорѣе былъ установленъ въ мѣстностяхъ, близкихъ къ очагамъ землетрясеній, — въ Туркестанѣ, Восточной Сибири и на Кавказѣ, такъ какъ вблизи очага горизонтальные маятники перестаютъ давать показанія и ясная регистрація можетъ быть достигнута лишь помощью вертикальнаго сейсмографа.

Далѣе Г. В. Левицкій замѣтилъ, что, сравнивая число землетрясеній, отмѣченныхъ въ Юрьевѣ и Геттингенѣ, онъ обнаружилъ, что въ Геттингенѣ зарегистрировано меньше землетрясеній, несмотря на близость очаговъ къ нему и присутствіе вертикальнаго сейсмографа.

Это объясняется, по мнѣнію Г. В. Левицкаго, малою чувствительностью маятника Вихерта.

§ 44.

А. Я. Орловъ сдѣлалъ докладъ: „Объ опредѣленіи азимута эпицентра“.

Вопросъ объ опредѣленіи азимута эпицентра по записамъ одной сейсмической станціи можно считать рѣшеннымъ, если станція снабжена приборами князя Б. Б. Голицына. Однако, А. Я. Орловъ, исходя изъ чисто теоретическихъ соображеній, полагаетъ, что та же задача можетъ быть рѣшена и съ маятниками другихъ системъ, при непосредственной оптической или механической регистраціи.

Вычисленія въ такомъ случаѣ также просты.

Въ самомъ дѣлѣ, движеніе маятника слѣдуетъ уравненію:

$$\theta'' + 2\epsilon\theta' + n^2\theta = -\frac{x''}{l}.$$

Первое интегрированіе приводитъ къ уравненію:

$$\theta' + 2\epsilon\theta + n^2 \int_0^t \theta dt = -\frac{x'}{l} + \theta_0' + \frac{x_0'}{l},$$

интегрируя второй разъ и принимая во вниманіе, что

$$\theta_0' + \frac{x_0'}{l} = 0,$$

получаютъ:

$$\theta + 2\epsilon \int_0^t \theta dt + n^2 \int_0^t dt \int_0^t \theta dt = -\frac{x}{l}.$$

Если членами, пропорціональными времени (t мало), пренебречь, то

$$\theta = -\frac{x}{l}$$

при этомъ не приходится дѣлать никакихъ предположеній о законѣ колебанія частицы земной поверхности.

Однако, къ сожалѣнію, въ большинствѣ случаевъ первая фаза начинается неясно. А. Я. Орлову удалось отобрать только 3 сейсмограммы изъ числа записанныхъ въ Юрьевѣ, гдѣ P была доступна для измѣренія. Результаты слѣдующіе:

	α	
	вычисл.	наблюд.
Мессинское земл.	156°	154°
Калабрійское земл.	156°	159°

По поводу доклада А. Я. Орлова, князь Б. Б. Голицынъ замѣтилъ, что проф. Kővesligetű въ Будапештѣ предложилъ своимъ ученикамъ заняться опредѣленіемъ азимута и результаты получились плачевные. Д-ръ Geiger также допускаетъ возможность опредѣленія α по одной станціи, однако не даетъ ни одного числа. Повидимому, какъ полагаетъ

князь Б. Б. Голицынъ, приборъ Вихерта для этой цѣли совершенно не пригоденъ и необходимо имѣть два совершенно независимыхъ маятника.

§ 45.

А. Я. Орловъ сдѣлалъ докладъ: „Объ организаціи наблюденій въ Россіи надъ деформацией земли подъ вліяніемъ луннаго притяженія“.

Въ своемъ докладѣ А. Я. Орловъ настаивалъ на необходимости немедленно же приступить къ организаціи названныхъ наблюденій въ континентальныхъ частяхъ Россіи. Комиссія имѣетъ въ центрѣ материка нѣсколько первоклассныхъ сейсмическихъ станцій, и стоитъ только ввести нуль-линію, чтобы можно было немедленно же приступить къ наблюденіямъ. Хотя обработка матеріаловъ и трудна, но наблюденія сами по себѣ весьма просты. Поправки часовъ не важны. Стоимость наблюденій не превыситъ 200 руб. въ годъ. Для наблюденій можно было-бы воспользоваться легкими маятниками Цельнера-Ренсольда, принадлежащими сейсмической станціи въ Баку, такъ какъ въ скоромъ времени названная станція будетъ снабжена новыми приборами системы князя Б. Б. Голицына.

Въ заключеніе докладчикъ внесъ слѣдующія предложенія:

- 1) просить всѣхъ завѣдывающихъ станціями 1-го разряда ввести нуль-линію,
- 2) просить Э. Л. Нобеля о передачѣ во временное пользованіе Комиссіи маятниковъ, нынѣ установленныхъ на станціи въ Баку, по снабженіи названной станціи новыми приборами,
- 3) нынѣшнимъ же лѣтомъ установить эти маятники на одной изъ 3-хъ станцій 1-го разряда, удостовѣрившись предварительно въ пригодности помѣщенія.

При обсужденіи Комиссіей поднятаго докладчикомъ вопроса выяснилось, что сейсмическая станція въ Екатеринбургѣ непригодна для проектируемыхъ наблюденій, такъ какъ она помѣщается въ надземномъ деревянномъ зданіи. Что же касается Ташкентской станціи, то, хотя ея географическое положеніе весьма выгодно, однако подвалы станціи имѣютъ нѣкоторые недостатки, и передъ установкой приборовъ необходимо выявить всѣ дефекты помѣщенія. Станція въ Иркутскѣ вполне пригодна для наблюденій, такъ какъ она помѣщается въ полуподземномъ зданіи, гдѣ годовыя колебанія температуры ничтожны; поэтому въ Иркутскѣ можно было бы сейчасъ же приступить къ наблюденіямъ.

Желательно было бы организовать наблюденія также въ Казани или Томскѣ.

Принимая во вниманіе вышеизложенное, Комиссія постановила:

- 1) просить А. Я. Орлова списаться отъ имени Комиссіи съ проф. Б. П. Вейнбергомъ въ Томскѣ, съ профессорами Д. И. Дубяго и В. А. Ульянинымъ въ Казани и съ Директоромъ

Обсерваторіи въ Иркутскѣ А. В. Вознесенскимъ относительно возможности въ ближайшемъ будущемъ приступить къ наблюденіямъ въ названныхъ пунктахъ надъ деформаціей земли подъ вліяніемъ луннаго притяженія,

- 2) просить И. И. Померанцева списаться съ Завѣдывающимъ Астрофизической Обсерваторіей въ Ташкентѣ полк. Давыдовымъ относительно пригодности для названныхъ наблюденій подваловъ Ташкентской Обсерваторіи, и
- 3) просить Э. Л. Нобеля о передачѣ во временное пользованіе Комиссіи 2-хъ маятниковъ Цельнера-Репсольда, установленныхъ на станціи въ Баку, по снабженіи этой станціи новыми приборами.

§ 46.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ, что по смѣтѣ Министерства Народнаго Просвѣщенія 1910 года открытъ кредитъ въ суммѣ 42940 р. 68 к. на постройку центральной сейсмической станціи въ Пулковѣ и жилого дома при ней и въ суммѣ 2000 руб. на приобрѣтеніе инструментовъ для сейсмическихъ станцій; вмѣстѣ съ тѣмъ князь Б. Б. Голицынъ предложилъ немедленно же приступить къ избранію Строительной Комиссіи по сооруженію названной станціи.

Въ составъ Строительной Комиссіи были избраны

членами комиссіи: О. А. Баклундъ.
князь Б. Б. Голицынъ.
А. П. Карпинскій.
Ө. Н. Чернышевъ.
Э. В. Штеллингъ.

дѣлопроизводителемъ: П. М. Никифоровъ.
производителемъ работъ архит. А. А. Полѣщукъ.

При этомъ Строительной Комиссіи было предложено самой избрать способъ веденія постройки, какой она признаетъ наиболее удобнымъ и выгоднымъ.

§ 47.

Доложено письмо М. В. Вахрушева отъ 17 апр. 1910 г., изъясвившаго желаніе принять на себя завѣдываніе Вѣрненской сейсмической станціей, если Комиссія признаетъ полезнымъ возстановить названную станцію. Въ послѣднемъ письмѣ М. В. Вахрушевъ сообщаетъ, что возстановленіе станціи, по его соображеніямъ, потребуетъ расхода около 75 рублей.

Постановлено:

- 1) передать оставшіеся у І. І. Сикоры 125 руб. въ распоряженіе М. В. Вахрушева на оборудованіе новаго помѣщенія для станціи въ г. Вѣрномъ,

2) выслать на Вѣрненскую сейсмическую станцію 2 новыхъ регистрирующихъ аппарата изъ числа заказанныхъ Г. В. Левицкимъ механику Шульце въ Юрьевѣ.

§ 48.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ, что имъ отправленъ въ Парижъ проф. Bigourdan'у горизонтальный маятникъ его, князя Б. Б. Голицына системы и гальванометръ для установки ихъ въ подвалѣ Астрономической Обсерваторіи въ Парижѣ.

§ 49.

Доложено ходатайство А. В. Вознесенскаго о присылкѣ новаго регистрирующаго аппарата для сейсмической станціи въ Кабанскѣ.

Постановлено: передать сейсмической станціи въ Кабанскѣ новый регистрирующій аппаратъ работы Шульце, какъ только послѣднимъ будутъ изготовлены заказанные ему приборы.

Протоколь засѣданія 8-го октября 1910 года.

Подъ предѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Комиссіи: князь Б. Б. Голицынъ, А. Я. Орловъ, И. И. Померанцевъ, Ѳ. Н. Чернышевъ, Ю. М. Шокальскій и Э. В. Штеллингъ и секретарь Комиссіи П. М. Никифоровъ.

§ 50.

Прочтенъ и утвержденъ протоколь предыдущаго засѣданія 12-го мая с. г.

§ 51.

Князь Б. Б. Голицынъ сдѣлалъ краткое сообщеніе о своей заграничной командировкѣ лѣтомъ 1910 года.

Поѣздка князя Б. Б. Голицына имѣла цѣлью, во-первыхъ, осмотрѣ нѣкоторыхъ сейсмическихъ станцій и другихъ научныхъ учреждений и, во-вторыхъ, установку сейсмографовъ его, князя Б. Б. Голицына, системы на обсерваторіи въ Парижѣ и на сейсмической станціи въ Eskdalemuir, въ Шотландіи.

Весьма благопріятное впечатлѣніе произвело на князя Б. Б. Голицына его пребываніе на обсерваторіи въ Eskdalemuir, гдѣ все заботливо было подготовлено для установки сейсмографовъ, такъ что въ теченіе одного дня удалось установить оба сейсмографа, и въ тотъ же вечеръ станція была пущена въ ходъ.

Еще до отъѣзда князя Б. Б. Голицына изъ обсерваторіи было зарегистрировано два землетрясенія съ очень хорошей и отчетливой записью.

Судя по письмамъ Директора обсерваторіи, проф. Walker'a, сейсмографы князя Б. Б. Голицына продолжаютъ прекрасно работать.

По приглашенію Парижской Академіи Наукъ, а также Лондонскаго Королевскаго Общества княземъ Б. Б. Голицынымъ въ засѣданіяхъ названныхъ учреждений были прочитаны доклады о результатахъ его

исслѣдованій по сейсмологіи, причемъ особенно сочувственно былъ встрѣченъ докладъ въ Лондонѣ.

Обсерваторія въ Брюсселѣ и Центральное Бюро Международной Сейсмологической Ассоціаціи въ Страсбургѣ изъявили желаніе установить у себя аперіодическіе маятники системы князя Б. Б. Голицына съ гальванометрической регистраціей, и соотвѣтствующій заказъ уже данъ механику г. Мазингу. Также заказанъ уже полный комплектъ приборовъ для новой сейсмической станціи въ окрестностяхъ Франкфурта.

Отчетъ князя Б. Б. Голицына о заграничной командировкѣ лѣтомъ 1910 года напечатанъ въ „Извѣстіяхъ Имп. Ак. Н.“ № 13.

§ 52.

Князь Б. Б. Голицынъ сдѣлалъ докладъ: „Къ вопросу объ опредѣленіи времени на сейсмическихъ станціяхъ 2-го разряда“.

Для опредѣленія поправокъ часовъ на сейсмическихъ станціяхъ, по мнѣнію князя Б. Б. Голицына, слѣдуетъ предпочесть самостоятельное опредѣленіе времени всякимъ телеграфнымъ сношеніямъ.

Въ одномъ изъ прежнихъ засѣданій Комиссіи, княземъ Б. Б. Голицынымъ было предложено воспользоваться съ этой цѣлью малыми пассажными инструментами (діаметръ объектива = 25 м/м) работы механика Ваншаффа въ Берлинѣ.

Въ настоящемъ докладѣ князь Б. Б. Голицынъ привелъ результаты своихъ наблюденій однимъ изъ подобныхъ инструментовъ. Принимая во вниманіе, что для сейсмическихъ станцій достаточно знать время съ точностью, не превышающей одной секунды, князь Б. Б. Голицынъ полагалъ излишнимъ вводить поправки на азимуть, на наклонность оси и на коллимаціонную ошибку, такъ какъ всѣ эти три источника погрѣшностей съ достаточной точностью могутъ быть уничтожены передъ производствомъ наблюденій. Вычисленія при этомъ становятся крайне простыми и требуютъ весьма мало времени.

Въ подтвержденіе своихъ словъ князь Б. Б. Голицынъ привелъ результаты наблюденій, произведенныхъ весной 1910 года въ Физической Лабораторіи Академіи Наукъ. Въ теченіе нѣсколькихъ вечеровъ наблюдались прохожденія различныхъ звѣздъ со склоненіемъ отъ -20° до $+41^\circ$; поправки хронометра, вычисленные изъ этихъ наблюденій въ предположеніи, что инструментальныя ошибки малы, оказались въ прекрасномъ согласіи между собою.

Разности поправокъ въ каждой серіи наблюденій не превышали $0,2 - 0,3$ сек.

Въ виду вышеизложеннаго, князь Б. Б. Голицынъ признавалъ желательнымъ и возможнымъ ввести самостоятельное опредѣленіе времени на сейсмическихъ станціяхъ 2-го разряда помощью малыхъ пассажныхъ инструментовъ.

Предсѣдатель Комиссіи, О. А. Баклундъ, по поводу доклада князя Б. Б. Голицына замѣтилъ, что уничтожить инструментальныя ошибки

очень трудно. Поправки, обусловленные неточностью инструмента возрастают вмѣстѣ со склоненіемъ δ звѣзды; такъ какъ въ избранныхъ княземъ Б. Б. Голицынымъ звѣздахъ δ мало, то согласіе отдѣльныхъ результатовъ наблюденія серіи звѣздъ не можетъ служить, по мнѣнію О. А. Баклунда, доказательствомъ, что инструментальныя ошибки дѣйствительно уничтожены. Вслѣдствіе сего О. А. Баклундъ признавалъ болѣе подходящимъ инструментомъ для станцій 2-го разряда — кругъ Пистора, свободный отъ инструментальныхъ ошибокъ.

Князь Б. Б. Голицынъ возразилъ на это, что наблюденія съ кругомъ гораздо труднѣе, вслѣдствіе малаго увеличенія и трудности удерживать приборъ въ рукахъ въ неподвижномъ положеніи; вычисленія же также нисколько не проще.

И. И. Померанцевъ тоже находилъ кругъ Пистора неудобнымъ инструментомъ, такъ какъ трудна наводка и самый инструментъ непроченъ, вслѣдствіе чего И. И. Померанцевъ высказался за пассажный инструментъ и предложилъ, для исключенія ошибки на азимуть, наблюдать зенитныя звѣзды.

Ю. М. Шокальскій и Э. В. Штеллингъ также говорили въ пользу пассажнаго инструмента.

Постановлено напечатать статью князя Б. Б. Голицына „Объ опредѣленіи времени и т. д.“ въ т. IV „Извѣстій С. К.“

§ 53.

Князь Б. Б. Голицынъ демонстрировалъ нѣсколько сейсмограммъ отъ вертикальнаго сейсмографа его системы, установленнаго нынѣ на сейсмической станціи въ Пулковѣ, и обратилъ вниманіе Комиссіи на то, что вертикальный сейсмографъ въ высшей степени отчетливо показываетъ первую предварительную фазу даже въ тѣхъ случаяхъ, когда невозможно опредѣлить соотвѣтственный моментъ на сейсмограммѣ отъ горизонтальнаго маятника.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 54.

А. Я. Орловъ, сообщилъ: „О результатахъ переговоровъ относительно организаціи въ Восточной Россіи наблюденій надъ деформациями земли подъ вліяніемъ луннаго притяженія“.

По просьбѣ Комиссіи А. Я. Орловъ вступилъ въ переписку съ Директоромъ Иркутской Обсерваторіи А. В. Вознесенскимъ и профессоромъ Казанскаго Университета Д. И. Дубяго. Отъ А. В. Вознесенскаго отвѣта не послѣдовало; Д. И. Дубяго сообщилъ, что въ распоряженіе Комиссіи могутъ быть предоставлены два прекрасныхъ погреба въ городѣ и одинъ за городомъ. Однако, при личномъ осмотрѣ помѣщенія, А. Я. Орловъ убѣдился, что предложенные подвалы не годятся для намѣченныхъ наблюденій; на сооруженіе же спеціальнаго погреба Университетъ не располагаетъ средствами.

Точно также оказались неподходящими подвалы астрономическихъ обсерваторій при Московскомъ и Харьковскомъ Университетахъ.

Такимъ образомъ, по мнѣнію А. Я. Орлова, ни въ Казани, ни въ Москвѣ, ни въ Харьковѣ нельзя предпринять наблюдений надъ деформациями земли подъ вліяніемъ луннаго притяженія съ увѣренностью на удовлетворительные результаты.

Не имѣя въ текущемъ году въ своемъ распоряженіи достаточныхъ денежныхъ средствъ, необходимыхъ къ тому, чтобы названныя наблюденія были обставлены съ подобающею полнотою, Комиссія постановила: отложить до будущаго 1911 года организацію наблюдений надъ деформациями земли подъ вліяніемъ луннаго притяженія съ тѣмъ, чтобы въ предстоящемъ году расходы на сей предметъ были покрыты на счетъ предвидимыхъ остатковъ отъ кредита, ассигнованнаго на нужды Комиссіи въ 1911 году.

§ 55.

Князь Б. Б. Голицынъ доложилъ о послѣдовавшемъ въ 17-ый день іюня сего года Высочайшемъ Его Императорскаго Величества утвержденіи закона объ отпускѣ изъ государственнаго казначейства средствъ на содержаніе сейсмическихъ учрежденій.

Расходы на содержаніе сейсмическихъ учрежденій исчислены слѣдующимъ образомъ:

I. *Содержаніе центральной сейсмической станціи.*

Вознагражденіе старшему наблюдателю (при готовой квартирѣ)	1500 руб.
Вознагражденіе младшему наблюдателю (при готовой квартирѣ)	1200 "
На покупку фотографической бумаги, химическихъ препаратовъ и на электричество для сейсмографовъ	4000 "
На отопленіе, ремонтъ, наемъ прислуги и хозяйственные расходы	1800 "
Итого	8500 руб.

II. *Содержаніе центрального бюро.*

Вознагражденіе 3 членамъ центрального бюро, по 600 р. каждому	1800 руб.
Вознагражденіе помощнику редактора сейсмическаго бюллетеня	840 "
На вычисленіе наблюдений	1500 "
Вознагражденіе механику	1500 "
На расходы по механической мастерской	600 "
Итого	6240 руб.

III. *Содержание пяти сейсмических станций 1-го класса.*

Вознаграждение завѣдывающимъ станціями, по 1800 р. каждому	9000 руб.
На фотографическую бумагу, химическіе препараты и освѣщеніе, по 1500 р.	7500 „
Итого....	16500 руб.

IV. *Содержание десяти сейсмическихъ станцій 2-го класса.*

Вознаграждение наблюдателямъ по 300 р.	3000 руб.
На содержание станцій (бумагу, фиксажъ, бензинъ и пр.), по 150 р.	1500 „
На обработку сейсмограммъ, по 50 р.	500 „
Итого....	5000 руб.

V. *На изданія Сейсмической Комиссіи.*

На бумагу, воспроизведеніе графическихъ таблицъ, сейсмограммъ, картъ и пр.	2500 руб.
---	-----------

VI. *На научныя предпріятія и изслѣдованія, предпринимаемыя по порученіямъ Сейсмической Комиссіи*

	3000 руб.
--	-----------

VII. *На инспекцію сейсмическихъ станцій.*

На командировки съ ученою цѣлью и на путевые расходы иногороднихъ членовъ Комиссіи...	2000 руб.
---	-----------

VIII. *На канцелярію и библиотеку Сейсмической Комиссіи.*

Вознаграждение секретарю Комиссіи.....	600 руб.
На наемъ писцовъ, разсылку изданій и корреспонденціи и на канцелярскія принадлежности..	600 „
На покупку и переплетъ книгъ.....	500 „
Итого....	1700 руб.

А всего..... 45440 руб.

Кромѣ того и впредь до 1916 года ежегодно будетъ отпускаться на расходы по участию въ *Международной Сейсмологической Ассоціаціи*

	1472 руб.
--	-----------

Сверхъ положенныхъ къ ежегодному отпуску.... 46912 руб.

отпущено на *единовременныя расходы*:

(въ 1910 году) 1) по сооруженію центральной станціи.....	29409 р. 38 к.
„ 2) по сооруженію жилого дома при центр. ст.	13531 „ 27 „

(въ 1910 году) 3)	по приобрѣтенію инструментовъ для ст. 1-го разряда.....	2000 р. — к.
(въ 1911 году) 4)	по оборудованію центральной станціи.....	8000 " — "
" 5)	по оборудованію 5 первокл. стан- цій по 3000 р. (за вычетомъ 2000 р.).....	13000 " — "
" 6)	по оборудованію 10 второклассн. станцій по 900 р.....	9000 " — "
Итого....		74940 р. 65 к.

Постановлено благодарить князя Б. Б. Голицына за его энергичное содѣйствіе къ отпуску новыхъ кредитовъ на содержаніе сейсмическихъ учрежденій.

§ 56.

Обсуждался вопросъ о выборѣ мѣста для 5 станцій 1-го разряда.

Князь Б. Б. Голицынъ указалъ на необходимость, кромѣ нынѣ существующихъ станцій 1-го разряда, учредить таковыя еще 1) на восточномъ побережьи Азіатской Россіи, напр., во Владивостокѣ и 2) между Пулковомъ и Иркутскомъ, напр., въ Екатеринбургѣ или Томскѣ.

Такъ какъ вблизи Владивостока предположено основать въ скоромъ времени метеорологическую обсерваторію, то Комиссія признала желательнымъ учредить станцію при проектируемой обсерваторіи; что же касается выбора между Томскомъ и Екатеринбургомъ, то Комиссія склонилась въ пользу Екатеринбурга, такъ какъ этотъ пунктъ лежитъ ближе къ срединѣ между Пулковомъ и Иркутскомъ и, кромѣ того, въ Екатеринбургѣ имѣется уже станція 2-го разряда съ наблюдателями, близко знакомыми съ практикой сейсмометрическихъ наблюденій.

Постановлено:

- 1) учредить 2 новыя сейсмическія станціи 1-го разряда во Владивостокѣ и Екатеринбургѣ,
- 2) просить Э. В. Штеллинга списаться съ Директоромъ Екатеринбургской Обсерваторіи Абельсомъ объ устройствѣ при обсерваторіи сейсмической станціи 1-го разряда и о потребныхъ для сего расходахъ,
- 3) нынѣ существующія станціи 1-го разряда въ Тифлисѣ, Ташкентѣ и Иркутскѣ сохранить и на будущее время.

§ 57.

Обсуждался вопросъ о типѣ приборовъ для станцій 1-го разряда.

Все члены Комиссіи единогласно высказались за то, чтобы все станціи 1-го разряда были снабжены аперіодическими маятниками системы

князя Б. Б. Голицына съ магнитнымъ затуханіемъ и гальванометрической регистраціей. Князь Б. Б. Голицынъ выразилъ также желаніе, чтобы на центральной станціи въ Пулковѣ былъ установленъ дополнительно второй комплектъ приборовъ меньшей чувствительности.

Принимая во вниманіе, что для станцій въ Тифлисѣ и Иркутскѣ уже заказаны 4 горизонтальныхъ маятника князя Б. Б. Голицына и 2 регистрирующихъ аппарата, положено:

- 1) заказать механику Мазингу
 - а) 8 горизонтальныхъ маятниковъ съ гальваном. регистраціей для станцій въ Пулковѣ, Владивостокѣ, Екатеринбургѣ и Ташкентѣ,
 - б) 4 большихъ регистрирующихъ аппарата для станцій во Владивостокѣ, Екатеринбургѣ, Ташкентѣ и Пулковѣ,
 - в) 4 вертикальныхъ сейсмографа системы князя Б. Б. Голицына для станцій въ Иркутскѣ, Екатеринбургѣ, Пулковѣ и Тифлисѣ,
- 2) одинъ изъ указанныхъ въ пунктѣ 1 с. вертикальныхъ сейсмографовъ передать временно А. Я. Орлову на изслѣдованіе.

§ 58.

Обсуждался вопросъ о выборѣ мѣста для станцій 2-го разряда.

Закономъ 17 іюня 1910 года отпущены средства на содержаніе съ 1-го января 1911 года десяти станцій 2-го разряда, по 450 рбл. ежегодно на каждую.

Въ настоящее время на средства Комиссіи содержатся 8 станцій 2-го разряда въ 1) *Кабанскъ*, 2) *Ажалалакахъ*, 3) *Батумъ*, 4) *Боржомъ*, 5) *Зурнабатъ*, 6) *Шемахъ*, 7) *Пятигорскъ* и 8) *Екатеринбургъ*.

Изъ числа перечисленныхъ станцій, станцію въ Екатеринбургѣ предположено преобразовать въ первоклассную.

Кромѣ того, на средства иныхъ учрежденій содержатся въ настоящее время второклассныя станціи въ 1) *Балаханахъ* и 2) *Маритумъ*.

Далѣе, распоряженіемъ Комиссіи въ разное время закрыты сейсмическія станціи въ *Читѣ*, *Красноярскѣ*, *Дербентѣ* и *Вярномъ*, вслѣдствіе ихъ крайне неудовлетворительнаго состоянія.

Приступая къ реорганизациіи сѣти сейсмическихъ станцій, Комиссія приняла, какъ руководящій принципъ, что станціи 2-го разряда должны служить для детальнаго изученія сейсмическихъ явленій въ непосредственной близости отъ очаговъ и съ этой цѣлью должны быть учреждаемы только въ сейсмическихъ областяхъ. Вслѣдствіе сего положено:

просить *Ө. Н. Чернышева* дать заключеніе по вопросамъ

- 1) въ какихъ частяхъ Россіи, по особенностямъ ихъ геологическаго строенія, можно ожидать наиболѣе частаго и сильнаго проявленія сейсмической дѣятельности,
- 2) какъ слѣдуетъ размѣстить станціи, чтобы каждая группа ихъ наилучшимъ образомъ обслуживала соотвѣтственную область.

§ 59.

Избрана Подкомиссія въ составѣ князя Б. Б. Голицына, Г. В. Левицкаго, А. Я. Орлова и И. И. Померанцева для выработки новой схемы сейсмическаго бюллетеня и выбора приборовъ для станцій 2-го разряда.

§ 60.

Обсуждался вопросъ о дополнительномъ заказѣ контактныхъ часовъ фирмъ Strasser & Rohde.

Имѣя въ виду снабдить все станціи какъ 1-го, такъ 2-го разрядовъ усовершенствованными часовыми механизмами, Комиссія постановила:

просить Г. В. Левицкаго сдѣлать дополнительный заказъ названной фирмъ по выясненіи, сколько станцій уже снабжено новыми часами.

§ 61.

Предсѣдатель Строительной Комиссіи по сооруженію центральной сейсмической станціи и жилого дома при ней въ Пулковѣ, князь Б. Б. Голицынъ, доложилъ о ходѣ работъ по сооруженію названной станціи.

Напомнивъ въ общихъ чертахъ проектъ зданія, князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ, что подземное зданіе станціи вчернѣ уже готово и въ ближайшіе дни будетъ приступлено къ засыпкѣ зданія землею.

Такъ какъ, по условіямъ мѣстности, пришлось жилой домъ отвести на разстояніе свыше 30 саженой отъ станціи, князь Б. Б. Голицынъ во избѣжаніе бесполезныхъ потерь теплоты, признавалъ за лучшее помѣстить котель для отопленія станціи не въ жиломъ домѣ, какъ то первоначально предполагалось, а въ особомъ каменномъ строеніи вблизи станціи.

Далѣе, князь Б. Б. Голицынъ ознакомилъ присутствовавшихъ съ новымъ проектомъ жилого дома. Такъ какъ по требованію Техническаго Комитета Министерства Народнаго Просвѣщенія лѣстничную клѣтку, равно какъ и самое лѣстницу приходится строить изъ несгораемыхъ матеріаловъ, то общая стоимость зданія возрасла на 2000 рблей противъ ассигнованной суммы (13531 рбл.), каковой перерасходъ князь Б. Б. Голицынъ предполагаетъ покрыть изъ остатковъ отъ суммъ, ассигнованныхъ на содержаніе Пулковской станціи въ 1911 году.

Надъ домомъ будетъ выстроена также башенка для метеорологическихъ наблюдений. Къ веснѣ 1911 года будутъ закончены все строительныя работы, послѣ чего князь Б. Б. Голицынъ полагаетъ возможнымъ приступить къ оборудованію станціи.

Положено:

вѣрить князю Б. Б. Голицыну полное оборудованіе центральной сейсмической станціи въ Пулковѣ въ предѣлахъ ассигнованной на сей предметъ суммы (8000 рбл.).

§ 62.

Э. В. Штеллингъ довелъ до свѣдѣнія Комиссiи, что по ходатайству Директора Главной Физической Обсерваторiи Комитетъ Управленiя желѣзныхъ дорогъ, по журналу отъ 4-го сентября с. г., постановилъ отпустить ежегодно, начиная съ 1910 года, по 200 рбл. на обработку записей имѣющагося на ст. Маритуй сейсмографа.

Что же касается приобрѣтенiя для станци Маритуй сейсмографа усовершенствованной конструкции, то таковое приобрѣтенiе Комитетъ не призналъ нынѣ возможнымъ.

Принято къ свѣдѣнiю.

§ 63.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ о своемъ намѣренiи издавать еженедѣльный бюллетень центральной сейсмической станци въ Пулковѣ съ 1-го января 1911 года.

Комиссiя признала изданiе подобнаго бюллетеня весьма желательнымъ.

§ 64.

Доложено письменное сообщенiе механика Шульце въ Юрьевѣ о томъ, что имъ закончены оставшіеся въ работѣ 8 тяжелыхъ горизонтальныхъ маятниковъ Целльнера и 4 регистрирующихъ аппарата новой конструкции, заказанные ему по порученiю Комиссiи Г. В. Левицкимъ.

Обсужденiе вопроса о примѣненiи маятниковъ отложено за отсутствiемъ Г. В. Левицкаго.

§ 65.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ, что, имѣя въ виду способствовать скорѣйшему разрѣшенiю вопроса объ организации наблюдений надъ интермитентной Екатерининскаго источника въ Боржомѣ, онъ посѣтилъ Великаго Князя Николая Михайловича, Августѣйшаго Владѣльца Боржомскаго имѣнiя, ознакомилъ Его Высочество съ выработанной въ Комиссiи программой наблюдений и встрѣтилъ со стороны Великаго Князя полную готовность пойти навстрѣчу предложенiю Комиссiи.

Далѣе, князь Б. Б. Голицынъ огласилъ выдержки изъ письма г. Виноградова-Никитина, Управляющаго Боржомскимъ имѣнiемъ, въ которомъ послѣдній пишетъ о важномъ практическомъ значенiи предложенныхъ Комиссiей изслѣдованiй.

Прочитано было также письмо С. В. Гласека съ изложенiемъ общихъ мѣропріятiй, направленныхъ къ осуществленiю программы Комиссiи, которыя были намѣчены въ совмѣстномъ совѣщанiи С. В. Гласека съ администраціей Боржомскаго имѣнiя.

Принято къ свѣдѣнiю.

§ 66.

Князь Б. Б. Голицынъ представилъ къ печатанію статьи:

- 1) Ueber einen neuen Seismographen für die Verticalcomponente der Bodenbewegung,
- 2) Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung.

Ко второй статьѣ приложено большое количество таблицъ, чрезвычайно упрощающихъ всѣ сейсмометрическія вычисления. Эти таблицы князь Б. Б. Голицынъ полагалъ полезнымъ отпечатать отдѣльно, въ видѣ приложения къ статьѣ.

Съ особеннымъ интересомъ отнеслась Комиссія къ статьѣ „Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel“, представляющей какъ бы резюме всѣхъ выдающихся изслѣдованій князя Б. Б. Голицына въ области точной сейсмометрии съ приложеніемъ нѣкоторыхъ еще нигдѣ неопубликованныхъ главъ. Комиссія выразила сожалѣніе, что при неимѣніи нашей русской литературы эта весьма важная статья написана на иностранномъ языкѣ, вслѣдствіе чего нѣкоторая часть русскихъ читателей будетъ лишена возможности ознакомиться съ такимъ капитальнымъ сочиненіемъ.

Положено:

- 1) напечатать въ томѣ IV „Извѣстій С. К.“ статьи князя Б. Б. Голицына „Ueber einen neuen Seismographen für die Verticalcomponente d. Bodenbewegung“ и „Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung“,
- 2) напечатать отдѣльно въ количествѣ 1000 экземпляровъ сейсмометрическія таблицы князя Б. Б. Голицына,
- 3) просить князя Б. Б. Голицына о переводѣ на русскій языкъ статьи „Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel“.

§ 67.

Доложено о статьѣ К. К. Матвѣева „Дѣятельность Нобелевскихъ сейсмическихъ станцій въ Баку и Балаханахъ въ теченіе 1908 года“, послѣ нѣкоторыхъ сокращеній вторично представленной авторомъ къ печатанію въ „Извѣстіяхъ С. К.“.

Комиссія затруднилась допустить къ печатанію статью К. К. Матвѣева.

§ 68.

Князь Б. Б. Голицынъ представилъ напечатанную по распоряженію Императорской Академіи Наукъ въ количествѣ 800 экз. таблицу для опредѣленія эпицентральныхъ разстояній, составленную д-ромъ Zeissig'омъ въ Дармштадтѣ на основаніи „Laufzeitcurven“ Wiechert'a-Zöppritz'a.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 69.

Утверждены счета механика Мазинга

отъ 28/VII 1910 г. за 1 маятникъ сист. кн. Б. Б. Голицына для Пулкова.....	330 р. — к.
„ 1 гальваномеръ (Н. Вг.).....	115 „ — „
„ 1 фонарь съ линзами и зеркалами	64 „ — „
отъ 10/VIII 1910 г. „ 1 тяжелый маятникъ кн. Б. Б. Голицына для Тифлиса.....	150 „ — „
„ 40 ф. металлич. цемента (въ Тифлисъ).....	6 „ — „
„ 3 ящика и упаковку.....	5 „ 50 „
отъ 8/X 1910 г. „ 1 регистр. аппаратъ для Тифлиса.	400 „ — „
„ 1 колпакъ для маятника въ Пулково.....	15 „ — „
„ „ колпакъ для рег. апп. въ Пулково.....	50 „ — „
„ 1 зеркало отъ Steinheil'я.....	6 „ 45 „
Итого.... 1141 р. 95 к.	

Означенный расходъ въ суммѣ 1141 р. 95 к. положено отнести на счетъ дополнительнаго кредита (2000 р.), открытаго въ текущемъ году на приобретение инструментовъ.

§ 70.

Доложено о доставленныхъ картографическимъ заведеніемъ А. Ильина трехъ картахъ монгольскихъ землетрясеній 9 и 23 іюля 1905 года по съемкѣ А. В. Вознесенскаго.

Всѣ карты доставлены въ количествѣ 570 экз. каждая, при счетѣ въ 522 р. 80 к.

Э. В. Штеллингъ напомнилъ Комиссиі, что эти карты были заказаны по ходатайству А. В. Вознесенскаго, предполагавшаго помѣстить въ „Извѣстіяхъ С. К.“ соотвѣтственную статью. Однако до сихъ поръ статья эта не была представлена и, насколько извѣстно Э. В. Штеллингу, вообще нигдѣ не опубликована.

Положено:

- 1) просить Э. В. Штеллинга списаться съ А. В. Вознесенскимъ о скорѣйшемъ представленіи статьи,
- 2) счетъ А. Ильина на 522 р. 80 к. оплатить изъ остатковъ отъ смѣты 1910 года.

Протоколъ засѣданія 19-го ноября 1910 года.

Подъ предѣдательствомъ О. А. Баклунда присутствовали Высочайше утвержденные члены Сейсмической Комиссии: А. П. Герасимовъ, князь Б. Б. Голицынъ, А. П. Карпинскій, Г. В. Левицкій, А. Я. Орловъ, И. И. Померанцевъ, М. А. Рыкачевъ, Э. Н. Чернышевъ и Э. В. Штеллингъ, секретарь Комиссии П. М. Никифоровъ и приглашенный на засѣданіе Д. Г. Левицкій.

§ 71.

Читанъ и утвержденъ протоколъ предыдущаго засѣданія 8 октября 1910 г.

§ 72.

И. И. Померанцевъ сообщилъ, что, исполняя порученіе Сейсмической Комиссии, онъ запросилъ завѣдывающаго Ташкентской Астрономической и Физической Обсерваторіей полк. Давыдова относительно колебаній температуры въ помѣщеніи для маятниковъ, при названной Обсерваторіи.

Полк. Давыдовъ отвѣтилъ, что движеніе нуль-пункта маятниковъ было доведено до minimum'a еще въ 1907 году съ устройствомъ приспособленія для отопленія погреба. Въ настоящее время температура въ помѣщеніи для маятниковъ колеблется втеченіе года отъ $+14^{\circ}$ до $+18^{\circ}\text{C}$., причемъ суточныхъ измѣненій почти совсѣмъ не замѣчается.

Съ своей стороны, И. И. Померанцевъ замѣтилъ, что, судя по отчету о дѣятельности Обсерваторіи въ 1909 году, температура колебалась втеченіе года отъ $+13,6$ до $+24,0\text{C}$.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 73.

А. Я. Орловъ сдѣлалъ докладъ „Объ изслѣдованіи сейсмограммъ отъ маятника безъ затуханія при малой скорости вращенія регистрирующаго барабана“.

Одной изъ главныхъ задачъ сейсмометріи является вычисленіе смѣщенія почвы ξ по формулѣ Липмана $\xi = \theta + 2k \int \theta dt + n^2 \iint \theta dt^2$. И. И. Померанцевъ показалъ, что механическое вычисленіе указанныхъ квадратуръ очень затруднительно и даетъ ненадежные результаты. Проф. Вихертъ и князь Б. Б. Голицынъ выбираютъ для изслѣдованія лишь тѣ мѣста на сейсмограммѣ, гдѣ θ можно представить аналитически (синусоидой); тогда интегрированіе производится безъ всякихъ затрудненій также аналитически, и выполнять механическія квадратуры уже не нужно. Если у маятника нѣтъ искусственнаго затуханія, то очень часто можно сразу для всей сейсмограммы указать простое аналитическое выраженіе для θ даже въ томъ случаѣ, когда сейсмографъ снабженъ плохимъ регистрирнымъ аппаратомъ. Такимъ образомъ, съ маятниками безъ затуханія въ настоящее время можно получить значительно болѣе общее рѣшеніе задачи о вычисленіи смѣщенія почвы, чѣмъ съ аперіодическими маятниками.

Положено просить А. Я. Орлова представить свой докладъ къ печатанію въ „Извѣстіяхъ Сейсмической Комиссіи“.

§ 74.

А. П. Герасимовъ представилъ къ печатанію докладъ о статьѣ проф. Rudolf Hoernes'a „Der Einfluss der Erderschütterungen auf Quellen“.

Положено напечатать докладъ А. П. Герасимова въ т. IV „Извѣстій Сейсмической Комиссіи“.

§ 75.

А. П. Герасимовъ сдѣлалъ докладъ о статьѣ проф. Ralph S. Tagg'a „The Theory of Advance of Glaciers in response to Earthquake shaking“.

Въ этой статьѣ проф. Ralph S. Tagg устанавливаетъ вліяніе землетрясеній на движеніе ледниковъ въ прибрежныхъ горахъ Аляски, вблизи залива Якутатъ.

Въ августѣ 1905 г. R. Tagg засталъ ледники въ періодѣ отступанія; но въ іюлѣ 1906 г. всѣ ледники обнаружили рѣзкое наступаніе и, за 10 мѣсяцевъ, 4 ледника продвинулись на 1,5 килом., поверхность ихъ растрескалась; нѣкоторые, при этомъ, утолстились.

Въ 1908 г. дальнѣйшее наступленіе прекратилось. Но въ 1909 г. опять нѣкоторые ледники стали наступать. R. Tagg подмѣтилъ зависимость между величиною ледника и временемъ наступанія: чѣмъ крупнѣе ледникъ, тѣмъ позднѣе обнаруживалось наступаніе.

Единственнымъ вѣроятнымъ объясненіемъ указаннаго внезапнаго наступанія ледниковъ R. Tagg считаетъ сейсмическія явленія. Въ 1899 г. было болѣе 200—300 ударовъ; нѣкоторые изъ нихъ слѣдуетъ отнести къ числу міровыхъ. При землетрясеніи происходитъ обрушеніе лавинъ, при-

чемъ увеличивается нагрузка на ледникъ, которая сопровождается наступаніемъ.

Положено напечатать докладъ А. П. Герасимова въ т. IV „Извѣстій Сейсмической Комиссіи“.

§ 76.

Доложено, что Подкомиссія, избранная 8-го октября 1910 г., въ составѣ князя Б. Б. Голицына, Г. В. Левицкаго, А. Я. Орлова и И. И. Померанцева, просила Э. В. Штеллинга принять участіе въ ея трудахъ и намѣтила рядъ постановленій по различнымъ вопросамъ, касающимся реорганизаціи сейсмическихъ наблюденій въ Россіи. (Протоколъ засѣданія Подкомиссіи напечатанъ въ приложеніи съ сему протоколу).

Положено приступить къ обсужденію соображеній Подкомиссіи.

§ 77.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу о *реформѣ бюллетеня*, издаваемого Комиссіей.

Комиссія постановила:

- 1) Чтобы всѣ сейсмическія станціи 1-го разряда издавали самостоятельные еженедѣльные бюллетени, которые будутъ разсылаться станціями тѣмъ учрежденіямъ и лицамъ, которымъ укажетъ Комиссія;
- 2) чтобы каждое полугодіе издавался Комиссіей каталогъ землетрясеній, въ которомъ были бы сопоставлены какъ инструментальныя данныя станцій 1-го и 2-го разряда, такъ и опросныя свѣдѣнія; составленіе названнаго каталога, равно какъ и обработка сейсмограммъ станцій 2-го разряда должны производиться при Центральномъ Бюро, причемъ всѣ вычислительныя, редакціонныя и типографскія работы должны быть закончены не позднѣе, какъ черезъ 6 мѣсяцевъ по истеченіи отчетнаго промежутка времени;
- 3) чтобы всѣ станціи 2-го разряда, во избѣжаніе задержки въ составленіи каталога, ежемѣсячно присылали въ Центральное Бюро всѣ свои сейсмограммы и журналы съ указаніемъ постоянныхъ приборовъ и поправокъ часовъ.

§ 78.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу о *схемѣ бюллетеня для станцій 1-го разряда*.

Комиссія постановила помѣщать въ бюллетенѣ слѣдующія данныя:

I. *Фазы.*

P—(undae primae) — моментъ наступленія первой предв. фазы,
S—(undae secundae) — „ „ второй „ „ „
L—(undae longae) — „ „ длинныхъ волнъ,

- M_1, M_2, \dots — (undae maximae) — моментъ наступленія 1-го, 2-го... maximum'овъ,
 C_1, C_2, \dots — (coda) — моментъ наступленія вторичныхъ maximum'овъ, слѣдующ. за главной фазой,
 F — (finis) — моментъ прекращенія колебаній.
 i — (impetus) — ставится передъ знакомъ фазы, при рѣзкомъ наступленіи послѣдней,
 e — (emersio) — ставится передъ знакомъ фазы, при неотчетливомъ наступленіи послѣдней.
 i и e могутъ употребляться самостоятельно для обозначенія послѣдовательныхъ толчковъ ($i_1, i_2, \dots, e_1, e_2, \dots$), а также въ тѣхъ случаяхъ, когда природа фазы неясна.

II. Периоды и амплитуды.

- T — периодъ, продолжительность полного колебанія въ секундахъ,
 A_E — амплитуда EW составляющей истинн. смѣщен. почвы въ μ отъ полож. равновѣс.
 A_N — амплитуда NS составляющей истинн. смѣщен. почвы въ μ отъ полож. равновѣс.
 A_Z — амплитуда вертикал. составляющей истинн. смѣщен. почвы въ μ отъ полож. равновѣс.

III. Время.

Моменты давать по среднему гринвичскому времени отъ 0^ч до 24^ч, начиная счетъ времени съ полуночи.

§ 79.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу о *схемѣ для обработки сейсмограммъ станцій 2-го разряда.*

Комиссія постановила:

- 1) обработку сейсмограммъ всѣхъ станцій 2-го разряда сосредоточить при Центральномъ Бюро для достиженія единства и планомѣрности въ обработкѣ;
- 2) обработку названныхъ сейсмограммъ производить по возможности по той же схемѣ, какая принята для станцій 1-го разряда, съ тѣмъ, чтобы дополнительно указывались разныя характерныя особенности сейсмограммъ (внезапные толчки и т. д.);
- 3) результаты обработки сейсмограммъ станцій 2-го разряда отдѣльно не публиковать, но помѣщать въ полугодовыхъ каталогахъ въ сопоставленіи съ данными станцій 1-го разряда и опросными свѣдѣніями.

§ 80.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу *объ изданіи наблюденій 1910 года на сейсмическихъ станціяхъ въ Баку и Балаханахъ.*

Комиссія постановила:

- 1) просить Э. Л. Нобеля издать отдѣльно наблюденія 1910 года на станціяхъ въ Баку и Балаханахъ;
- 2) включить названныя наблюденія въ общій бюллетень Сейсмической Комиссіи за 1910 годъ.

§ 81.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу о *количествѣ печатныхъ экземпляровъ бюллетеня за 1908 годъ*, составленнаго подъ редакцію Г. В. Левицкаго и нынѣ вполне подготовленнаго къ печати.

Комиссія постановила:

печатать бюллетень за 1908 годъ въ количествѣ 900 экземпляровъ.

§ 82.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу о *типѣ приборовъ для станцій 2-го разряда*.

Комиссія постановила:

- 1) просить князя Б. Б. Голицына выработать типъ вертикальнаго сейсмографа съ механической регистраціей для станцій 2-го разряда;
- 2) просить А. Я. Орлова заказать въ Юрьевѣ 2 тяжелыхъ маятника системы Г. В. Левицкаго, съ выдачей механику въ авансъ не свыше 350 рублей;
- 3) установить въ Тифлисѣ и Ташкентѣ на испытаніе новый тяжелый, горизонтальный маятникъ системы князя Б. Б. Голицына съ магнитнымъ затуханіемъ и видоизмѣненный Г. В. Левицкимъ Цельнеровскій маятникъ безъ затуханія съ грузомъ не менѣе 13-ти пудовъ, съ тѣмъ, чтобы сейсмограммы отъ обоихъ типовъ маятниковъ были присланы въ Центральное Бюро для сравненія.

§ 83.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу о *количествѣ часовыхъ механизмовъ*, которое необходимо дополнительно заказать фирмѣ Strasser & Rohde на предметъ снабженія всѣхъ сейсмическихъ станцій усовершенствованными контактными часами.

Комиссія постановила:

- 1) заказать фирмѣ Strasser & Rohde еще 4 часовыхъ механизма;
- 2) просить Г. В. Левицкаго принять на себя трудъ по сношенію съ названной фирмой.

§ 84.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу *о примѣненіи приборовъ, заказанныхъ Г. В. Левицкимъ механику Шульце въ Юрьевъ.*

Комиссія постановила:

- 1) просить А. Я. Орлова испытать изготовленные механикомъ Шульце регистрирующие аппараты;
- 2) увеличить, насколько возможно, грузъ маятниковъ и пользоваться ими какъ сейсмоскопами, приложивши къ нимъ старые регистрирующие аппараты нынѣ существующихъ станцій, по снабженіи послѣднихъ новыми приборами.

§ 85.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу *о сейсмической станціи въ Юрьевъ.*

Комиссія постановила:

- 1) отпускать ежегодно изъ кредита Сейсмической Комиссіи въ распоряженіе А. Я. Орлова по 1000 рублей на научныя предпріятія и изслѣдованія, начиная съ 1911 года;
- 2) отпустить А. Я. Орлову изъ предвидимыхъ остатковъ отъ смѣтныхъ ассигнованій на 1911 годъ 1200 рублей на приобрѣтеніе необходимыхъ приспособленій.

§ 86.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу *о подготовкѣ персонала для станцій 1-го разряда.*

Комиссія постановила:

просить князя Б. Б. Голицына принять на себя трудъ по подготовкѣ персонала.

§ 87.

Доложено сужденіе Подкомиссіи по вопросу *объ отношеніи филиальныхъ метеорологическихъ Обсерваторій къ сейсмическимъ станціямъ соответственнаго района.*

Вопросъ этотъ Комиссія признала желательнымъ обсудить совместно съ директорами тѣхъ Обсерваторій, при коихъ будутъ учреждены сейсмическія станціи 1-го разряда.

§ 88.

Такъ какъ всѣ станціи 1-го разряда будутъ учреждены при филиальныхъ метеорологическихъ Обсерваторіяхъ, то князь Б. Б. Голицынъ

предложилъ привлечь гг. директоровъ обсерваторій къ участию въ обсужденіи программы реорганизации сейсмическихъ наблюдений.

М. А. Рыкачевъ замѣтилъ при этомъ, что Главная Физическая Обсерваторія командировать въ С.-Петербургъ въ началѣ января 1911 г. директоровъ Иркутской, Екатеринбургской и Тифлисской Обсерваторій, А. В. Вознесенскаго, Г. Ф. Абельса и С. В. Гласека, если Сейсмическая Комиссія приметъ на себя половину издержекъ, съ которыми будетъ связана означенная командировка.

Постановлено:

- 1) просить Николаевскую Главную Физическую Обсерваторію о командированіи въ С.-Петербургъ въ началѣ января директоровъ Иркутской, Екатеринбургской и Тифлисской Обсерваторій, причемъ половина расходовъ по означенной командировкѣ будетъ покрыта изъ кредита Комиссіи;
- 2) ходатайствовать о командированіи въ С.-Петербургъ къ тому же времени Завѣдывающаго Ташкентской Обсерваторіей полковника Давыдова, причемъ расходы по сей командировкѣ будутъ покрыты изъ кредита Комиссіи, однако въ суммѣ не свыше 250 рублей;
- 3) расходы со стороны Комиссіи по командировкѣ всѣхъ означенныхъ лицъ не должны превысить 600 рублей.

§ 89.

Доложено отношеніе Геологическаго Комитета за № 1336 отъ 16-го ноября 1910 г. по вопросу о выборѣ мѣста для станцій 2-го разряда.

Вопросъ этотъ подвергся обсужденію въ особой Комиссіи, состоявшей подъ предсѣдательствомъ академика Ѳ. Н. Чернышева изъ членовъ: К. И. Богдановича, В. Н. Вебера и А. П. Герасимова, причемъ было признано правильнымъ сосредоточить вниманіе на нашихъ Азіатскихъ владѣніяхъ.

Такъ какъ въ настоящее время Кавказскій перешеекъ обставленъ весьма хорошо сейсмическими станціями, названная Комиссія нашла желательнымъ усилить сейсмическую службу въ Сибири и Туркестанѣ въ слѣдующихъ сейсмическихъ областяхъ:

- | | |
|---|---------------------------|
| а) на о. <i>Сахалинѣ</i> | 1) постъ Александровскій, |
| б) въ <i>Амурской</i> сейсмическ. обл. | 2) стан. Раде, |
| в) въ <i>Забайкальѣ</i> | 3) г. Баргузинъ, |
| | 4) г. Троицкосавскъ, |
| г) въ <i>Алтайской</i> сейсм. обл. | 5) г. Кузнецкъ, |
| д) въ <i>Туркестанск.</i> " " | 6) г. Вѣрный, |
| | 7) г. Самаркандъ, |
| | 8) г. Опшъ (или Андижанъ) |
| е) въ <i>Закаспійской</i> " " | 9) г. Красноводскъ, |
| ж) въ <i>Восточно-туркестан.</i> сейм. обл. | 10) г. Кашгаръ (Китай). |

Всѣ предложенныя Комиссіей Геологическаго Комитета станціи — новыя и намѣчены въ развитіе уже существующей сейсмической сѣти, при условіи сохраненія нынѣ существующихъ станцій 2-го разряда въ 1) с. Кабанскомъ, 2) г. Ахалкалакахъ, 3) Батумѣ, 4) Боржомѣ, 5) Зурнабадѣ, 6) Шемахѣ и 7) Пятигорскѣ.

Г. В. Левицкій указалъ на необходимость учрежденія станціи на Камчаткѣ, единственной въ Россіи вулканической области, причемъ эта станція явилась бы передаточной къ землетрясеніямъ Алеутскихъ острововъ. Далѣе Г. В. Левицкій замѣтилъ, что остается безъ сейсмической службы Юго-западная Россія, и высказалъ пожеланіе, чтобы была учреждена станція между Крымомъ и Одессою.

Э. В. Штеллингъ также высказался за учрежденіе станціи на Камчаткѣ и, кромѣ того, рекомендовалъ обратиться къ Управленію Восточно-Китайской ж. д. съ предложеніемъ учредить на средства Управленія сейсмическую станцію въ Манджуріи въ долинѣ р. Сунгари.

Въ виду того, что въ распоряженіи Комиссіи имѣются средства на содержаніе лишь 10 станцій 2-го разряда, положено:

1) учредить станціи 2-го разряда

- 1) въ посту Александровскомъ (о. Сахалинъ),
- 2) „ г. Петропавловскѣ (Камчатка),
- 3) „ с. Кабанскомъ (Прибайкалье),
- 4) „ г. Кузнецкѣ (Алтай),
- 5) „ г. Вѣрномъ
- 6) „ г. Самаркандѣ
- 7) „ г. Андижанѣ (или Опѣ) } (Туркестанъ),
- 8) „ г. Кашгарѣ (В. Туркестанъ),
- 9) „ г. Зурнабадѣ } (Кавказъ).
- 10) „ г. Шемахѣ

2) станціи въ 11) Боржомѣ и 12) Пятигорскѣ содержать на остатки отъ смѣтныхъ ассигнованій, пока не будутъ отпущены средства на содержаніе названныхъ станцій Великимъ Княземъ Николаемъ Мпхайловичемъ и Министерствомъ Торговли и Промышленности;

3) станціи въ Ахалкалакахъ и Батумѣ закрыть.

§ 90.

Избрано Центральное Бюро въ составѣ А. П. Герасимова, князя Б. Б. Голицына и И. И. Померанцева. На должность помощника редактора избранъ П. М. Никифоровъ.

Всѣ названные лица избраны на должности до 1-го января 1913 г.

§ 91.

Доложено заявленіе гр. Моркова о томъ, что каменное подземное помѣщеніе сейсмической станціи при метеорологической Обсерваторіи

въ Н. Ольчедаевѣ (Подольской губ.) вполне закончено, причемъ гр. Морковъ ходатайствуетъ передъ Комиссіей о присылкѣ сейсмографа съ механической регистраціей.

Э. В. Штеллингъ обратилъ вниманіе Комиссіи на важность учрежденія сейсмической станціи въ Н. Ольчедаевѣ, такъ какъ, по наблюденіямъ румынскихъ ученыхъ, отъ Бухареста до Кишинева тянется эпицентральная линія; вслѣдствіе сего Э. В. Штеллингъ предложилъ снабдить названную станцію лучшими приборами.

Постановлено:

выслать бесплатно сейсмической станціи въ Н. Ольчедаевѣ 2 сейсмографа съ механической регистраціей и 2 регистрирующихъ аппарата къ нимъ той же системы, какая будетъ принята для штатныхъ станцій 2-го разряда.

§ 92.

Доложено ходатайство К. К. Матвѣева о напечатаніи въ „Извѣстіяхъ Сейсмической Комиссіи“ его статьи „О дѣятельности Нобелевскихъ сейсмическихъ станцій въ 1908 г.“.

Комиссія не признала возможнымъ помѣстить въ „Извѣстіяхъ Сейсмической Комиссіи“ статью К. К. Матвѣева.

§ 93.

Представленъ новый списокъ для разсылки изданій, составленный согласно указаніямъ гг. членовъ Комиссіи, причемъ по сему списку предполагено высылать изданія на имя учреждений, но не на имя лицъ, стоящихъ во главѣ сихъ учреждений.

Положено передать списокъ на разсмотрѣніе Центральному Бюро.

§ 94.

Положено: ко всѣмъ учреждениямъ, получающимъ изданія Комиссіи, обратиться циркулярнымъ письмомъ съ предложеніемъ вступить въ обменъ изданіями.

§ 95.

Князь В. В. Голицынъ доложилъ, что подъ его руководствомъ въ Физической Лабораторіи Академіи Наукъ втеченіе 3 недѣль ознакомился теоретически и практически съ сейсмологіей горный инженеръ Д. Г. Левицкій, принявшій на себя завѣдываніе сейсмической станціей въ Мокшевкѣ. (Обл. Войска Донск.).

Д. Г. Левицкій, совмѣстно съ нѣкоторыми другими лицами, прослушалъ предварительно рядъ лекцій князя В. В. Голицына, который, кромѣ подробнаго изложенія теоріи сейсмометрическихъ наблюденій,

воснулся въ своихъ лекціяхъ также нѣкоторыхъ общихъ вопросовъ сейсмологіи.

Принято къ свѣдѣнію.

§ 96.

Князь Б. Б. Голицынъ доложилъ о письмѣ завѣдывающаго Бакинской сейсмической станціей, г. Ренгольма, въ которомъ послѣдній сообщаетъ князю Б. Б. Голицыну свѣдѣнія о землетрясеніи, имѣвшемъ мѣсто въ Баку 26/VIII 1910 г.

„Землетрясеніе ощущалось повсюду въ городѣ и вызвало въ нѣкоторыхъ мѣстахъ панику. Сначала стали замѣтны необыкновенно короткія сотрясенія, сопровождавшіяся гуломъ, подобнымъ шуму проходящаго желѣзнодорожнаго поѣзда. Нѣсколько секундъ спустя, послѣдовалъ второй толчокъ съ волнами болѣе длиннаго періода, однако, не свыше 3 сек. Всячіе предметы стали колебаться въ направленіи Е—W. Сила землетрясенія по шкалѣ Росси-Фореля оцѣнивается въ 5 балловъ. Маятникъ R_7 (S—20°—W) былъ выведенъ изъ строя. Нѣкоторыя зданія получили трещины въ стѣнахъ; нѣсколько оконъ было разбито, и въ одномъ домѣ выпали оконныя рамы.

„Землетрясеніе ощущалось также въ Балаханахъ, Пиршагахъ, Безонахъ, Святомъ и Апшеронѣ. Но въ Шемахъ землетрясеніе не было замѣчено. Во многихъ мѣстахъ наблюдалось волненіе въ морѣ, вблизи берега. Такимъ образомъ, землетрясеніе охватило весь полуостровъ, но далѣе не распространилось. Землетрясеніе наступило внезапно; никакихъ сейсмическихъ возмущеній ему не предшествовало. Причина землетрясенія стоитъ, вѣроятно, въ связи съ высказаннымъ проф. Suess'омъ предположеніемъ, что котловина Каспійскаго моря и низовьевъ р. Куры продолжаетъ до сихъ поръ опускаться.

„Моментъ наступленія землетрясенія въ Баку: $8^h 57^m 39^s$.
„Сейсмическая станція въ Тифлисѣ сообщила слѣдующія данныя:

$P : 8^h 59^m 4^s$

$S : 8^h 59^m 52^s$

$L : 9^h 0^m 16^s$.

„По разности моментовъ (S—P), эпицентральное разстояніе для Тифлиса равно 480 km., что довольно хорошо согласуется съ разстояніемъ Тифлисъ—Баку: 495 km. Изъ сопоставленія данныхъ Тифлисской станціи съ моментомъ начала землетрясенія въ Баку получаются слѣдующіе результаты:

„Кажущаяся скорость продольныхъ волнъ = $5,6^{km./sec.}$.

„Кажущаяся скорость поперечныхъ волнъ = $3,7^{km./sec.}$.

„Истинная скорость поверхности волнъ = $3,1^{km./sec.}$ “.

Принято къ свѣдѣнію.

*Приложение къ § 76 протокола засѣданія Сейсмической Комиссiи
19-го ноября 1910 года.*

Подкомиссiя по реорганизации сейсмическихъ наблюденiй въ Россiи.

Протоколь засѣданiя 14-го Октября 1910 года.

Присутствовали члены Комиссiи: князь Б. Б. Голицынъ, Г. В. Левицкiй, А. Я. Орловъ, И. И. Померанцевъ и Э. В. Штеллингъ и секретарь Комиссiи П. М. Никифоровъ.

§ 1.

Предсѣдателемъ избранъ князь Б. Б. Голицынъ.

§ 2.

Обсуждался вопросъ о реформѣ бюллетеня, издаваемого Сейсмическою Комиссiей. Вопросъ этотъ былъ поднятъ княземъ Б. Б. Голицынымъ на засѣданiи Сейсмической Комиссiи отъ 8 сего октября и былъ переданъ послѣднею на обсужденiе Подкомиссiи.

Предложенiе князя Б. Б. Голицына сводилось къ тому:

- 1) чтобы всѣ сейсмическiя станцiи 1-го разряда издавали самостоя- тельно еженедѣльный бюллетень, и
- 2) чтобы Комиссiя ежегодно издавала каталогъ землетрясенiй, въ которомъ были бы сопоставлены какъ всѣ инструментальныя данныя станцiй 1 и 2 разряда, такъ и всѣ опросныя свѣдѣнiя о каждомъ землетрясенiи.

Г. В. Левицкiй указалъ, что подобная группировка свѣдѣнiй уже весьма удачно примѣняется въ бюллетеняхъ Кавказской сѣти станцiй: первоклассная станцiя въ Тифлисѣ публикуетъ еженедѣльно свои инстру- ментальныя данныя и, кромѣ того, черезъ каждые три мѣсяца издается

печатный списокъ землетрясеній съ дополнительными свѣдѣніями, почерпнутыми изъ записей второклассныхъ станцій Кавказскаго района и изъ опросныхъ листковъ.

Постановлено:

- 1) чтобы всѣ сейсмическія станціи 1-го разряда издавали самостоятельные *еженедѣльные* бюллетени, которые будутъ разсылаются станціями тѣмъ учрежденіямъ и лицамъ, которымъ укажетъ Комиссія;
- 2) чтобы каждое полугодіе издавался Комиссіей каталогъ землетрясеній, въ которомъ были бы сопоставлены какъ инструментальныя данныя станцій 1-го и 2-го разряда, такъ и опросныя свѣдѣнія; составленіе названнаго каталога, равно какъ и обработка сейсмограммъ станцій 2-го разряда, должны быть возложены на помощника редактора, причѣмъ всѣ вычислительныя, редакціонныя и типографскія работы должны быть закончены не позднеѣ какъ черезъ 6 мѣсяцевъ по истеченіи отчетнаго промежутка времени;
- 3) чтобы всѣ станціи 2-го разряда, во избѣжаніе задержки въ составленіи каталога, *ежемѣсячно* присылали въ Комиссію всѣ свои сейсмограммы и журналы съ указаніемъ постоянныхъ приборовъ и поправокъ часовъ.

§ 3.

Обсуждался вопросъ о схемѣ бюллетеня для станцій 1-го разряда.

Князь Б. Б. Голицынъ обратилъ вниманіе присутствовавшихъ на то, что принятая Сейсмическою Комиссіей схема, по которой до сихъ поръ издавался бюллетень, приурочена къ маятникамъ безъ затуханія, которые не расчленяють достаточно ясно отдѣльныхъ фазъ землетрясенія. Принимая во вниманіе, что Сейсмической Комиссіей въ засѣданіи 8 октября сего 1910 года уже предрѣшено установить на всѣхъ станціяхъ 1-го разряда аперіодическіе маятники, князь Б. Б. Голицынъ предложилъ, въ замѣнъ прежней схемы, остановиться на той, которая принята въ настоящее время всѣми западно-европейскими станціями, опустивши лишь нѣкоторыя излишнія подробности, какъ напримѣръ: отраженныя волны, характеръ землетрясенія (мѣстное, близкое, дальнее) и т. п.

Г. В. Левицкій замѣтилъ на это, что, по его мнѣнію, примѣнявшаяся Комиссіей до сего времени схема бюллетеня совпадаетъ въ главныхъ чертахъ съ геттингенской, разнича лишь въ обозначеніяхъ соответственныхъ моментовъ; преимущество же прежней схемы, по мнѣнію Г. В. Левицкаго, состоитъ въ томъ, что она описываетъ чисто геометрическія свойства

сейсмограммы, независимо от каких бы то ни было гипотетических предположений о распространении упругих колебаний в земном шарѣ.

А. Я. Орловъ соглашался съ Г. В. Левицкимъ въ томъ, что геттингенская схема налагаетъ извѣстныя условія на сейсмограмму и не всякую сейсмограмму можно подвести подъ эту схему; поэтому А. Я. Орловъ предложилъ отмѣчать въ бюллетенѣ лишь моменты появленія послѣдовательныхъ толчковъ.

Подкомиссія, однако, желая соблюсти единство схемы и сравнимость русскаго бюллетеня съ западно-европейскими, согласилась съ предложеніемъ князя Б. Б. Голицына и постановила помѣщать въ бюллетенѣ слѣдующія данныя:

1) Фазы:

P — undae primae — моментъ наступленія первой фазы

S — » secundae » » второй »

L — » longae » » длинныхъ волнъ

$M_1, M_2,$ и т. д. — undae maximae — моментъ наступлен. 1-го, 2-го и т. д. maximum'овъ,

$C_1, C_2,$ и т. д. — coda — момент. наст. вторичн. maximum'овъ, слѣдующихъ за главной фазой.

F — finis — моментъ прекращенія колебаній.

i — impetus — ставится предъ знакомъ фазы, при рѣзкомъ наступленіи послѣдней,

e — emersio — ставится предъ знакомъ фазы, при неотчетливомъ наступленіи послѣдней,

i и e могутъ употребляться самостоятельно для обозначенія послѣдовательныхъ толчковъ ($i_1, i_2, \dots, e_1, e_2, \dots$), а также въ тѣхъ случаяхъ, когда природа фазы не ясна.

2) періоды и амплитуды.

T — періодъ, продолжительность полного колебанія въ секундахъ,

A_E — амплитуда EW составляющей истинн. смѣщен. почвы въ μ отъ полож. равновѣс.

A_N — амплитуда NS составляющей истинн. смѣщен. почвы въ μ отъ полож. равновѣс.

A_z — амплитуда вертик. составляющей истинн. смѣщен. почвы въ μ отъ полож. равновѣс.

3) Время.

Моменты давать по среднему гринвичскому времени отъ 0^h до 24^h , начиная счетъ времени съ полуночи.

§ 4.

Обсуждался вопросъ о схемѣ для обработки сейсмограммъ станцій 2-го разряда.

Э. В. Штеллингъ отмѣтилъ чрезвычайно важное для науки значеніе станцій 2-го разряда. Будучи расположены въ сейсмическихъ областяхъ, эти станціи могутъ дать богатый матеріалъ для сужденія о природѣ землетрясенія, объ его силѣ, о числѣ толчковъ. Въ литературѣ встрѣчаются указанія, что нѣкоторые животныя предчувствуютъ землетрясенія; можетъ быть удастся найти и на приборахъ предвѣстники землетрясенія. Кромѣ того, станціи 2-го разряда, давая возможность вполне точно опредѣлить мѣстоположеніе эпицентра, а также моменты послѣдовательныхъ толчковъ, несомнѣнно прольютъ обильный свѣтъ на законы распространенія упругихъ колебаній въ земной корѣ. Принимая во вниманіе вышеизложенное, Э. В. Штеллингъ признавалъ желательнымъ подвергать самой тщательной и детальной обработкѣ записи станцій 2-го разряда въ ихъ совокупности.

Подкомиссія постановила:

- 1) обработку сейсмограммъ всѣхъ станцій 2-го разряда сосредоточить въ Комиссіи для достиженія единства и планомѣрности въ обработкѣ сейсмограммъ съ возложеніемъ этой обязанности на помощника редактора;
- 2) обработку названныхъ сейсмограммъ производить по той же схемѣ, какая принята для станцій 1-го разряда, съ тѣмъ, чтобы дополнительно указывались разныя характерныя особенности сейсмограммъ (внезапные толчки и т. д.);
- 3) результаты обработки сейсмограммъ станцій 2-го разряда отдѣльно не публиковать, но помѣщать въ полугодовыхъ каталогахъ въ сопоставленіи съ данными станцій 1-го разряда и опросными свѣдѣніями.

§ 5.

Обсуждался вопросъ объ изданіи наблюденій 1910 года на сейсмическихъ станціяхъ въ Баку и Балаханахъ.

Князь Б. Б. Голицынъ отмѣтилъ полезную и ревностную дѣятельность завѣдывающаго названными станціями г. Ренгольма, который правильно высылаетъ весьма тщательно составленные и содержательные ежемѣсячные бюллетени.

Въ виду того, что общій бюллетень за 1910 годъ, издаваемый Сейсмическою Комиссіей, появится въ свѣтъ не ранѣе конца 1911 г., постановлено:

- 1) просить Э. Л. Нобеля издать отдѣльно наблюденія 1910 года на станціяхъ въ Баку и Балаханахъ;
- 2) включить названныя наблюденія въ общій бюллетень 1910 года.

§ 6.

Обсуждался вопросъ о количествѣ печатныхъ экземпляровъ бюллетеня за 1908 годъ, составленнаго подъ редакціей Г. В. Левицкаго и нынѣ вполнѣ подготовленнаго къ печати.

Въ виду того, что до сего времени бюллетень печатался въ количествѣ 400 отдѣльныхъ оттисковъ и, кромѣ того, помѣщался въ 500 экземплярахъ «Извѣстій Сейсмической Комиссіи», нынѣ же положено выдѣлить бюллетень изъ «Извѣстій», постановлено: печатать впредь бюллетень въ количествѣ 900 экземпляровъ.

§ 7.

Обсуждался вопросъ о типѣ приборовъ для станцій 2-го разряда.

Г. В. Левицкій отмѣтилъ особенно важное значеніе для второклассныхъ станцій прибора, регистрирующаго вертикальную составляющую.

Что же касается горизонтальной составляющей, то князь Б. Б. Голицынъ указалъ на практическія неудобства Цельнеровскаго подвѣса, вводящаго двѣ новыя и вредныя (въ сейсмическихъ областяхъ) степени свободы, ссылаясь при этомъ на отзывъ С. В. Глассека. Вслѣдствіе сего, князь Б. Б. Голицынъ высказался за примѣненный имъ для новаго тяжелаго маятника способъ подвѣшиванія на упругихъ пластинахъ, но безъ увеличительнаго прибора.

Г. В. Левицкій замѣтилъ на это, что, при достаточномъ увеличеніи груза маятника, и съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ можно получить прекрасные результаты, какъ это доказали его изслѣдованія съ 13 пудовымъ маятникомъ въ Юрьевѣ.

Князь Б. Б. Голицынъ возразилъ, что съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ, получаютъ хорошіе результаты только при дальнихъ землетрясеніяхъ, при мѣстныхъ же, о регистраціи которыхъ и идетъ рѣчь, Цельнеровскій подвѣсъ даетъ слишкомъ запутанную запись, не раздѣляя составляющихъ (фигуры Лиссажу).

Э. В. Штеллингъ, соглашаясь съ мнѣніемъ князя Б. Б. Голицына, сослался на наблюденія съ Цельнеровскимъ маятникомъ въ Тифлисѣ, установленнымъ на періодъ 100^{sec} , который, отлично регистрируя дальнія землетрясенія, ничего не даетъ при близкихъ.

И. И. Померанцевъ высказался противъ примѣненія увеличительнаго прибора на маятникахъ, такъ какъ этотъ приборъ требуетъ тщательнаго и умѣлаго съ нимъ обращенія, чего трудно ожидать отъ наблюдателей при станціяхъ 2-го разряда.

По вопросу о введеніи затуханія на приборахъ для станцій 2-го разряда мнѣнія не были вполне согласны.

Г. В. Левицкій и А. Я. Орловъ, полагая вполне возможнымъ перейти отъ движенія періодическаго и, тѣмъ самымъ, болѣе чувствительнаго маятника къ абсолютному смѣщенію почвы, признавали желательнымъ произвести дополнительное сравненіе обоихъ типовъ на станціи, расположенной въ сейсмической области.

Прочіе члены Подкомиссіи считали уже достаточно выяснившимся вопросъ о необходимости затуханія, хотя бы и не особенно сильнаго, для приборовъ на станціяхъ 2-го разряда.

Между прочимъ, князь Б. Б. Голицынъ отмѣтилъ, что, пока не было введено затуханіе, ни одна станція не давала смѣщенія почвы; методъ же А. Я. Орлова, хотя и приводитъ къ рѣшенію задачи, но требуетъ много времени и не примѣнимъ при большомъ количествѣ сейсмограммъ.

Подкомиссія, признавая желательнымъ ввести на станціяхъ 2-го разряда наблюденія надъ вертикальной составляющей и имѣя въ виду окончательно выяснить преимущества различныхъ типовъ горизонтальныхъ маятниковъ, постановила:

- 1) просить князя Б. Б. Голицына выработать типъ вертикальнаго сейсмографа съ механической регистраціей для станцій 2-го разряда;
- 2) просить А. Я. Орлова заказать механику Шульце въ Юрьевѣ 2 тяжелыхъ маятника системы Г. В. Левицкаго;
- 3) установить въ Тифлисѣ и Ташкентѣ на испытаніе новый тяжелый горизонтальный маятникъ системы князя Б. Б. Голицына съ магнитнымъ затуханіемъ и видоизмѣненный Г. В. Левицкимъ Цельнеровскій маятникъ безъ затуханія съ 13-пудовымъ грузомъ, съ тѣмъ, чтобы сейсмограммы отъ обоихъ типовъ маятниковъ были присланы въ Комиссію для сравненія.

§ 8.

Обсуждался вопрос о количествѣ часовыхъ механизмовъ, которое необходимо дополнительно заказать фирмѣ Strasser & Rohde на предметъ снабженія всѣхъ сейсмическихъ станцій усовершенствованными часами.

Князь Б. Б. Голицынъ сообщилъ, что до сего времени было заказано названной фирмѣ 13 механизмовъ, изъ числа которыхъ 7 экземпляровъ получены и распределены слѣдующимъ образомъ: 1) въ Пулковѣ, 2) Ташкентѣ, 3) Тифлисѣ, 4) Екатеринбургѣ, 5) Иркутскѣ, 6) Зурнабадѣ и 7) Боржомѣ, кромѣ того, въ Пятигорскѣ установлены часы работы Bomeier'a.

Г. В. Левицкій замѣтилъ, что изъ числа упомянутыхъ княземъ Б. Б. Голицынымъ 13 часовыхъ механизмовъ 9 экземпляровъ были заказаны имъ, Г. В. Левицкимъ, и за доставленные 7 экземпляровъ уже уплачено изъ суммъ, выданныхъ подъ отчетъ Г. В. Левицкому на пріобрѣтеніе инструментовъ.

Остальные 4 экземпляра были заказаны Э. В. Штеллингомъ и своевременно оплачены въ разные сроки изъ суммъ, ассигнованныхъ на нужды Комиссіи.

Принимая во вниманіе, что съ 1911 года въ вѣдѣніи Сейсмической Комиссіи будетъ находиться всего 16 станцій (1 центральная станція въ Пулковѣ, 5 станцій 1-го разряда и 10 станцій 2-го разряда) и, кромѣ того, желательно имѣть одинъ запасный экземпляръ, постановлено:

- 1) заказать фирмѣ Strasser & Rohde еще 4 часовыхъ механизма,
- 2) просить Г. В. Левицкаго принять на себя трудъ по сношенію съ названной фирмой.

§ 9.

Обсуждался вопросъ о приборахъ, заказанныхъ Г. В. Левицкимъ механику Шульце въ Юрьевѣ.

Г. Шульце были заказаны 18 тяжелыхъ горизонтальныхъ маятниковъ съ подвѣсомъ Цельнера, 10 регистрирующихъ аппаратовъ старой конструкціи и 4 новой конструкціи. Изъ числа этихъ приборовъ 10 маятниковъ и 10 регистрирующихъ аппаратовъ старой конструкціи были сданы Комиссіи въ разное время.

Остававшіеся въ работѣ 8 маятниковъ и 4 регистрирующихъ аппарата новой конструкціи нынѣ также готовы, однако механикъ Шульце не былъ въ состояніи ихъ испытать, за неимѣніемъ необходимыхъ къ тому приспособленій.

Постановлено:

- 1) просить А. Я. Орлова испытать изготовленные механиком Шульце регистрирующие аппараты;
- 2) увеличить, насколько возможно, грузъ маятниковъ и пользоваться ими какъ сейсмокопами, приложивши къ нимъ старые регистрирующие аппараты нынѣ существующихъ станцій, по снабженіи послѣднихъ новыми приборами.

§ 10.

Обсуждался вопросъ объ организаціи Центрального Бюро и о помощникѣ редактора.

Князь Б. Б. Голицынъ, принимая во вниманіе, что сложный и отвѣтственный трудъ веденія административно-хозяйственныхъ дѣлъ Комиссіи, возлагаемый на Центральное Бюро, потребуетъ отъ членовъ Бюро напряженной дѣятельности и частыхъ засѣданій, высказался за то, чтобы въ составъ Бюро были избраны городскіе члены Комиссіи. Кромѣ того, князь Голицынъ не считалъ возможнымъ, по крайней мѣрѣ на первыхъ порахъ дѣятельности, раздѣлять функціи Бюро между отдѣльными его членами.

И. И. Померанцевъ предложилъ, чтобы Бюро въ своей дѣятельности исполняло руководствовалося тѣми указаніями, которыя преподаны въ объяснительной запискѣ къ проекту новой организаціи сейсмическихъ наблюденій въ Россіи.

Что касается дѣятельности помощника редактора, то князь Б. Б. Голицынъ предложилъ въ кругъ его обязанностей включить обработку и объединеніе какъ записей всѣхъ станцій 2-го разряда, такъ и опросныхъ свѣдѣній, а также веденіе бюллетеня, по указаніямъ Центрального Бюро.

Имѣя въ виду вышеизложенное Подкомиссія постановила:

- 1) признать желательнымъ, чтобы въ составъ Бюро вошли городскіе члены Комиссіи;
- 2) не раздѣлять функцій Бюро между его членами,
- 3) Центральное Бюро состоитъ изъ трехъ членовъ. Означенное Бюро должно непосредственно вѣдать всѣмъ дѣломъ сейсмическихъ наблюденій въ Россіи и отвѣчать за него. Оно руководить, какъ дѣятельностью центральной станціи, намѣчая для послѣдней планъ ближайшихъ работъ и слѣдя непосредственно за его выполненіемъ, такъ и дѣятельностью всѣхъ филиальныхъ станцій, какъ

перваго, такъ и втораго разряда. Оно снабжаетъ всѣхъ завѣдывающихъ станціями необходимыми инструкціями и указаніями, заботится объ оборудованіи станцій соответствующими проверенными сейсмографами и другими вспомогательными приборами и слѣдитъ чрезъ посредство командируемыхъ имъ специалистовъ за правильной и цѣлесообразной дѣятельностью сейсмическихъ станцій. Оно заботится о своевременной обработкѣ и о своевременномъ печатаніи всѣхъ наблюденій согласно одному общему, напередъ выработанному плану. На обязанности того же Бюро лежитъ непосредственная сводка всѣхъ наблюденій и выводы изъ послѣднихъ результатовъ, имѣющихъ какъ теоретическое, такъ и непосредственное практическое значеніе. Оно заботится о томъ, чтобы персоналъ, которому ввѣряется сложное дѣло производства сейсмическихъ наблюденій, былъ на надлежащей высотѣ, и подготавливаетъ специалистовъ въ этой области знаній.

Для этой цѣли при Центральномъ Бюро могутъ читаться спеціальныя лекціи по сейсмологіи и вестись практическія работы. Оно же, кромѣ того, поручаетъ тѣмъ или инымъ лицамъ, работающимъ при Бюро, разныя спеціальныя темы для разработки.

Центральное Бюро подготавливаетъ всѣ матеріалы и доклады для засѣданій Сейсмической Комиссіи, слѣдитъ за литературой вопроса, за всякими новыми усовершенствованіями, какъ методовъ самихъ сейсмическихъ наблюденій, такъ и способовъ ихъ обработки.

4) возложить на помощника редактора обработку и объединеніе какъ записей всѣхъ станцій 2-го разряда, такъ и опросныхъ свѣдѣній и веденіе бюллетеня по указаніямъ Бюро.

§ 11.

Обсуждался вопросъ о сейсмической станціи въ Юрьевѣ.

А. Я. Орловъ, отмѣтивши чрезвычайно плодотворную дѣятельность названной станціи за долгіе годы ея существованія, высказался за сохраненіе и впредь Юрьевской Станціи, которая, къ тому же, принесла бы несомнѣнную пользу дѣлу преподаванія сейсмологіи въ Юрьевскомъ Университетѣ.

Подкомиссія, высоко цѣня интенсивную и весьма успѣшную дѣятельность А. Я. Орлова въ области теоретическихъ изысканій, но вмѣстѣ съ тѣмъ, принимая во вниманіе, что мѣстныхъ землетрясеній въ Юрьевѣ почти никогда не замѣчается, регистрація же дальнихъ землетрясеній въ

Юрьевъ становится излишней при существованіи центральной станціи въ Пулковѣ постановила:

- 1) отпускать изъ кредита Сейсмической Комиссіи въ распоряженіе А. Я. Орлова ежегодно 1000 рублей на научныя предпріятія и изслѣдованія, начиная съ 1911 года;
- 2) отпустить А. Я. Орлову изъ предвидимыхъ остатковъ отъ смѣты 1911 года 1200 рублей на приспособленіе помѣщенія въ Юрьевѣ для наблюденій надъ лунносолнечными деформациями земли;
- 3) станціи для регулярныхъ сейсмическихъ наблюденій въ Юрьевѣ не учреждать.

§ 12.

Обсуждался вопросъ о подготовкѣ персонала для станцій 1-го разряда.

Князь Б. Б. Голицынъ изъявилъ готовность принять на себя подготовку персонала. Съ этой цѣлью князь Б. Б. Голицынъ полагалъ желательнымъ пригласить молодыхъ людей съ высшимъ физико-математическимъ образованіемъ и прочесть имъ въ Физической Лабораторіи Императорской Академіи Наукъ курсъ лекцій по сейсмологіи, послѣ чего молодые люди могли бы подъ его, князя Б. Б. Голицына, руководствомъ исполнить рядъ практическихъ работъ.

Предложеніе князя Б. Б. Голицына было принято съ живѣйшемъ сочувствіемъ.

§ 13.

Обсуждался вопросъ объ отношеніи филиальныхъ метеорологическихъ Обсерваторій къ сейсмическимъ станціямъ соотвѣтственнаго района.

Комиссія, имѣя въ виду избѣжать какихъ бы то ни было треній въ отношеніяхъ между завѣдывающими сейсмическими станціями съ одной стороны и лицами, стоящими во главѣ Обсерваторій, при которыхъ предположено уредить станціи, съ другой стороны, постановила:

Просить Николаевскую Главную Физическую Обсерваторію считать завѣдывающихъ сейсмическими станціями на положеніи прикомандированныхъ къ соотвѣтственнымъ филиальнымъ метеорологическимъ Обсерваторіямъ, съ тѣмъ, чтобы эти лица, подчиняясь общимъ порядкамъ Обсерваторій, въ исполненіи своихъ прямыхъ обязанностей руководились указаніями Сейсмической Комиссіи.

§ 14.

Изложенныя въ семъ протоколѣ соображенія положено представить на благоусмотрѣніе Сейсмической Комиссіи въ ближайшемъ ея засѣданіи.

Подлинный подписали: Кн. Б. Голицынъ.

И. Померанцевъ.

Эд. Штеллингъ.

Г. Левицкій.

А. Орловъ.

Ueber die Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses stark gedämpfter Horizontalpendel.

VON FÜRST B. GALITZIN.

Es ist zur Zeit eine hinreichend bewiesene, wenn auch noch nicht von allen Seismologen genügend anerkannte Tatsache, dass es zum Zweck der Erforschung des wahren Charakters der Bodenverschiebungen beim Eintreffen von Erdbebenwellen im hohen Maasse wünschenswert ist, die dazu dienenden Seismographen mit einer starken Dämpfung zu versehen, um den störenden Einfluss der Eigenbewegung der Apparate möglichst herabzudrücken. Je stärker die Dämpfung ist, desto weniger macht sich dieser störende Einfluss geltend; es muss aber bei Anwendung einer sehr starken Dämpfung für eine genügende Empfindlichkeit der Registrierung des entsprechenden Seismographen gesorgt werden, worauf ich hier nicht näher einzugehen brauche.

Zum Zweck der Auswertung der erhaltenen Seismogramme mit Rücksicht auf die Ableitung der wahren Elemente der Bodenbewegung muss man nicht nur die Eigenperiode des Instrumentes, sondern auch das entsprechende Dämpfungsverhältnis, d. h. das Verhältnis zweier nach einander folgender Ausschläge (unabhängig vom Vorzeichen derselben), etwa y_k und y_{k+1} , möglichst genau kennen.

Dieses Dämpfungsverhältnis wollen wir mit v bezeichnen; es ist also

$$v = \frac{y_k}{y_{k+1}} \dots\dots\dots(1)$$

Lässt man das Horizontalpendel, entweder optisch oder mechanisch die Kurve seiner Eigenbewegung aufschreiben und ist dabei die Dämpfung nicht besonders stark, sodass eine Anzahl Umkehrpunkte vorliegt, wo y Maximum oder Minimum wird, so lässt sich das gesuchte Dämpfungsverhältnis v

nach der Formel (1) in sehr einfacher Weise ableiten. Allein bei der mechanischen Registrierung muss eine Korrektion ρ inbezug auf die Reibung der Schreibfeder auf dem berussten Papier und eine andere Korrektion für die Kreisbewegung des Schreibstiftes mitberücksichtigt werden. Auf diese Frage werde ich jedoch hier nicht weiter eingehen, da ich dieselbe in einer anderen Abhandlung schon besprochen habe¹⁾.

Treibt man aber die Dämpfung in die Höhe, so dass die Umkehrpunkte sich nicht mehr deutlich erkennen lassen, was speziell zutrifft, wenn man sich der Aperiodizitätsgrenze nähert, so kann man von dieser Methode keinen weiteren Gebrauch machen.

Wendet man dagegen bei sehr stark gedämpften Horizontalpendeln die galvanometrische Registriermethode an, so lässt sich, wenn die Eigenperiode des Galvanometers sich wenig von der Eigenperiode des Pendels unterscheidet, das gesuchte Dämpfungsverhältnis ν in ausserordentlich einfacher und genauer Weise ableiten. Diese Methode ist ausführlich in meiner Abhandlung «Ueber die Bestimmung der Konstanten von stark gedämpften Horizontalpendeln²⁾» beschrieben. Diese Methode, von der ich bei meinen Seismographen in Pulkowa jetzt immer Gebrauch mache, ist in der Praxis äusserst bequem, um desto mehr, da sie gar nicht die Aufnahme der Kurve der Eigenbewegung des Apparates erfordert.

In meiner anderen Abhandlung «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mitteilung³⁾» habe ich zwei andere Methoden zur Bestimmung von ν angegeben, die jedoch ziemlich umständlich sind.

In dieser Abhandlung möchte ich zwei neue Methoden beschreiben; die erste derselben ist gewissermaassen eine Vereinfachung einer der früher angegebenen.

Diese neuen Methoden können speziell bei stark gedämpften Pendeln gute Dienste leisten.

Ich setze im Folgenden voraus, dass die Registrierung der Pendelbewegung eine rein optische ist. Wird aber die Bewegung des Pendels mechanisch registriert, so bedürfen die gemessenen Kurvenordinaten gewisser schon erwähnter Korrektionen.

Ich werde zuerst die Theorie dieser Methoden auseinandersetzen und alsdann schon die Resultate einiger ihrer Anwendungen mitteilen.

¹⁾ Siehe meinen Aufsatz «Ueber ein neues schweres Horizontalpendel mit mechanischer Registrierung für seismische Stationen zweiten Ranges». Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III. Livr. 3 St.-Petersbourg.

²⁾ Bulletin de l'Académie Impériale des sciences de St. Pétersbourg. № 9. (1908).

³⁾ Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente, T. III, Livr. 2. № 1 (1909).

Es bedeute y die lineare Ablenkung des Lichtpunktes auf der Registrier-
trommel von seiner Ruhelage. Dann lautet bekanntlich die Differential-
gleichung der Bewegung eines Horizontalpendels bei ruhender Unterlage,
wie folgt:

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

Hierin bedeuten:

ε — die Dämpfungskonstante

und

n — eine Konstante, welche von der Eigenperiode des Pendels
ohne Dämpfung T unmittelbar abhängt und zwar ist

$$n = \frac{2\pi}{T} \dots\dots\dots (3)$$

Die Konstante n lässt sich aus Schwingungsbeobachtungen bei schwacher
Dämpfung in sehr leichter Weise ermitteln.

Ist z. B. T' die in diesem Falle beobachtete Periode und Λ das ent-
sprechende Brigg'sche logarithmische Dekrement, also

$$\Lambda = \text{Log}_{10} v,$$

so ergibt sich bekanntlich aus der Theorie des Horizontalpendels¹⁾

$$n = \frac{2\pi}{T'} \sqrt{1 + 0,53720\Lambda^2} \dots\dots\dots (4)$$

n kann also als eine bekannte Grösse angesehen werden.

Es handelt sich hier nun darum, die Konstante ε zu bestimmen, wenn
die Dämpfung sehr stark ist. Wir wollen dabei voraussetzen, dass immer

$$\varepsilon < n$$

bleibt, dass also die Aperiodizitätsgrenze nicht überschritten wird.

Das allgemeine Integral der Gleichung (2) lautet

$$y = e^{-\varepsilon t} [A \cos \gamma t + B \sin \gamma t], \dots\dots\dots (5)$$

wo γ folgende Bedeutung hat

$$\gamma = \sqrt{n^2 - \varepsilon^2} \dots\dots\dots (6)$$

¹⁾ Siehe z. B. «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mitteilung». L. c. § 2.
1*

A und B sind Integrationskonstanten, welche von den Anfangsbedingungen der Bewegung unmittelbar abhängen.

Wollen wir nun folgende Bezeichnungen einführen:

und

$$\left. \begin{aligned} h &= \frac{\varepsilon}{n} \\ \mu^2 &= 1 - h^2 \\ m &= \frac{h}{\sqrt{1 - h^2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

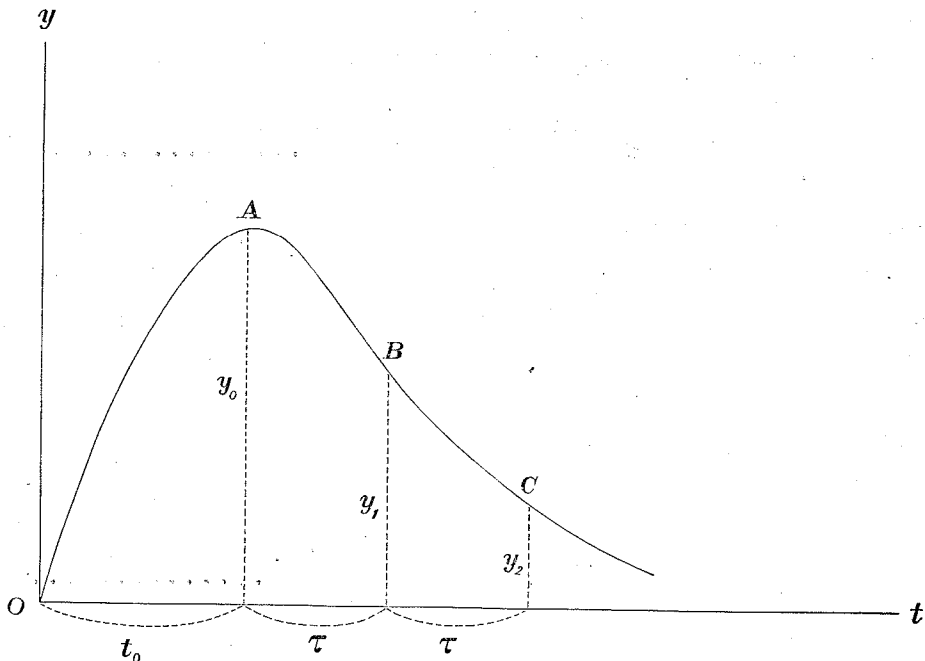
so wird bekanntlich das gesuchte Dämpfungsverhältnis v durch folgende Formel gegeben:

$$v = e^{\pi m} \dots\dots\dots (8)$$

Setzen wir voraus, dass dem Pendel ein anfänglicher Anstoss erteilt wird, und lassen wir dasselbe die Kurve seiner Eigenbewegung beschreiben.

Wenn die Dämpfung genügend stark ist, so hat diese Kurve in ihrem anfänglichen Teil folgende Gestalt (siehe die Fig. 1).

Fig. 1.



Aus der erhaltenen Kurve der Eigenbewegung des Pendels soll nun das Dämpfungsverhältnis v , welches als sehr gross vorausgesetzt wird, abgeleitet werden. Dazu kann man sich der zwei folgenden Methoden bedienen.

Erste Methode.

Es mögen die maximale Ordinate y_0 im Umkehrpunkte A und noch zwei andere Ordinaten y_1 und y_2 in gleichen Abszissenentfernungen τ gemessen werden. τ soll in Sekunden ausgedrückt werden; es muss folglich irgend welche Zeitmarkierung angebracht werden, etwa eine Hilfslinie mit Sekundenunterbrechungen. Die Trommelgeschwindigkeit muss selbstverständlich bei diesem Versuch eine genügend grosse sein.

Wollen wir nun für den Anfang der Zeitzählung denjenigen Moment annehmen, welcher dem Punkte A entspricht.

Dann wird für $t = 0$

$$y = y_0, \quad y' = 0.$$

Aus der Formel (5) folgt alsdann

$$y = y_0 e^{-\epsilon t} \left[\cos \gamma t + \frac{\epsilon}{\gamma} \sin \gamma t \right] \dots \dots \dots (9)$$

Dementsprechend haben wir

$$y_1 = y_0 e^{-\epsilon \tau} \left[\cos \gamma \tau + \frac{\epsilon}{\gamma} \sin \gamma \tau \right]$$
$$y_2 = y_0 e^{-2\epsilon \tau} \left[\cos 2\gamma \tau + \frac{\epsilon}{\gamma} \sin 2\gamma \tau \right]$$

Bilden wir nun die Differenzen

und

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= y_0 - y_1 \\ m_2 &= y_0 - y_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (10)$$

Diese Differenzen lassen sich sehr genau ermitteln. Eine etwaige unrichtige Lage der Nulllinie (Verschiebung derselben nach oben oder unten) hat also keine Bedeutung mehr, da es bei dieser Methode der Bestimmung von v nicht auf die Werte der absoluten Ordinaten, sondern auf die *Differenzen* derselben ankommt.

Man findet für m_1 und m_2 sofort folgende Ausdrücke:

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= y_0 \left[1 - e^{-\epsilon \tau} \left\{ \cos \gamma \tau + \frac{\epsilon}{\gamma} \sin \gamma \tau \right\} \right] \\ m_2 &= y_0 \left[1 - e^{-2\epsilon \tau} \left\{ \cos 2\gamma \tau + \frac{\epsilon}{\gamma} \sin 2\gamma \tau \right\} \right] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (11)$$

Eliminiert man aus diesen Gleichungen y_0 , so ergibt sich

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1 - e^{-\varepsilon\tau} \left\{ \cos \gamma\tau + \frac{\varepsilon}{\gamma} \sin \gamma\tau \right\}}{1 - e^{-2\varepsilon\tau} \left\{ \cos 2\gamma\tau + \frac{\varepsilon}{\gamma} \sin 2\gamma\tau \right\}} \dots \dots \dots (12)$$

Das ist die Grundformel zur Bestimmung des gesuchten Dämpfungsverhältnisses v .

$\frac{m_1}{m_2}$ ist, wenn τ nicht sehr gross gewählt wird, immer ein echter Bruch, welcher aus den Beobachtungen zu entnehmen ist.

Wollen wir jetzt an der Formel (12) einige Umformungen vornehmen. Setzen wir

$$h = \frac{\varepsilon}{n} = \cos \psi, \dots \dots \dots (13)$$

wo

$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$$

wird.

Dann wird, mit Rücksicht auf die Beziehungen (7) und (8),

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \sin \psi, \\ m &= \cotg \psi \\ v &= e^{\pi \cotg \psi}. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

und

Weiter ist

$$\gamma = + \sqrt{n^2 - \varepsilon^2} = n \sqrt{1 - h^2} = n \sin \psi$$

und

$$\gamma\tau = n\tau \cdot \sin \psi = \alpha \sin \psi, \dots \dots \dots (15)$$

wo

$$\alpha = n\tau \dots \dots \dots (16)$$

gesetzt wird.

α ist eine reine Zahl.

Weiter ist

$$\frac{\varepsilon}{\gamma} = \frac{n \cos \psi}{n \sin \psi} = \cotg \psi \dots \dots \dots (17)$$

und

$$\varepsilon\tau = \alpha \cos \psi.$$

Daraus ergibt sich

$$e^{-\varepsilon\tau} \left\{ \cos \gamma\tau + \frac{\varepsilon}{\gamma} \sin \gamma\tau \right\} = \frac{1}{\sin \psi} \cdot e^{-\alpha \cos \psi} \cdot \sin \{ \alpha \sin \psi + \psi \}$$

und

$$e^{-2\varepsilon\tau} \left\{ \cos 2\gamma\tau + \frac{\varepsilon}{\gamma} \sin 2\gamma\tau \right\} = \frac{1}{\sin \psi} e^{-2\alpha \cos \psi} \sin \{ 2\alpha \sin \psi + \psi \},$$

also

$$\frac{m_1}{m_2} = F(\alpha, \psi), \dots \dots \dots (18)$$

wo

$$F(\alpha, \psi) = \frac{\sin \psi - e^{-\alpha \cos \psi} \cdot \sin \{ \alpha \sin \psi + \psi \}}{\sin \psi - e^{-2\alpha \cos \psi} \sin \{ 2\alpha \sin \psi + \psi \}} \dots \dots \dots (19)$$

gesetzt wird.

$\frac{m_1}{m_2}$ ist aus der Kurve bekannt. α ist eine Grösse, welche nach Belieben gewählt werden kann, da dieselbe von der Entfernung τ der aequidistanten Ordinaten unmittelbar abhängig ist (siehe Formel (16)) und n aus der bekannten Eigenperiode des Pendels gegeben wird (siehe die Formel (4)).

Wir können also τ immer so wählen, dass α einen vorgeschriebenen Wert erhält.

Da $\frac{m_1}{m_2}$ und α gegeben sind so handelt es sich also nur darum, die Wurzel ψ der Gleichung (18) zu bestimmen; dabei muss

$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$$

bleiben.

Ist nun ψ einmal bekannt, so gibt die dritte der Gleichungen (14) sofort das gesuchte Dämpfungsverhältnis v .

Zur Erleichterung dieser Bestimmungen habe ich die Werte der Funktion $F(\alpha, \psi)$ in ihrer Abhängigkeit von ψ , bei einigen ausgewählten α berechnet.

Diese Werte sind in der am Schluss dieser Abhandlung angeführten Tabelle II gegeben.

Als Argument für diese Tabelle habe ich nicht ψ , sondern $\mu^2 = \sin^2 \psi$ genommen, da eben diese Grösse für stark gedämpfte Pendel besonders maassgebend ist¹⁾.

Die Werte der Funktion $F(\alpha, \psi)$ sind bis auf die Einheit der dritten Dezimale genau gegeben. Dies ist aber etwa die Genauigkeit, mit welcher das Verhältnis $\frac{m_1}{m_2}$ sich ermitteln lässt.

Hat man nun aus dieser Tabelle denjenigen Wert von μ^2 entnommen, für welchen bei einem gegebenen α $F(\alpha, \psi) = \frac{m_1}{m_2}$ wird, so lässt sich nach den früher angegebenen Formeln das gesuchte Dämpfungsverhältnis v sofort berechnen.

Um diese Rechnung jedoch zu vermeiden, habe ich eine Tabelle der

¹⁾ Man siehe meine Abhandlungen «Ueber die Bestimmung der Konstanten von stark gedämpften Horizontalpendeln» und «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mitteilung», § 2. L. c.

zugehörigen Werte von μ^2 , h und v zusammengestellt. (Siehe die Tabelle I am Schluss dieser Abhandlung).

$\mu^2 = 1$ entspricht einem völlig ungedämpften und $\mu^2 = 0$ einem aperiodischen Pendel.

Wollen wir jetzt zwei Spezialfälle betrachten.

Erster Fall. Das Pendel soll ungedämpft oder äusserst schwach gedämpft sein.

Dann wird

$$\mu^2 = 1$$

und

$$\psi = \frac{\pi}{2}.$$

In diesem Fall nimmt die Funktion $F(\alpha, \psi)$ folgende Form an

$$F(\alpha, \psi) = \frac{1 - \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right)}{1 - \sin\left(2\alpha + \frac{\pi}{2}\right)} = \frac{1 - \cos \alpha}{1 - \cos 2\alpha} = \frac{1}{4 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} \dots \dots \dots (20)$$

Zweiter Fall. Das Pendel ist fast aperiodisch, also μ^2 sehr klein und ψ etwa $= 0$.

In diesem Fall lässt sich der genaue Wert der Funktion $F(\alpha, \psi)$ schwer bestimmen, da der Ausdruck (19) etwa die Form $\frac{0}{0}$ annimmt.

Genau für die Grenze der Aperiodizität wird $\psi = 0$ und es wird

$$F(\alpha, \psi) = \frac{\left[\frac{d}{d\psi} \left\{ \sin \psi - e^{-\alpha \cos \psi} \sin(\alpha \sin \psi + \psi) \right\} \right]_{\psi=0}}{\left[\frac{d}{d\psi} \left\{ \sin \psi - e^{-2\alpha \cos \psi} \sin(2\alpha \sin \psi + \psi) \right\} \right]_{\psi=0}},$$

also

$$F(\alpha, \psi) = \frac{1 - e^{-\alpha(1+\alpha)}}{1 - e^{-2\alpha(1+2\alpha)}} \dots \dots \dots (21)$$

Dieser Umstand, dass an der Grenze der Aperiodizität die Funktion $F(\alpha, \psi)$ die Form $\frac{0}{0}$ annimmt, ist von keiner wesentlichen Bedeutung, da in der Praxis sich die Formel (19) immer noch für ungemein starke Dämpfungsverhältnisse anwenden lässt.

In der Tat z. B. wird für $v = 1030$ $\mu^2 = 0,17$, folglich $\psi = 24,4$ sein. (Siehe die Tabelle I).

Selbst für $v = 21800$, wird $\mu^2 = 0,09$ und $\psi = 17,5$ betragen.

Bei solchen Werten von ψ lassen sich die Berechnungen nach der Formel (19) noch sehr gut durchführen, ein Pendel aber, welches ein solches

Tabelle I.

μ^2	h	v	μ^2	h	v
1,00	0,000	1,00	0,50	0,707	23,1 ¹⁾
0,99	0,100	1,37	0,49	0,714	24,7
0,98	0,141	1,57	0,48	0,721	26,3
0,97	0,173	1,74	0,47	0,728	28,1
0,96	0,200	1,90	0,46	0,735	30,1
0,95	0,224	2,06	0,45	0,742	32,2
0,94	0,245	2,21	0,44	0,748	34,6
0,93	0,265	2,37	0,43	0,755	37,2
0,92	0,283	2,53	0,42	0,762	40,1
0,91	0,300	2,69	0,41	0,768	43,3
0,90	0,316	2,85	0,40	0,775	46,9
0,89	0,332	3,02	0,39	0,781	50,9
0,88	0,346	3,19	0,38	0,787	55,3
0,87	0,361	3,37	0,37	0,794	60,3
0,86	0,374	3,55	0,36	0,800	65,9
0,85	0,387	3,74	0,35	0,806	72,3
0,84	0,400	3,94	0,34	0,812	79,6
0,83	0,412	4,14	0,33	0,819	87,9
0,82	0,424	4,36	0,32	0,825	97,5
0,81	0,436	4,58	0,31	0,831	109
0,80	0,447	4,81	0,30	0,837	121
0,79	0,458	5,05	0,29	0,843	136
0,78	0,469	5,30	0,28	0,849	154
0,77	0,480	5,57	0,27	0,854	175
0,76	0,490	5,84	0,26	0,860	200
0,75	0,500	6,13	0,25	0,866	231
0,74	0,510	6,44	0,24	0,872	268
0,73	0,520	6,76	0,23	0,877	314
0,72	0,529	7,09	0,22	0,883	371
0,71	0,539	7,45	0,21	0,889	443
0,70	0,548	7,82	0,20	0,894	536
0,69	0,557	8,21	0,19	0,900	656
0,68	0,566	8,63	0,18	0,906	817
0,67	0,574	9,07	0,17	0,911	103 × 10 ¹
0,66	0,583	9,53	0,16	0,917	134 × 10 ¹
0,65	0,592	10,0	0,15	0,922	177 × 10 ¹
0,64	0,600	10,6	0,14	0,927	241 × 10 ¹
0,63	0,608	11,1	0,13	0,933	339 × 10 ¹
0,62	0,616	11,7	0,12	0,938	495 × 10 ¹
0,61	0,624	12,3	0,11	0,943	760 × 10 ¹
0,60	0,632	13,0	0,10	0,949	124 × 10 ²
0,59	0,640	13,7	0,09	0,954	218 × 10 ²
0,58	0,648	14,5	0,08	0,959	424 × 10 ²
0,57	0,656	15,3	0,07	0,964	940 × 10 ²
0,56	0,663	16,2	0,06	0,970	251 × 10 ³

μ^2	h	v	μ^2	h	v
1,00	0,000	1,00	0,50	0,707	23,1 ¹⁾
0,99	0,100	1,37	0,49	0,714	24,7
0,98	0,141	1,57	0,48	0,721	26,3
0,97	0,173	1,74	0,47	0,728	28,1
0,96	0,200	1,90	0,46	0,735	30,1
0,95	0,224	2,06	0,45	0,742	32,2
0,94	0,245	2,21	0,44	0,748	34,6
0,93	0,265	2,37	0,43	0,755	37,2
0,92	0,283	2,53	0,42	0,762	40,1
0,91	0,300	2,69	0,41	0,768	43,3
0,90	0,316	2,85	0,40	0,775	46,9
0,89	0,332	3,02	0,39	0,781	50,9
0,88	0,346	3,19	0,38	0,787	55,3
0,87	0,361	3,37	0,37	0,794	60,3
0,86	0,374	3,55	0,36	0,800	65,9
0,85	0,387	3,74	0,35	0,806	72,3
0,84	0,400	3,94	0,34	0,812	79,6
0,83	0,412	4,14	0,33	0,819	87,9
0,82	0,424	4,36	0,32	0,825	97,5
0,81	0,436	4,58	0,31	0,831	109
0,80	0,447	4,81	0,30	0,837	121
0,79	0,458	5,05	0,29	0,843	136
0,78	0,469	5,30	0,28	0,849	154
0,77	0,480	5,57	0,27	0,854	175
0,76	0,490	5,84	0,26	0,860	200
0,75	0,500	6,13	0,25	0,866	231
0,74	0,510	6,44	0,24	0,872	268
0,73	0,520	6,76	0,23	0,877	314
0,72	0,529	7,09	0,22	0,883	371
0,71	0,539	7,45	0,21	0,889	443
0,70	0,548	7,82	0,20	0,894	536
0,69	0,557	8,21	0,19	0,900	656
0,68	0,566	8,63	0,18	0,906	817
0,67	0,574	9,07	0,17	0,911	103 × 10 ¹
0,66	0,583	9,53	0,16	0,917	134 × 10 ¹
0,65	0,592	10,0	0,15	0,922	177 × 10 ¹
0,64	0,600	10,6	0,14	0,927	241 × 10 ¹
0,63	0,608	11,1	0,13	0,933	339 × 10 ¹
0,62	0,616	11,7	0,12	0,938	495 × 10 ¹
0,61	0,624	12,3	0,11	0,943	760 × 10 ¹
0,60	0,632	13,0	0,10	0,949	124 × 10 ²
0,59	0,640	13,7	0,09	0,954	218 × 10 ²
0,58	0,648	14,5	0,08	0,959	424 × 10 ²
0,57	0,656	15,3	0,07	0,964	940 × 10 ²
0,56	0,663	16,2	0,06	0,970	251 × 10 ³
0,55	0,671	17,1	0,05	0,975	886 × 10 ³
0,54	0,678	18,2	0,04	0,980	483 × 10 ⁴
0,53	0,686	19,3	0,03	0,985	573 × 10 ⁵
0,52	0,693	20,5	0,02	0,990	355 × 10 ⁷
0,51	0,700	21,7	0,01	0,995	377 × 10 ¹¹
			0	1,000	∞

1) Kritischer Wert von v .

Dämpfungsverhältnis besitzt, kann selbstverständlich in der Praxis als ein aperiodisches betrachtet werden.

Wollen wir nun jetzt sehen, welche Werte von α bei der Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses v nach dieser Methode vorkommen können.

α kann immer beliebig klein genommen werden, aber es kann nicht eine bestimmte Grenze überschreiten, wenn y' sein Vorzeichen nicht ändern soll.

Wollen wir nun die entsprechenden maximalen, noch zulässigen Werte von α , nämlich α_m , aufsuchen. Bedeute t_1 die Zeit bis zum nächsten Umkehrpunkt der Kurve, so wird der maximale Wert von $\tau = \frac{t_1}{2}$ sein.

Halten wir nun an der Bedingung $n > \varepsilon$ fest, so wird nach Gleichung (9) y' zum ersten Mal gleich 0 für

$$\sin \gamma t_1 = 0, \dots \dots \dots (22)$$

oder

$$t_1 = \frac{\pi}{\gamma} \dots \dots \dots (23)$$

Da $\tau = \frac{t_1}{2}$ ist, so ergibt sich, mit Bezug auf die Gleichung (15),

$$\alpha_m \sin \psi = \frac{\pi}{2},$$

oder

$$\alpha_m = \frac{\pi}{2 \sin \psi} \dots \dots \dots (24)$$

α_m hängt von ψ , also von dem Wert des Dämpfungsverhältnisses v unmittelbar ab.

In der folgenden kleinen Tabelle sind einige zugehörige Werte von μ^2 , ψ , h , v und α_m zusammengestellt und zwar nach wachsendem v geordnet.

μ^2	ψ	h	v	α_m
1,00	90° 0',0	0,000	1,00	1,57
0,90	71 33,9	0,316	2,85	1,66
0,80	63 26,1	0,447	4,81	1,76
0,70	56 47,4	0,548	7,82	1,88
0,60	50 46,1	0,632	13,0	2,03
0,50	45 0,0	0,707	23,1	2,22
0,40	39 13,8	0,775	46,9	2,48
0,30	33 12,6	0,837	121	2,87
0,20	26 33,8	0,894	536	3,51
0,10	18 26,2	0,949	12400	4,97
0,00	0 0,0	1,000	∞	∞

Mit stetig wachsendem v wächst α_m ins Unendliche, aber man wird in der Praxis nie zu grosse Werte von α zu nehmen brauchen.

Die Berechnung der Tabelle II habe ich nur bis zu dem Werte $\alpha=3,00$ durchgeführt, was für die Praxis wohl vollständig ausreichend ist. Für den kleinsten Wert von α habe ich $\alpha=0,25$ genommen und die Rechnungen nur für 12 bestimmte Werte von α durchgeführt, nämlich:

$\alpha=0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,25, 1,50, 1,75, 2,00, 2,25, 2,50, 2,75, \text{ u. } 3,00.$

Eine weitere Detaillierung der Tabelle II inbezug auf α ist ganz und gar überflüssig, da man durch passende Auswahl von τ , bei dem bekannten Wert von n (aus Schwingungsbeobachtungen bei schwacher Dämpfung) immer zustande bringen kann, dass der entsprechende Wert von α sich genau einer dieser 12 Zahlen anpasst.

Ich habe in der Tabelle II für grössere Werte von α , von $\alpha=1,75$ ab, noch einige Werte der Funktion $F(\alpha, \psi)$, bei welchen der maximale Wert von α_m (siehe die vorige kleine Tabelle auf Seite 9) überschritten wird, wo also y' sein Vorzeichen schon geändert hat, hinzugefügt, aber dabei mich nur auf die Werte, die kleiner als die Einheit ausfallen, beschränkt.

Dieselben stehen in jeder Kolonne oberhalb des doppelten horizontalen Striches. Man könnte sich eventuell auch dieser Werte zur Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses bedienen, aber bei mechanischer Registrierungsart muss man dabei auf die Änderung des Vorzeichens des Korrektionsgliedes ρ für die Reibung des Schreibstiftes auf dem berussten Papier Acht geben¹⁾.

Ogleich die hier beschriebene Methode hauptsächlich für stark gedämpfte Pendel bestimmt ist²⁾, etwa für $v > 5$, also $\mu^2 < 0,80$, so habe ich doch der Vollständigkeit halber in der Tabelle II die Werte der Funktion $F(\alpha, \psi)$ noch für $\mu^2=0,90$ und $\mu^2=1,00$ (ungedämpftes Pendel) hinzugefügt. μ^2 ändert sich in dieser Tabelle von dem Wert $\mu^2=1,00$ bis zu $\mu^2=0,00$ (aperiodisches Pendel) um je 0,10. Hat man aus den Beobachtungen den Wert von $\frac{m_1}{m_2}$ bis auf 0,001 (man bedenke dabei, dass man nur mit den *Differenzen* der Ordinaten zu tun hat) genau ermittelt, so lässt sich der entsprechende Wert von μ^2 aus der Tabelle durch Interpolation finden.

Ein Blick auf die Differenzen der Funktion $F(\alpha, \psi)$ für benachbarte

¹⁾ Siehe meinen Aufsatz «Ueber ein neues schweres Horizontalpendel mit mechanischer Registrierung für seismische Stationen zweiten Ranges». Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III. Livr. 3. St.-Petersbourg.

²⁾ Bei schwacher Dämpfung berechnet sich das Dämpfungsverhältnis viel besser aus der Abnahme der maximalen Amplituden.

$\alpha \rightarrow$ μ^2	0,25	Diff.	0,50	Diff.	0,75	Diff.	1,00	Diff.
\downarrow								
1,00	0,254	+0,013	0,266	+0,027	0,289	+0,039	0,325	+0,052
0,90	0,267	6	0,293	10	0,328	15	0,377	17
0,80	0,273	8	0,303	7	0,343	10	0,394	12
0,70	0,276	4	0,310	7	0,353	8	0,406	9
0,60	0,280	3	0,317	5	0,361	7	0,415	7
0,50	0,283	2	0,322	5	0,368	6	0,422	6
0,40	0,285	2	0,327	4	0,374	5	0,428	5
0,30	0,287	3	0,331	4	0,379	5	0,433	5
0,20	0,290	1	0,335	3	0,384	4	0,438	3
0,10	0,291	3	0,338	3	0,388	4	0,441	4
0,00	0,294		0,341		0,392		0,445	

Tabelle II.

Werte der Funktion $\frac{m_1}{m_2} = F(\alpha, \psi)$.

$$\mu^2 = \sin^2 \psi.$$

Diff.	0,75	Diff.	1,00	Diff.	1,25	Diff.	1,50	Diff.	1,75	Diff.	2,00	Diff.	2,25	Diff.	2,50	Diff.	2,75	Diff.	3,00	Diff.
	0,289		0,325		0,380		0,467		0,608		0,856		—		—		—		—	
+0,027		+0,039		+0,052		+0,062		+0,061		+0,032		—0,073		—		—		—		—
	0,328		0,377		0,442		0,528		0,640		0,783		0,956		—		—		—	
10		15		17		17		12		—0,003		— 34		—0,084		—		—		—
	0,343		0,394		0,459		0,540		0,637		0,749		0,872		0,996		—		—	
7		10		12		11		5		— 5		— 23		— 48		—0,077		—		—
	0,353		0,406		0,470		0,545		0,632		0,726		0,824		0,919		—		—	
7		8		9		8		4		— 5		— 17		— 33		— 50		—		—
	0,361		0,415		0,478		0,549		0,627		0,709		0,791		0,869		0,938		0,994	
5		7		7		5		2		— 5		— 13		— 24		— 35		—0,045		—0,052
	0,368		0,422		0,483		0,551		0,622		0,696		0,767		0,834		0,893		0,942	
5		6		6		5		1		— 4		— 12		— 19		— 26		— 33		— 37
	0,374		0,428		0,488		0,552		0,618		0,684		0,748		0,808		0,860		0,905	
4		5		5		3		0		— 4		— 9		— 15		— 21		— 26		— 30
	0,379		0,433		0,491		0,552		0,614		0,675		0,733		0,787		0,834		0,875	
4		5		5		3		0		— 4		— 8		— 13		— 18		— 21		— 24
	0,384		0,438		0,494		0,552		0,610		0,667		0,720		0,769		0,813		0,851	
3		4		3		3		0		— 3		— 7		— 10		— 14		— 17		— 19
	0,388		0,441		0,497		0,552		0,607		0,660		0,710		0,755		0,796		0,832	
3		4		4		2		0		— 3		— 6		— 10		— 12		— 15		— 17
	0,392		0,445		0,499		0,552		0,604		0,654		0,700		0,743		0,781		0,815	

Werte von μ^2 lässt sofort erkennen, dass bei sehr starker Dämpfung, also bei kleinen Werten von μ^2 , eine genaue Bestimmung von μ^2 etwas schwierig ist. Dies ist keine besondere Eigentümlichkeit dieser Methode, sondern es ist überhaupt schwierig, wenn die Dämpfung schon sehr stark geworden ist, μ^2 aus der Form der Kurve der Eigenbewegung des Pendels genau zu bestimmen. Bei einem passend gewählten α wird man für kleinere Werte von μ^2 diese Grösse doch bis auf 2 oder 3 Einheiten der zweiten Dezimale genau bestimmen können. (Siehe die Tabelle II). Dies ist aber für die Praxis als vollständig genügend anzusehen.

Es ist in der Tat freilich fast ganz gleichgültig, ob sich z. B. $\mu^2 = 0,34$ oder $0,31$ ergeben würde. Denn im ersten Fall wird nach der Tabelle I $v = 79,6$ und im zweiten $v = 109$, aber ein Pendel, das so stark gedämpft ist, kann für die Praxis wohl schon als ein fast aperiodisches betrachtet werden.

Wollen wir nun ein Paar Worte betreffs der Auswahl von α hinzufügen.

Wollen wir dabei von den Werten der Funktion $F(\alpha, \psi)$ zwischen $\mu^2 = 1,00$ und $\mu^2 = 0,80$ absehen, da dieselben hier freilich nicht in Betracht kommen.

Die Werte der Differenzen der Funktion $F(\alpha, \psi)$ in der Tabelle II lassen sofort erkennen, dass der Fall $\alpha = 0,25$ für die genaue Bestimmung von μ^2 ungünstig ist. Man wird also grössere Werte von α wählen müssen, aber in dieser Hinsicht muss man mit Vorsicht vorgehen, da die Tabelle uns zeigt, dass die in derselben Zeile sich befindlichen Werte der Differenzen mit wachsendem α nur am Anfang zunehmen; weiter nehmen sie schon ab, gehen durch Null hindurch, werden schliesslich negativ und weiter ihrer absoluten Grösse nach immer grösser. Es gibt also für jeden Wert von μ^2 einen bestimmten Wert von α , wo die Funktion $F(\alpha, \psi)$ mit der Änderung von μ^2 ihren Wert nicht mehr ändert.

Es sind also je nach dem Werte von μ^2 gewisse Werte von α von vornherein auszuschliessen, da bei denselben eine genaue Ermittlung von μ^2 überhaupt nicht möglich ist. Für kleinere Werte von μ^2 ist der Fall $\alpha = 1,50$ überhaupt sehr ungünstig und sogar nicht brauchbar.

Der Fall $\alpha = 2,00$, oder besser noch $\alpha > 2,00$ wird am zweckmässigsten sein.

Zweite Methode.

Diese erste hier beschriebene Methode zur Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses v oder des ihm entsprechenden Wertes von μ^2 besitzt den Vorteil, dass eine genaue Kenntnis der absoluten Werte der Ordinaten nicht erforderlich ist, da die Bestimmung von μ^2 sich nur auf der Differenz der Ordinaten basiert. Infolgedessen ist eine genaue Kenntnis der Lage der

Nulllinie nicht nötig. Da aber in einigen Fällen der Wert der Funktion $F(\alpha, \psi) = \frac{m_1}{m_2}$, wie die Tabelle II uns lehrt, sich recht wenig mit μ^2 ändert, so muss das Verhältnis $\frac{m_1}{m_2}$ recht genau ermittelt werden, was zuweilen, wenn die Beobachtungsbedingungen nicht sehr günstig sind (Bodenerschütterungen, Luftzüge), etwas umständlich sein kann.

Deshalb habe ich eine zweite Methode zur Bestimmung von μ^2 ausgearbeitet, die ziemlich bequem ist und rasch zum Ziele führt. Dieselbe setzt aber freilich die absoluten Werte der Ordinaten voraus; da dieselben aber nicht klein genommen zu werden brauchen, so wird ein etwaiger kleiner Fehler in der Lage der Nulllinie nicht mehr von Belang sein. Die weiter mitzuteilenden Versuche haben auch in der Tat gezeigt, dass diese zweite Methode zu ganz guten Resultaten führen kann.

Die Theorie derselben stützt sich auf dieselbe Grundformel (5); wir wollen aber in derselben andere Anfangsbedingungen einführen.

Es sei für $t = 0$ $y = 0$ und $y' = y_0'$ (Punkt 0 auf der Fig. 1).

Dann lässt sich y durch folgende Formel darstellen:

$$y = \frac{1}{\gamma} y_0' e^{-\epsilon t} \sin \gamma t \dots \dots \dots (25)$$

Das erste Maximum y_0 (Punkt A) entspricht einem Zeitmoment t_0 , wo

$$\text{tg } \gamma t_0 = \frac{\gamma}{\epsilon} \dots \dots \dots (26)$$

wird.

Nun haben wir auf Grund der Beziehungen (6), (7) und (13)

$$\left. \begin{aligned} \epsilon &= n \cos \psi \\ \gamma &= n \sin \psi \\ \mu &= \sin \psi, \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (27)$$

folglich wird

$$\frac{\gamma}{\epsilon} = \text{tg } \psi$$

und

$$\gamma t_0 = \psi.$$

Setzen wir nun weiter $\beta = \epsilon t_0$, so wird

$$\beta = \frac{\psi}{\text{tg } \psi} \dots \dots \dots (28)$$

Es ergibt sich also für die maximale Ordinate y_0 folgender Ausdruck:

$$y_0 = \frac{1}{n} \cdot y_0' e^{-\beta} \dots \dots \dots (29)$$

Wollen wir nun einige andere Ordinaten y_1 , y_2 und y_3 messen, in einer Entfernung $2t_0$, $3t_0$ und $4t_0$ von dem Anfangspunkt der Koordinaten 0.

Dann wird nach Formel (25),

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{1}{\gamma} y_0' e^{-2\beta} \sin 2\psi = \frac{1}{\gamma} y_0' e^{-2\beta} [2 \sin \psi \cos \psi] \\ y_2 &= \frac{1}{\gamma} y_0' e^{-3\beta} \sin 3\psi = \frac{1}{\gamma} y_0' e^{-3\beta} \sin \psi [3 - 4 \sin^2 \psi] \\ y_3 &= \frac{1}{\gamma} y_0' e^{-4\beta} \sin 4\psi = \frac{1}{\gamma} y_0' e^{-4\beta} [4 \sin \psi \cos \psi (1 - 2 \sin^2 \psi)] \end{aligned} \right\} \dots (30)$$

Bezeichnen wir das Verhältnis dieser Ordinaten zu y_0 , resp. durch p_1 , p_2 und p_3 , also

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{y_1}{y_0}, \\ p_2 &= \frac{y_2}{y_0}, \\ p_3 &= \frac{y_3}{y_0}, \end{aligned}$$

so ergibt sich aus den Beziehungen (29) und (30), mit Rücksicht auf die zweite der Formeln (27),

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \frac{2 \cos \psi}{e^{\beta}} = f_1(\psi) \\ p_2 &= \frac{3 - 4 \sin^2 \psi}{e^{2\beta}} = f_2(\psi) \\ p_3 &= \frac{4 \cos \psi (1 - 2 \sin^2 \psi)}{e^{3\beta}} = f_3(\psi) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (31)$$

Jede von diesen drei Formeln kann, wenn das entsprechende p aus der Kurve bestimmt ist, zur Berechnung des Dämpfungsverhältnisses des Pendels dienen.

Jedem Wert von p_1 , p_2 oder p_3 entspricht ein bestimmter Wert von ψ . Hat man also ψ ermittelt, so erhält man sofort den gesuchten Wert von $\mu^2 = \sin^2 \psi$.

Zur Erleichterung dieser Rechnungen habe ich drei Tabellen für die Funktionen $f_1(\psi)$, $f_2(\psi)$ und $f_3(\psi)$ berechnet, die weiter als Tabellen III,

IV und V gegeben sind. Als Argument für dieselben habe ich nicht ψ , sondern wieder μ^2 genommen, was praktischer ist, und zwar ändert sich dabei μ^2 von 1,00 (völlig ungedämpftes Pendel) bis $\mu^2 = 0,00$ (aperiodisches Pendel) um je 0,01. Diese Tabellen sind viel detaillierter in bezug auf μ^2 , als die Tabelle II. Mit Hilfe derselben kann man, wenn das Verhältnis der Ordinaten p bestimmt ist, das gesuchte μ^2 sofort ermitteln. Ein Wert von p genügt dazu vollkommen, die anderen können aber zur Kontrolle dienen.

Diese Tabellen zeigen, dass die Funktionen $f(\psi)$ sich im Allgemeinen viel rascher mit μ^2 ändern, als die Funktion $F(\alpha, \psi)$ der Tabelle II. Infolgedessen ist in dieser Hinsicht diese zweite Methode zur Bestimmung von μ^2 viel bequemer, als die erste. Am zweckmässigsten wird man dazu den Wert von p_1 wählen, da in diesem Fall ein etwaiger kleiner Fehler in der Lage der Nulllinie sich weniger geltend machen wird.

Wollen wir noch die Werte von p für beide Grenzfälle $\mu^2 = 1,00$ und $\mu^2 = 0$ hier zusammenstellen.

$\mu^2 = 1,00$	$\mu^2 = 0$
$\psi = \frac{\pi}{2}$	$\psi = 0$
$\beta = 0$	$\beta = 1.$
$p_1 = 0$	$p_1 = \frac{2}{e} = 0,736$
$p_2 = -1$	$p_2 = \frac{3}{e^2} = 0,406$
$p_3 = 0$	$p_3 = \frac{4}{e^3} = 0,199.$

Aus den Gleichungen (31) ergeben sich sofort die Grenzwerte für μ^2 , resp. v ,¹⁾ für welche die verschiedenen p noch positiv bleiben, wo also alle Ordinaten oberhalb der Zeitaxe liegen.

$p_1 \geq 0$	$\mu^2 \leq 1$	$v \geq 1$
$p_2 \geq 0$	$\mu^2 \leq \frac{3}{4}$	$v \geq 6,13$
$p_3 \geq 0$	$\mu^2 \leq \frac{1}{2}$	$v \geq 23,1.$

Die hier beschriebenen Methoden zur Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses lassen sich nicht nur bei Horizontalpendeln anwenden, sondern an

¹⁾ Siehe die Tabelle I.

Tabelle III.

$$p_1 = f_1(\psi) = \frac{2 \cos \psi}{e^\beta}$$

$$\mu^2 = \sin^2 \psi. \quad \beta = \frac{\psi}{\text{tang } \psi}$$

μ^2	p_1	Δ	μ^2	p_1	Δ	μ^2	p_1	Δ	μ^2	p_1	Δ
1,00	0,000		0,75	0,546		0,50	0,645		0,25	0,699	
0,99	0,172	+0,172	0,74	0,552	+0,006	0,49	0,648	+0,003	0,24	0,701	+0,002
0,98	0,231	59	0,73	0,557	5	0,48	0,650	2	0,23	0,703	2
0,97	0,271	40	0,72	0,563	6	0,47	0,653	3	0,22	0,704	1
0,96	0,302	31	0,71	0,568	5	0,46	0,655	2	0,21	0,706	2
0,95	0,328	26	0,70	0,573	5	0,45	0,658	3	0,20	0,708	2
0,94	0,351	23	0,69	0,577	4	0,44	0,660	2	0,19	0,709	1
0,93	0,370	19	0,68	0,582	5	0,43	0,663	3	0,18	0,711	2
0,92	0,387	17	0,67	0,586	4	0,42	0,665	2	0,17	0,712	1
0,91	0,403	16	0,66	0,590	4	0,41	0,667	2	0,16	0,714	2
0,90	0,417	14	0,65	0,595	5	0,40	0,670	3	0,15	0,715	1
0,89	0,430	13	0,64	0,599	4	0,39	0,672	2	0,14	0,717	2
0,88	0,442	12	0,63	0,603	4	0,38	0,674	2	0,13	0,718	1
0,87	0,453	11	0,62	0,606	3	0,37	0,676	2	0,12	0,720	2
0,86	0,463	10	0,61	0,610	4	0,36	0,678	2	0,11	0,721	1
0,85	0,473	10	0,60	0,614	4	0,35	0,680	2	0,10	0,723	2
0,84	0,482	9	0,59	0,617	3	0,34	0,683	3	0,09	0,724	1
0,83	0,491	9	0,58	0,620	3	0,33	0,685	2	0,08	0,725	1
0,82	0,499	8	0,57	0,624	4	0,32	0,686	1	0,07	0,727	2
0,81	0,507	8	0,56	0,627	3	0,31	0,688	2	0,06	0,728	1
0,80	0,514	7	0,55	0,630	3	0,30	0,690	2	0,05	0,729	1
0,79	0,521	7	0,54	0,633	3	0,29	0,692	2	0,04	0,731	2
0,78	0,528	7	0,53	0,636	3	0,28	0,694	2	0,03	0,732	1
0,77	0,534	6	0,52	0,639	3	0,27	0,696	2	0,02	0,733	1
0,76	0,540	6	0,51	0,642	3	0,26	0,698	2	0,01	0,735	2
		-6			3			1	0,00	0,736	1

Tabelle IV.

$$p_2 = f_2(\psi) = \frac{3 - 4 \sin^2 \psi}{e^{2\beta}}$$

$$\mu^2 = \sin^2 \psi. \quad \beta = \frac{\psi}{\text{tang } \psi}.$$

μ^2	p_2	Δ	μ^2	p_2	Δ	μ^2	p_2	Δ	μ^2	p_2	Δ
1,00	-1,000		0,75	0,000		0,50	+0,208		0,25	+0,326	
0,99	-0,715	+0,285	0,74	+0,012	+0,012	0,49	+0,214	+0,006	0,24	+0,330	+0,004
0,98	-0,612	103	0,73	+0,023	11	0,48	+0,220	6	0,23	+0,334	4
0,97	-0,539	73	0,72	+0,034	11	0,47	+0,225	5	0,22	+0,337	3
0,96	-0,480	59	0,71	+0,044	10	0,46	+0,231	6	0,21	+0,341	4
0,95	-0,432	48	0,70	+0,055	11	0,45	+0,236	5	0,20	+0,344	3
0,94	-0,389	43	0,69	+0,064	9	0,44	+0,241	5	0,19	+0,348	4
0,93	-0,352	37	0,68	+0,074	10	0,43	+0,247	6	0,18	+0,351	3
0,92	-0,319	33	0,67	+0,083	9	0,42	+0,252	5	0,17	+0,355	4
0,91	-0,289	30	0,66	+0,092	9	0,41	+0,257	5	0,16	+0,358	3
0,90	-0,261	28	0,65	+0,101	9	0,40	+0,262	5	0,15	+0,361	3
0,89	-0,235	26	0,64	+0,110	9	0,39	+0,266	4	0,14	+0,365	4
0,88	-0,212	23	0,63	+0,118	8	0,38	+0,271	5	0,13	+0,368	3
0,87	-0,190	22	0,62	+0,126	8	0,37	+0,276	5	0,12	+0,371	3
0,86	-0,169	21	0,61	+0,134	8	0,36	+0,281	5	0,11	+0,374	3
0,85	-0,149	20	0,60	+0,141	7	0,35	+0,285	4	0,10	+0,377	3
0,84	-0,131	18	0,59	+0,149	8	0,34	+0,289	4	0,09	+0,380	3
0,83	-0,113	18	0,58	+0,156	7	0,33	+0,294	5	0,08	+0,383	3
0,82	-0,097	16	0,57	+0,163	7	0,32	+0,298	4	0,07	+0,386	3
0,81	-0,081	16	0,56	+0,170	7	0,31	+0,302	4	0,06	+0,389	3
0,80	-0,066	15	0,55	+0,176	6	0,30	+0,306	4	0,05	+0,392	3
0,79	-0,052	14	0,54	+0,183	7	0,29	+0,310	4	0,04	+0,395	3
0,78	-0,038	14	0,53	+0,189	6	0,28	+0,314	4	0,03	+0,398	3
0,77	-0,025	13	0,52	+0,196	7	0,27	+0,318	4	0,02	+0,401	3
0,76	-0,012	13	0,51	+0,202	6	0,26	+0,322	4	0,01	+0,403	2
		12			6			4	0,00	+0,406	3

Tabelle V.

$$p_3 = f_3(\psi) = \frac{4 \cos \psi \{1 - 2 \sin^2 \psi\}}{e^{3\beta}}$$

$$\mu^2 = \sin^2 \psi. \quad \beta = \frac{\psi}{\text{tang } \psi}$$

μ^2	p_3	Δ	μ^2	p_3	Δ	μ^2	p_3	Δ	μ^2	p_3	Δ
1,00	0,000		0,75	-0,163		0,50	0,000		0,25	+0,114	
		-0,252			+0,008			+0,005			+0,004
0,99	-0,252	- 42	0,74	-0,155	+ 7	0,49	+0,005	+ 6	0,24	+0,118	+ 4
0,98	-0,294	- 18	0,73	-0,148	+ 8	0,48	+0,011	+ 5	0,23	+0,122	+ 3
0,97	-0,312	- 6	0,72	-0,140	+ 8	0,47	+0,016	+ 5	0,22	+0,125	+ 4
0,96	-0,318	- 1	0,71	-0,132	+ 7	0,46	+0,021	+ 5	0,21	+0,129	+ 4
0,95	-0,319	+ 3	0,70	-0,125	+ 7	0,45	+0,026	+ 5	0,20	+0,133	+ 4
0,94	-0,316	+ 5	0,69	-0,118	+ 7	0,44	+0,031	+ 5	0,19	+0,137	+ 3
0,93	-0,311	+ 6	0,68	-0,111	+ 7	0,43	+0,036	+ 5	0,18	+0,140	+ 4
0,92	-0,305	+ 7	0,67	-0,104	+ 7	0,42	+0,041	+ 4	0,17	+0,144	+ 3
0,91	-0,298	+ 8	0,66	-0,097	+ 7	0,41	+0,045	+ 5	0,16	+0,147	+ 4
0,90	-0,290	+ 8	0,65	-0,090	+ 7	0,40	+0,050	+ 5	0,15	+0,151	+ 3
0,89	-0,282	+ 8	0,64	-0,083	+ 6	0,39	+0,055	+ 4	0,14	+0,154	+ 4
0,88	-0,274	+ 9	0,63	-0,077	+ 7	0,38	+0,059	+ 5	0,13	+0,158	+ 3
0,87	-0,265	+ 9	0,62	-0,070	+ 6	0,37	+0,064	+ 4	0,12	+0,161	+ 3
0,86	-0,256	+ 9	0,61	-0,064	+ 6	0,36	+0,068	+ 5	0,11	+0,164	+ 4
0,85	-0,247	+ 8	0,60	-0,058	+ 6	0,35	+0,073	+ 4	0,10	+0,168	+ 3
0,84	-0,239	+ 9	0,59	-0,052	+ 6	0,34	+0,077	+ 4	0,09	+0,171	+ 3
0,83	-0,230	+ 9	0,58	-0,046	+ 6	0,33	+0,081	+ 5	0,08	+0,174	+ 4
0,82	-0,221	+ 9	0,57	-0,040	+ 6	0,32	+0,086	+ 4	0,07	+0,178	+ 3
0,81	-0,212	+ 8	0,56	-0,034	+ 6	0,31	+0,090	+ 4	0,06	+0,181	+ 3
0,80	-0,204	+ 8	0,55	-0,028	+ 6	0,30	+0,094	+ 4	0,05	+0,184	+ 3
0,79	-0,196	+ 9	0,54	-0,022	+ 6	0,29	+0,098	+ 4	0,04	+0,187	+ 3
0,78	-0,187	+ 8	0,53	-0,016	+ 5	0,28	+0,102	+ 4	0,03	+0,190	+ 3
0,77	-0,179	+ 8	0,52	-0,011	+ 6	0,27	+0,106	+ 4	0,02	+0,193	+ 3
0,76	-0,171	+ 8	0,51	-0,005	+ 5	0,26	+0,110	+ 4	0,01	+0,196	+ 3
									0,00	+0,199	

jedem Apparat, welcher eine bestimmte Schwingungsdauer besitzt (wie z. B. Federseismographen, Galvanometer etc.) und dessen Eigenbewegung der Grunddifferentialgleichung (2) entspricht. Diese Methoden sind speziell für sehr stark gedämpfte Apparate bestimmt, wo die sehr einfache Methode der Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses aus der Abnahme der maximalen Amplituden schon versagt, aber sie können auch für schwach gedämpfte Apparate gute Resultate ergeben.

Nach Ansarbeitung dieser beiden Methoden zur Bestimmung von μ^2 , resp. v , kam es mir darauf an, dieselben experimentell zu prüfen.

Für schwach gedämpfte Apparate ist das sehr leicht zustande zu bringen, da das wahre Dämpfungsverhältnis auf anderem Wege ermittelt werden kann; dann ist ein Vergleich der beiden Werte von μ^2 also leicht möglich. Für stark gedämpfte Apparate steht die Sache aber anders.

Deswegen habe ich für diese Kontrollversuche die Bewegung eines gedämpften Galvanometers vom Deprez-D'Arsonval'schen Typus, wie ich sie bei meinen seismometrischen Beobachtungen benutze, verwendet, da das entsprechende Dämpfungsverhältnis immer aus dem bekannten äusseren Widerstand des Stromkreises vorausberechnet werden kann.

Ich habe nämlich in meinem Aufsatz «Die elektromagnetische Registriermethode»¹⁾ gezeigt, dass, wenn an dem entsprechenden Galvanometer nur ein System von Windungen verwendet wird, die Dämpfungskonstante ε des Galvanometers sich durch folgende Formel darstellen lässt:

$$\varepsilon = c_0 + \frac{c}{R + \rho} \dots \dots \dots (32)$$

R ist der äussere Widerstand, ρ der Widerstand des Galvanometers, c_0 und c zwei Konstanten des Apparates, die sich aus Schwingungsbeobachtungen bei verhältnismässig schwacher Dämpfung (bei verschiedenen R) sehr leicht berechnen lassen.

Die andere Konstante n lässt sich aus der Eigenperiode T des Galvanometers bei sehr schwacher Dämpfung nach Formel (3) bestimmen.

Somit erhält man sofort den entsprechenden Wert von

$$\mu^2 = 1 - \left(\frac{\varepsilon}{n}\right)^2 \dots \dots \dots (33)$$

Durch passende Auswahl von R kann man jeden vorgeschriebenen Wert

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

von μ^2 herstellen. Speziell für die Grenze der Aperiodizität wird

$$R_a = \frac{c}{n - c_0} - \rho \dots \dots \dots (34)$$

sein.

Die Konstanten des Galvanometers waren die folgenden:

$$c_0 = 0,00556$$

$$c_1 = 6,310$$

$$\rho = 4,12 \Omega$$

$$T = 24,699 \text{ Sec.}$$

Daraus ergibt sich

$$n = \frac{2\pi}{T} = 0,25439$$

und für die Grenze der Aperiodizität

$$R_a = 21,2 \Omega.$$

Es wurden mit diesem Galvanometer zwei Versuchsreihen angestellt bei 4 verschiedenen Werten des äusseren Widerstandes R . Für jedes R konnte man den entsprechenden Wert von μ^2 nach den Formeln (32) und (33) vorausberechnen. Die anfängliche Geschwindigkeit der beweglichen Spule des Galvanometers wurde durch einen fast momentanen Stromstoss erteilt.

Auf diese Weise wurde bei jedem R eine Anzahl Kurven der Eigenbewegung des Galvanometers aufgenommen und zwar auf rein optischem Wege auf lichtempfindlichen Papier.

Auf diesen Kurven wurde alsdann eine Anzahl Ordinaten ausgemessen, entsprechend der ersten oder zweiten Methode zur Bestimmung von μ^2 . Man benutzte dazu einen Wanschaff'schen Koordinatenmesser.

Bei der Bestimmung von μ^2 nach der ersten Methode wurden zwei Werte von α ausgewählt, nämlich $\alpha = 0,75$ und $\alpha = 2,00$. Da n für das Galvanometer gleich $0,25439$ war, so ergaben sich nach der Formel (16) für die Entfernung τ zweier benachbarter aequidistanter Ordinaten $\tau = 2,948 \text{ Sec.}$, resp. $\tau = 7,862 \text{ Sec.}$

Bei der Bestimmung von μ^2 nach der zweiten Methode wurden immer die drei Werte von p , nämlich p_1 , p_2 und p_3 aus der Kurve entnommen und für jedes einzelnes p der entsprechende Wert von μ^2 ermittelt.

Es wurde ausserdem, wenn die Stärke der Dämpfung es gestattete, eine Anzahl Maximalordinaten ausgemessen und aus ihnen das Dämpfungs-

verhältnis v direkt abgeleitet. Zur Kontrolle wurde auch dazu die direkte visuelle Methode mittelst Fernrohrs und Skala verwendet.

Zur Berechnung von v benutzte ich nicht die einfache Formel (1), sondern die Formel

$$v = \frac{y_k + y_{k+1}}{y_{k+1} + y_{k+2}}, \dots \dots \dots (35)$$

um einen etwaigen Fehler in der Lage der Nulllinie zu eliminieren.

Aus dem so erhaltenen Wert von v wurde alsdann nach den Formeln (8) und (7) der entsprechende Wert von μ^2 berechnet.

Ich gebe eben in dieser Zusammenstellung der Resultate nicht die etwaigen Werte des Dämpfungsverhältnisses v , sondern die ihnen entsprechenden Werte von μ^2 , da eben diese Grösse für die Theorie der Bewegung eines Horizontalpendels unter dem Einfluss periodischer Bebenwellen besonders maassgebend ist und die Wirkung der Dämpfung speziell charakterisiert. Man vergleiche Formel (21) meiner Abhandlung «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mitteilung» (l. c. § 2).

I Versuchsreihe.

Fall A.

$$R = 84,40 \Omega \qquad \mu^2 = 0,91$$

Aus der Abnahme der Maximalamplituden $\mu^2 = 0,91$

Mittelst Fernrohrs und Skala $\mu^2 = 0,91$

Nach der ersten Methode.

$$\alpha = 0,75 \qquad \text{Im Mittel } \frac{m_1}{m_2} = 0,321 \qquad \mu^2 = 0,92^1)$$

(2 Bestimmungen)

Fall B.

$$R = 44,40 \Omega \qquad \mu^2 = 0,72$$

Aus der Abnahme der Maximalamplituden $\mu^2 = 0,72$

Mittelst Fernrohrs und Skala $\mu^2 = 0,72$

¹⁾ Durch graphische Interpolation erhalten.

Nach der ersten Methode.

$$\alpha = 0,75 \quad \text{Im Mittel } \frac{m_1}{m_2} = 0,346 \quad \mu^2 = 0,77$$

(6 Bestimmungen)

Diese letzte Bestimmung ist nicht besonders sicher, da die einzelnen Werte von $\frac{m_1}{m_2}$ erheblich von einander abweichen.

Fall C.

$$R = 28,40 \Omega \quad \mu^2 = 0,38$$

$$\text{Aus der Abnahme der Maximalamplituden} \quad \mu^2 = 0,39$$

$$\text{Mittelst Fernrohrs und Skala} \quad \mu^2 = 0,39$$

Nach der ersten Methode.

$$\alpha = 0,75 \quad \text{Im Mittel } \frac{m_1}{m_2} = 0,373 \quad \mu^2 = 0,42$$

(8 Bestimmungen)

$$\alpha = 2,00 \quad \text{Im Mittel } \frac{m_1}{m_2} = 0,684 \quad \mu^2 = 0,40$$

(8 Bestimmungen)

Fall D.

Grenze der Aperiodizität.

$$R = 21,22 \Omega \quad \mu^2 = 0,00$$

Nach der ersten Methode.

$$\alpha = 0,75 \quad \text{Im Mittel } \frac{m_1}{m_2} = 0,393 \quad \mu^2 = \text{etwa } 0,0$$

(6 Bestimmungen)

$$\alpha = 2,00 \quad \text{Im Mittel } \frac{m_1}{m_2} = 0,654 \quad \mu^2 = 0,00$$

(6 Bestimmungen)

II Versuchsreihe.

Fall A.

$$R = 77,22 \Omega \quad \mu^2 = 0,89$$

Aus der Abnahme der Maximalamplituden $\mu^2 = 0,89$
 Mittelst Fernrohrs und Skala $\mu^2 = 0,89$

Nach der ersten Methode.

$\alpha = 2,00$ Im Mittel $\frac{m_1}{m_2} = 0,778$ $\mu^2 = 0,89^1$
 5 Bestimmungen)

Nach der zweiten Methode.

Im Mittel
 aus je 5 einzelnen Bestimmungen

$p_1 = 0,428$	$\mu^2 = 0,89$	}	Im Mittel $\mu^2 = 0,89$
$p_2 = -0,248$	$\mu^2 = 0,89$		
$p_3 = -0,280$	$\mu^2 = 0,89$		

Fall B.

$R = 40,22 \Omega$ $\mu^2 = 0,66$

Aus der Abnahme der Maximalamplituden $\mu^2 = 0,66$
 Mittelst Fernrohrs und Skala $\mu^2 = 0,66$

Nach der ersten Methode.

$\alpha = 2,00$ Im Mittel $\frac{m_1}{m_2} = 0,720$ $\mu^2 = 0,66$
 (5 Bestimmungen)

Nach der zweiten Methode.

Im Mittel
 aus je 5 einzelnen Bestimmungen

$p_1 = 0,596$	$\mu^2 = 0,65$	}	Im Mittel $\mu^2 = 0,65$
$p_2 = 0,099$	$\mu^2 = 0,65$		
$p_3 = -0,095$	$\mu^2 = 0,66$		

¹⁾ Durch graphische Interpolation erhalten.

Fall C.

$$R = 29,22$$

$$\mu^2 = 0,41$$

Mittelst Fernrohrs und Skala

$$\mu^2 = 0,41$$

Nach der ersten Methode.

$$\alpha = 2,00$$

$$\text{Im Mittel } \frac{m_1}{m_2} = 0,687$$

$$\mu^2 = 0,43$$

(5 Bestimmungen)

Nach der zweiten Methode.

Im Mittel

aus je 5 einzelnen Bestimmungen

$$p_1 = 0,669$$

$$\mu^2 = 0,40$$

$$p_2 = 0,246$$

$$\mu^2 = 0,43$$

$$p_3 = 0,037$$

$$\mu^2 = 0,43$$

} Im Mittel $\mu^2 = 0,42$

Fall D.

Grenze der Aperiodizität.

$$R = 21,22$$

$$\mu^2 = 0,00$$

Nach der ersten Methode.

$$\alpha = 2,00$$

$$\text{Im Mittel } \frac{m_1}{m_2} = 0,6546$$

$$\mu^2 = 0,01$$

(5 Bestimmungen)

Nach der zweiten Methode.

Im Mittel

aus je 5 einzelnen Bestimmungen

$$p_1 = 0,733$$

$$\mu^2 = 0,02$$

$$p_2 = 0,404$$

$$\mu^2 = 0,01$$

$$p_3 = 0,198$$

$$\mu^2 = 0,00$$

} Im Mittel $\mu^2 = 0,01$

Aus einer näheren Betrachtung des hier zusammengestellten Beobachtungsmaterials geht unmittelbar hervor, dass die beiden hier beschriebenen

Methoden zur Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses verschiedener Seismographen ganz zweckentsprechend sind. Die einzelnen Werte von μ^2 stimmen im Allgemeinen ganz befriedigend überein. Nur im Falle *B* für die erste Versuchsreihe hat sich μ^2 nach der ersten Methode um 5 Einheiten der zweiten Decimale grösser ergeben. Aber in diesem Falle, wie schon früher bemerkt wurde, wiesen die einzelnen Werte des Verhältnisses $\frac{m_1}{m_2}$ ziemlich grosse Schwankungen auf. Ausserdem war der gewählte Wert von $\alpha = 0,75$ ein ziemlich ungünstiger. Man wird in der Praxis $\alpha = 2,00$ oder noch grösser wählen müssen; dann wird man ohne Zweifel bessere Resultate bekommen.

Die zweite Methode scheint etwas bequemer zu sein. Ausserdem liefert dieselbe, wenn p_1 , p_2 und p_3 bestimmt sind, drei getrennte Werte für μ^2 , aus welchen man alsdann das Mittel bilden kann.

Speziell für grössere Werte des Dämpfungsverhältnisses, also für kleinere Werte von μ^2 , etwa $\mu^2 < 40$ (also $v > 46,9$), wo die direkte Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses aus der Abnahme der Maximalamplituden fast völlig versagt, können diese beiden neuen Methoden ganz gute Dienste leisten, da ihre praktische Anwendbarkeit durch die hier beschriebenen Versuche als genügend bewiesen betrachtet werden darf.



О ХОДѢ НѢКОТОРЫХЪ КОНТАКТНЫХЪ ЧАСОВЪ.

И. И. Вилица.

Для сейсмическихъ станцій весьма важно точное опредѣленіе времени; въ виду этого необходимо имѣть при каждой такой станціи хорошіе часы, могущіе служить, кромѣ того, еще какъ контактные для опредѣленія моментовъ на сейсмограммахъ. Если рѣчь идетъ только объ опредѣленіи разстоянія до эпицентра землетрясенія на основаніи опредѣленія моментовъ наступленія первыхъ двухъ предварительныхъ фазъ, то можно было бы пользоваться и болѣе грубыми часами, такъ какъ въ этомъ случаѣ не требуется такого постоянства хода часовъ. Допустимъ, напр., въ суточномъ ходѣ часовъ ошибку въ 5 мин.; это дало бы при разстояніи отъ эпицентра около 10000 килом. ошибку времени приблизительно только въ 2 секунды, что соотвѣтствуетъ для такого разстоянія только 50 килом.

Но другое дѣло, когда требуется опредѣлить такой важный элементъ, какъ скорость распространенія различныхъ сейсмическихъ волнъ, по даннымъ нѣсколькихъ станцій. Въ этомъ случаѣ требуется знать весьма точно время, для опредѣленія моментовъ наступленія различныхъ, отдѣльныхъ фазъ землетрясенія.

Въ мѣстахъ, гдѣ имѣются астрономическія обсерваторіи, можно было бы воспользоваться и менѣе точными часами, такъ какъ тамъ возможно сравнивать ежедневно контактные часы съ нормальными часами обсерваторіи. Но въ болѣе удаленныхъ мѣстностяхъ отъ центра, гдѣ имѣется точное время, непременно нужно имѣть часы, для которыхъ можно положиться, что суточный ихъ ходъ сохраняется достаточно постояннымъ.

Для этой цѣли были выписаны Сейсмическою Комиссіею при Императорской Академіи Наукъ отъ фирмы Штрассеръ и Роде 4 контактныхъ часовъ съ компенсационными маятниками изъ инвара (сплава изъ 34,7% никкеля и 64,3% желѣза, линейный коэффициентъ расширенія коего = 0,0009),

у которыхъ компенсація достигается короткою латунною трубкою, надѣтою на нижній конецъ инвароваго стержня, гдѣ укрѣпленъ грузъ маятника (коэффициентъ расширенія латуни приблизительно $0,0418$). У маятниковъ имѣется внизу гайка съ дѣлениями, при помощи которой можно мѣнять длину самого маятника; но для болѣе точной и удобной регулировки, чтобы притомъ не останавливать часовъ, придѣлана выше груза маятника на стержнѣ маленькая чашка, на которую можно класть во время хода часовъ небольшіе грузы и регулировать такимъ образомъ суточный ходъ часовъ съ любую точностью.

Эти часы были повѣшены въ Физической Лабораторіи Императорской Академіи Наукъ и ихъ ходъ регулированъ по старымъ часамъ Лабораторіи со ртутною компенсаціею *de la Porte*'а, обладающимъ весьма правильнымъ ходомъ.

Кромѣ этихъ четырехъ часовъ были повѣшены рядомъ еще пятые контактные часы фирмы Бомайера, съ короткимъ Рифлерскимъ маятникомъ съ чечевичнообразнымъ грузомъ, у которыхъ на 1 минуту приходилось 80 ударовъ (у Рифлерскихъ маятниковъ компенсація достигается двумя короткими трубками изъ двухъ различныхъ металловъ, изъ стали и латуни, надѣтыхъ внизу на стержень изъ инвара и несущихъ латунный грузъ маятника).

Мѣсяцъ спустя послѣ регулировки часовъ было приступлено къ изслѣдованію ихъ суточного хода. При этомъ не имѣлось въ виду, испытывать ихъ пригодность въ качествѣ вполне точныхъ часовъ, такъ какъ помѣщеніе для такихъ точныхъ опредѣленій было не подходящее, но задача состояла главнымъ образомъ въ томъ, чтобы выяснитъ ихъ пригодность въ качествѣ хорошихъ контактныхъ часовъ для сейсмическихъ станцій.

Въ виду этого пришлось отказаться отъ вывода ежедневной точной поправки часовъ, а довольствоваться лишь сравненіемъ ихъ съ часами Физической Лабораторіи *de la Porte*'а и хронометромъ Kessels'а № 1294, принадлежащимъ Пулковской Астрономической Обсерваторіи и обладающимъ весьма правильнымъ суточнымъ ходомъ.

Точныя измѣренія температуры у часовъ также не производились, но старались держать температуру помѣщенія при помощи отопленія и вентиляціи, по возможности, постоянной. При этомъ амплитуда колебаній суточныхъ среднихъ температуръ помѣщенія за весь періодъ сравненія не превысила 1°C .

Всѣ 5 часовъ были повѣшаны къ наружной стѣнѣ, между тѣмъ какъ старые часы Лабораторіи висѣли внутри комнаты на простѣнкѣ арки. Во все время наблюденій температура была внутри ящиковъ пер-

выхъ пяти часовъ на $0,5^{\circ}$ С. ниже, чѣмъ у часовъ со ртутной компенсаціей.

Наблюденія начались 25-го марта 1909 г. и окончились 1-го іюня по новому стилю.

Каждое утро опредѣляли посредствомъ секундомѣра Лебнера, дающаго сотыя доли секунды и ходъ котораго былъ раньше опредѣленъ, разность показаній всѣхъ шести часовъ съ хронометромъ Kessels'a.

По этимъ даннымъ выводился затѣмъ суточный ходъ часовъ относительно хронометра Kessels'a.

Послѣ окончанія всей серіи наблюденій, всѣ суточные ходы всѣхъ часовъ были нанесены на координатную бумагу, а именно по оси абсциссъ откладывались числа мѣсяца, а по оси ординатъ суточные ходы часовъ. Абсолютная величина послѣднихъ, за исключеніемъ часовъ Бомейера, не превышала долей секунды. Полученныя такимъ образомъ кривыя для 5 часовъ имѣли очень параллельный ходъ. При этомъ 4 кривыя для часовъ Штрассера и Роде имѣли по сравненію съ кривой для часовъ de la Porte'a то незначительное различіе, что первыя имѣли слабый уклонъ къ оси абсциссъ.

Часы Бомейера находились въ началѣ серіи при весьма неблагоприятныхъ условіяхъ. Затѣмъ они были перевѣшаны на другое мѣсто, гдѣ и ихъ суточный ходъ оказался въ общемъ весьма удовлетворительнымъ, такъ какъ и у нихъ колебанія суточного хода выразились въ концѣ концовъ только въ десятыхъ доляхъ секунды.

Рядомъ съ этими кривыми была начерчена кривая средняго суточного барометрическаго давленія и кривая средней наружной температуры.

На кривыхъ для часовъ Штрассера и Роде и de la Porte'a сейчасъ обнаружилось, что самыя большія неправильности въ ходѣ часовъ были на тѣхъ мѣстахъ, которыя соотвѣтствовали большимъ измѣненіямъ средняго суточного давленія. Предполагая, что хронометръ во время такихъ измѣненій не дѣлалъ большихъ скачковъ, я попытался опредѣлить приближительную величину поправочнаго коэффициента на давленіе. Если $\Delta\tau$ обозначаетъ разность суточныхъ ходовъ, соотвѣтствующая разности давленій Δp (въ миллиметрахъ), то получается для часовъ Штрассера и Роде изъ двухъ опредѣленій $\frac{\Delta\tau}{\Delta p} = 0,035^{\circ}$, для часовъ de la Porte $\frac{\Delta\tau}{\Delta p} = 0,025^{\circ}$. Конечно, большой точности отъ такихъ опредѣленій нельзя и требовать, такъ какъ самыя измѣненія давленія незначительны ($10-20 \text{ м/м}$) и въ ходѣ хронометра возможны нѣкоторыя неправильности; но, чтобы всетаки выяснить для этихъ четырехъ часовъ порядокъ малости этой величины, знаніе которой весьма важно для точныхъ часовъ, я опредѣлилъ еще на трехъ другихъ

мѣстахъ кривыхъ этотъ коэффициентъ, причемъ получились слѣдующія числа: 0,025; 0,024 и 0,039. Отсюда видно, что часы Штрассера и Роде обладаютъ весьма большимъ коэффициентомъ давленія, такъ какъ трудно допустить, чтобы какъ разъ на мѣстахъ опредѣленія $\frac{\Delta\tau}{\Delta p}$ хронометръ дѣлалъ всегда скачекъ и притомъ еще всегда въ одну и ту же сторону.

За наивѣроятнѣйшее значеніе этого коэффициента можно принять среднее изъ всѣхъ $\frac{\Delta\tau}{\Delta p}$, а именно 0,03°.

Чѣмъ-же объясняется такой большой коэффициентъ давленія у этихъ часовъ?

По всей вѣроятности формуо груза маятника; такъ какъ этотъ грузъ имѣетъ весьма сложную конструкцію.

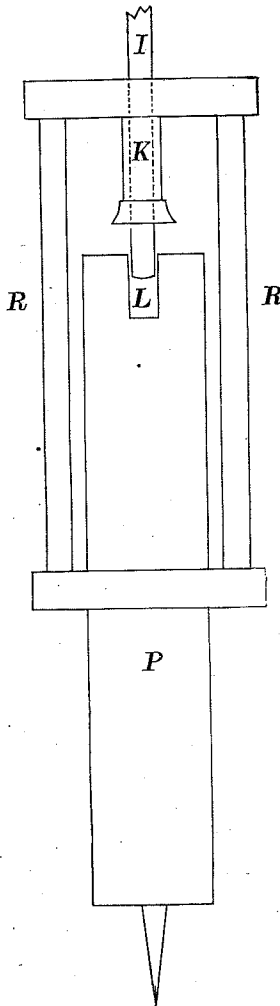
Предполагая два маятника съ грузами вполне одинаковаго объема и формы, но различной плотности, то изъ нихъ въ сопротивляющейся средѣ тотъ маятникъ будетъ колебаться быстрѣе, у котораго масса больше, такъ какъ въ сопротивляющейся средѣ обоимъ грузамъ приходится въ данномъ случаѣ приводить въ движеніе одинаковыя массы окружающей среды и преодолевать одинаковое треніе.

Другое дѣло, когда мы имѣемъ маятники одинаковаго вѣса или плотности, но различной формы. Въ этомъ случаѣ мы имѣемъ уже различныя условія для движущейся среды и для тренія.

Рифлеръ¹⁾ даетъ для цилиндрической формы латуннаго груза маятника (около 7 klgr. вѣса) $\frac{\Delta\tau}{\Delta p} = 0,018^\circ$. Главный грузъ *P* маятниковъ фирмы Штрассеръ и Роде (фиг. 1) имѣетъ также цилиндрическую форму (длина 25 см., діаметръ — 6 см.), но этотъ грузъ имѣетъ на-

верху углубленіе *L* и виситъ самъ въ довольно большой рамкѣ *R*, къ которой прикрѣплена еще часть для компенсаціи *K*, поддерживающая, при помощи инвароваго стержня *I*, всю рамку съ грузомъ маятника.

Фиг. 1.



¹⁾ S. Riefler. Präzisions-Pendeluhren und Zeitdienstanlagen für Sternwarten. München 1907, p. 22.

Ясно, что маятник такой сложной формы, не только должен приводить въ движение большія количества воздуха, но представлять также и довольно значительную поверхность тренія, чѣмъ и объясняется, вѣроятно, такой большой коэффициентъ давленія.

Стоитъ только вспомнить, что у насъ встрѣчаются мѣстности, гдѣ зимою среднее барометрическое давленіе въ продолженіи цѣлаго мѣсяца и больше на 20 м/м выше нормальнаго, чтобы убѣдиться, что это обстоятельство можетъ сильно повліять на точное опредѣленіе времени, если не вводить поправки на измѣненіе давленія, или не сравнивать часовъ съ какими-нибудь нормальными часами.

Далѣе представилось желательнымъ провѣрить, насколько хороша компенсація у этихъ часовъ. Для такого опыта было бы, конечно, желательно, понизить температуру помѣщенія по крайней мѣрѣ на 10°C . Однако, оставляя на двое сутокъ всѣ форточки открытыми, удалось въ данное время года получить измѣненіе температуры только въ 5°C . Если $\Delta\tau$ обозначаетъ измѣненіе суточного хода, соответствующее измѣненію температуры Δt , то получились слѣдующія значенія коэффициента $\frac{\Delta\tau}{\Delta t}$ для часовъ Штрассера и Роде:

Часы	$\frac{\Delta\tau}{\Delta t}$
A	+ 0,05 ^s
B	+ 0,15
C	+ 0,19
D	+ 0,17

Изъ этихъ чиселъ видно, что всѣ четверо часовъ не вполне точно компенсированы.

Рифлеръ¹⁾ составилъ таблицу для этого коэффициента для нѣкоторыхъ лучшихъ астрономическихъ часовъ.

Въ этой таблицѣ предѣльные значенія $\frac{\Delta\tau}{\Delta t}$ 0,0008 и 0,06. У B, C и D коэффициентъ этотъ, конечно, значительно больше чиселъ въ таблицѣ Рифлера, но всетаки это обстоятельство можетъ и не имѣть вредныхъ послѣдствій, если помѣщеніе отопляется и температура въ немъ поддерживается достаточно постоянной. Но въ тѣхъ случаяхъ, когда часы подвержены большимъ измѣненіямъ температуры, требуется уже точнѣе знать величину этого коэффициента, чтобы можно было бы вводить соответствующую поправку на измѣненіе температуры.

¹⁾ L. c. p. 19.

Часы *A* въ этомъ отношеніи не уступаютъ лучшимъ астрономическимъ часамъ.

При этомъ изслѣдованіи часовъ обнаружилось то странное обстоятельство, что тѣ часы, у которыхъ коэффициентъ $\frac{\Delta\tau}{\Delta t}$ великъ, какъ будто разстроились послѣ двухсуточного охлаждения на 5°C ., въ томъ именно отношеніи, что эти часы одинъ день идутъ немного впередъ, на другой-же день отстаютъ, причемъ амплитуда такихъ измѣненій съ теченіемъ времени убываетъ. Кривыя въ этомъ мѣстѣ имѣли характеръ затухающей синусоиды. У часовъ *A* и у de la Porte'a, (у которыхъ $\frac{\Delta\tau}{\Delta t}$ тоже положительно и того-же порядка, что у часовъ *B*, *C* и *D*) это явленіе не наблюдалось.

Въ кривыхъ для 4 часовъ *A*, *B*, *C* и *D* замѣтна еще та особенность, на которую уже раньше указывалось, а именно, что онѣ имѣютъ всѣ небольшой уклонъ къ оси абсциссъ, что доказываетъ, что суточный ходъ этихъ часовъ по отношенію къ хронометру Kessels'a не былъ строго постояненъ. Если отнести ихъ суточный ходъ къ часамъ de la Porte'a, не обнаруживающихъ такого уклона, то выясняется, что суточный ходъ часовъ Штрассера и Роде отъ начала до конца наблюденій увеличился на 0,7—0,8 сек., какъ будто бы маятники всѣхъ часовъ удлинились на одинаковыя величины. Изъ анализа полученныхъ кривыхъ видно, что это измѣненіе продолжалось приблизительно цѣлый мѣсяцъ послѣ начала наблюденій, но потомъ суточный ходъ часовъ становится уже постояннымъ. Провѣривъ еще разъ черезъ три недѣли послѣ окончанія всѣхъ опытовъ суточный ходъ трехъ изъ этихъ часовъ, я убѣдился, что онъ больше не измѣняется. Предполагая, что такое измѣненіе хода могло бы произойти отъ болѣе оживленнаго, весенняго уличнаго движенія, я постарался у однихъ изъ этихъ часовъ искусственно вызвать сотрясенія. Съ этой цѣлью я поставилъ маленькій электромоторъ на отдѣльномъ столикѣ, въ соприкосновеніи съ ящикомъ часовъ и оставилъ электромоторъ въ дѣйствиіи въ теченіе, примерно, 12 часовъ. Сотрясенія хорошо передавались механизму и ощущались непосредственно рукой на ящикѣ часовъ.

Результатъ былъ какъ разъ противоположный тому, что ожидалось, а именно часы ушли въ продолженіи полусутокъ на 0,15 сек. впередъ.

Въ продолженіи 5 дней я для трехъ часовъ опредѣлялъ полусуточные ходы, отдѣльно для дневныхъ и ночныхъ часовъ; и здѣсь никакой разницы не обнаружилось.

Ясно, что причина измѣненія хода часовъ должна быть совсѣмъ иная.

На кривой часовъ Бомейера, послѣ того, какъ они были подвѣшены на другомъ мѣстѣ, замѣчается въ началѣ измѣненіе хода въ томъ-же на-

правленіи, какъ и у другихъ часовъ, но въ значительно большемъ масштабѣ, такъ какъ въ продолженіи первыхъ 12 дней суточный ходъ ихъ увеличился болѣе, чѣмъ на три секунды, но потомъ и онъ становится почти постояннымъ. Можно предположить, что въ этомъ случаѣ стержень часовъ дѣйствительно нѣсколько удлинился подъ вліяніемъ груза маятника.

Въ инварѣ мы имѣемъ дѣло съ весьма сложнымъ сплавомъ, и весьма возможно, что, въ то время, когда были начаты сравненія часовъ, инваровые стержни маятниковъ не достаточно еще долго висѣли, и въ нихъ подъ вліяніемъ груза маятника въ 6,5 килогр. все время происходила какъ бы медленная молекулярная перегруппировка частицъ, каковая, можетъ быть, и длится нѣсколько мѣсяцевъ подрядъ. Это самое вѣроятное предположеніе, которое можно сдѣлать для объясненія такого измѣненія суточного хода часовъ.

Контактное приспособленіе у часовъ Штрассера и Роде устроено такъ, что токъ, при замыканіи, не проходитъ черезъ маятникъ и часовой механизмъ, вслѣдствіе чего включеніе тока для минутныхъ контактовъ никакого вліянія на суточный ходъ часовъ оказывать не можетъ, что и подтвердилось непосредственнымъ опытомъ. Продолжительность контакта у этихъ часовъ около 1 секунды, что вполне достаточно, даже при фотографической регистраціи, если только скорость вращенія барабана, не слишкомъ мала. Контакты дѣйствуютъ у всѣхъ 5 часовъ весьма исправно и пропусковъ не замѣчается. Большое удобство этого контактнаго приспособленія заключается въ томъ, что замыканіе происходитъ на послѣдней секундѣ передъ полной минутой, что весьма удобно при обработкѣ различныхъ сейсмограммъ.

Изъ вышеизложеннаго видно, что этотъ типъ часовъ фирмы Штрассеръ и Роде обладаетъ весьма большими достоинствами и притомъ очень правильнымъ ходомъ.

Они имѣютъ сравнительно большой коэффициентъ давленія, но, наблюдая высоту барометра, не трудно вводить соответствующую поправку, если нѣтъ возможности, отдѣлить часы герметически отъ наружнаго воздуха¹⁾.

Что-же касается температурной компенсаціи, то между этими часами встрѣчаются экземпляры, не уступающіе самымъ лучшимъ, современнымъ астрономическимъ часамъ.

¹⁾ Можно-бы было придѣлать къ стержню маятника маленькій ртутный манометръ, автоматически компенсирующій вліяніе измѣненія давленія.

Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung.

Einleitung.

Seit mehr als drei Jahren befinden sich auf der Pulkowaer seismischen Station spezielle, sehr stark gedämpfte Horizontalpendel unter Anwendung der galvanometrischen Registrierungsart in Tätigkeit. Diese Pendel haben sich in der Praxis äusserst gut bewährt und eignen sich in höchst befriedigender Weise zum näheren Studium der verschiedenen charakteristischen Eigenschaften von Erdbebenwellen.

Die Vorteile, welche diese Art Seismographen besitzt, bestehen hauptsächlich im Folgenden.

Sie sind von verhältnismässig kleinen Dimensionen und arbeiten mit kleinen Pendelmassen von nur ca. 7 Kilogramm.

Wegen der Anwendung der galvanometrischen Registriermethode fallen die verschiedenen störenden Reibungsverhältnisse gänzlich weg und man ist nicht mehr gezwungen, wenn man ein grosses Vergrösserungsverhältnis verlangt, zu übertrieben schweren Pendelmassen überzugehen.

Sie funktionieren mit einer besonderen Regelmässigkeit, Sicherheit und Präzision. Spezielle Nullpunktstörungen, durch etwaige Aenderungen der Temperaturverhältnisse, lassen sich nach einiger Zeit von Tätigkeit der Pendel gar nicht mehr bemerken.

Die Eigenperiode dieser Pendel zeichnet sich infolge ihrer bifilaren Aufhängung, durch eine besondere Konstanz aus, wobei diese Periode innerhalb der auftretenden Beobachtungsgrenzen als völlig unabhängig von der Amplitude der Ausschläge zu betrachten ist. Dies ist eine sehr wichtige Eigenschaft dieser Art Pendel, welche von der Theorie solcher Apparate gefordert wird, wenn man die Grunddifferentialgleichung der Pendelbewegung zur Ableitung der wahren Amplituden der Bodenverrückungen anwenden

will, und die bei Horizontalpendeln mit Zweispitzenaufhängung in keinerlei Weise zutrifft.

Durch Anwendung der rein magnetischen Dämpfung mit Hilfe zweier kleiner permanenter Magnete aus Wolframstahl lässt sich diese Art Pendel mit aller Leichtigkeit sehr stark dämpfen, sogar auf die Grenze der Aperiodizität einstellen. Dadurch wird der störende Einfluss der Eigenbewegung des Pendels bei der Analyse der harmonischen Erdbebenwellen auf das Minimum reduziert und man bekommt, wie ich mehrmals bewiesen habe, mit ganz verschiedenen Horizontalpendeln, wenn dieselben nur fast aperiodisch gemacht werden, sehr übereinstimmende Werte für die wahren Amplituden der entsprechenden Bodenverschiebungen.

Diese Art der Dämpfung bietet manche anderen erheblichen Vorteile dar.

Erstens erfordert sie keine sehr feinen Einstellungen, da zwischen den Magnetenpolen und der Oberfläche der dämpfenden Kupferplatte, selbst wenn die Pendel aperiodisch gemacht werden, immer ein genügend grosser Spielraum frei bleibt. Eine Berührung der Platte mit den Magnetenpolen ist also nicht zu befürchten.

Zweitens steht diese Dämpfungsvorrichtung vollkommen offen und man kann sie zu jeder Zeit in Augenschein nehmen und sich überzeugen, ob alles in Ordnung ist.

Drittens lässt sich die Stärke der Dämpfung, durch Aenderung der Entfernung der Magnetenpole in äusserst einfacher Weise variieren und dabei sehr grosse Dämpfungsverhältnisse erzielen. Ihre Handhabung ist sehr einfach und bequem, wobei sie an allen Arten von Seismographen mit aller Leichtigkeit angebracht werden kann.

Viertens erweist sich diese Art der Dämpfung als sehr konstant und von Temperaturänderungen fast als gänzlich unabhängig.

Schliesslich und was vielleicht am wesentlichsten ist, entspricht, den bekannten Induktionsgesetzen gemäss, die magnetische Dämpfung den Forderungen der Theorie, wonach das Moment der dämpfenden Kräfte wirklich proportional der Winkelgeschwindigkeit der Pendelbewegung sein soll.

Trotz der Verstärkung der Dämpfung bis zur Grenze der Aperiodizität, was sehr viele theoretischen Vorteile hat und die Auswertung von Seismogrammen in ganz erheblicher Weise vereinfacht, besitzt diese Art von Seismographen, infolge der Anwendung der galvanometrischen Registriermethode, eine sehr hohe Empfindlichkeit, da das entsprechende Vergrösserungsverhältnis \mathfrak{B} , d. h. das Verhältnis des Ausschlages des Lichtpunktes auf der Registriertrommel zur Amplitude der wahren Bodenverrückung, für die im Allgemeinen bei Fernbeben auftretenden Wellenperioden sehr leicht bis 800 — 1000 gesteigert und wenn nötig noch mehr in die Höhe getrieben

werden kann. Diese sehr grosse Empfindlichkeit der Registrierung lässt sich jedoch mit den allereinfachsten Hilfsmitteln erreichen und dabei ohne auf irgend welche komplizierten Hebelübertragungen zurückzugreifen, die in der Praxis so lästig, so sehr verschiedenen Temperatureinflüssen ausgesetzt sind und so viele unbekannte und ausserdem variable, störende Einflüsse der Reibung, todten Gang etc. mit sich führen.

Die galvanometrische Registriermethode bietet manche anderen sehr erheblichen Vorteile dar.

Erstens lässt sich mit derselben die Grösse der Empfindlichkeit der Registrierung in sehr einfacher Weise variieren, wobei diese Registriervorrichtung an jedem Typus von Seismographen angebracht werden kann.

Zweitens erfordert dieselbe sehr wenig Platz und, da das Galvanometer sehr nahe bei der Registriertrommel aufgestellt werden kann, so erhält man auch bei grossen Amplituden der Schwingungen ganz stark ausgebildete und ungemein scharfe Kurven.

Drittens gestattet die galvanometrische Methode eine *Fernregistrierung* der Pendelbewegungen, da der registrierende Teil bei induktionsfreier Bewickelung der Zuleitungsdrähte in einer fast beliebigen Entfernung vom Seismographen selbst und in einem ganz besonderen, trockenen und leicht zugänglichen Raum aufgestellt werden kann. Man braucht also den Raum, wo die eigentlichen Seismographen aufgestellt sind, gar nicht mehr zu betreten, was ohne Zweifel sehr vorteilhaft ist.

Viertens ist die galvanometrische Registriermethode, da dieselbe nicht die Ausschläge des Pendels sondern die Geschwindigkeiten der Pendelbewegung aufschreibt, was für harmonische Erdbebenwellen freilich auf dasselbe herauskommt, vollkommen unabhängig von der etwaigen Lage des Ruhestandes des Pendels, folglich eignet sich diese Registrierungsart insbesondere gut zum Studium rasch verlaufender Bodenbewegungen.

Alle die hier erwähnten Vorteile dieser Art Seismographen, sowie der magnetischen Dämpfung und galvanometrischen Registrierungsart, haben sich durch die schon mehrere Jahre andauernden seismometrischen Beobachtungen in Pulkowa völlig bewährt. Die mit diesen Instrumenten erhaltenen Seismogramme, bei einer verhältnismässig grossen Rotationsgeschwindigkeit der Registriertrommel (etwa $30^m/m$ oder sogar $31^m/m$ pro Minute) zeichnen sich durch besondere Deutlichkeit und Schärfe aus, wobei die verschiedenen Phasen der Erdbebendiagramme, wie der Eintritt der ersten und zweiten Vorläufer, der Anfang der langen Wellen und die verschiedenen Einzelheiten der Maximalphase im Allgemeinen sehr schön und scharf zum Ausdruck gebracht werden. Deswegen eignen sich die Galvanometerseismogramme besonders gut zum näheren Studium der wahren Bodenbewegung für entfernte

Weltbeben und, da diese Seismographen eine sehr grosse Empfindlichkeit besitzen, so werden die verschiedensten Beben von den entferntesten Gegenden unseres Erdballes, wenn nur dieselben nicht einen exklusiv lokalen Charakter besitzen, aufgefangen und aufgeschrieben.

Bei Anwendung zweier *getrennter*, aperiodischer Seismographen dieser Art zur selbstständigen Registrierung der NS- und EW-Komponenten der Bodenbewegung, wird die Möglichkeit geboten, nicht nur die wahre Epizentraldistanz aus der Differenz der Momente des Eintreffens der ersten und zweiten Vorläufer (*P* und *S*) nach den Wiechert-Zöppritz'schen Laufzeitkurven zu ermitteln, sondern auch nach den Maximalausschlägen beim Eintreffen der longitudinalen Wellen bei *P* den wahren Azimut des Epizentrums und zwar ohne irgend welche Zweideutigkeit in bezug auf den entsprechenden Quadranten zu bestimmen. Infolgedessen kann man mit dieser Art Seismographen aus den Angaben einer *einzelnen* seismischen Station die angenäherten geographischen Koordinaten der Mitte des entsprechenden Epizentralgebietes sehr leicht bestimmen.

Alle die auf diesen Seismographen bezüglichen Beobachtungen, sowie Anwendung derselben zum Studium der wahren Bodenbewegungen, Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption der seismischen Oberflächenwellen, Bestimmung des Azimuts und Aufsuchen der Lage des Epizentrums, sowie verschiedene Fragen bezüglich der Bestimmung der verschiedenen instrumentellen Konstanten dieser Art Seismographen, verschiedene Beobachtungsmethoden u. s. w., sind in einer Reihe von mir schon früher veröffentlichten Abhandlungen niedergelegt¹⁾.

¹⁾ «Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen». Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. I. Livr. 3. St.-Petersbourg.

«Объ электромагнитномъ затуханіи въ примѣненіи къ сейсмическимъ приборамъ». L. c. T. I. Livr. 3.

«Ueber die Methoden zur Beobachtung von Neigungswellen». L. c. T. II. Livr. 2.

«Ueber eine Abänderung des Zöllner'schen Horizontalpendels». L. c. T. II. Livr. 3.

«Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa». L. c. T. III. Livr. 1.

«Die electromagnetische Registriermethode». L. c. T. III. Livr. 1.

«Hilfstabellen zur Auswertung von Seismogrammen bei Anwendung aperiodischer Instrumente». L. c. T. III. Livr. 1.

«Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mitteilung». L. c. T. III. Livr. 2.

«Seismometrische Studien». Verhandlungen der zweiten Tagung der ersten Generalversammlung der internationalen seismologischen Assoziation in Haag.

«Sur un séismograph à enregistrement galvanométrique à distance». Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences. T. CXLVII, p. 575 (1908). Paris.

«Объ открытіи сейсмической станціи въ Пулковѣ». Bulletin de l'Académie Imperiale des sciences de St.-Petersbourg. № 1. (1907). p. 25.

«Замѣтка о методахъ сейсмическихъ наблюдений». L. c. № 2. (1907). p. 41.

«Ueber die magnetische Dämpfung von Horizontalpendeln». L. c. № 8. (1908). p. 673.

«Ueber die Bestimmung der Constanten von starkgedämpften Horizontalpendeln». L. c. № 9. (1908). p. 743.

Aus denselben lässt sich auf die völlige Anwendbarkeit und Zweckmässigkeit der getroffenen Anordnung für die Erforschung von Erdbeben schliessen. Einige angeführte Beispiele zeigen, welche scharfe und leicht lesbare Seismogramme man dabei bekommt und wie gut sich dieselben zur Ableitung der wahren Amplituden der Bodenverschiebungen eignen, da man mit verschiedenen Instrumenten, wenn dieselben nur fast aperiodisch gemacht werden, im Allgemeinen recht übereinstimmende Werte für diese Amplitude bekommt. In der Tat laufen die mit solchen Instrumenten erhaltenen Kurven nicht nur bei Erdbeben, sondern auch bei mikroseismischen Störungen in ganz auffallender Weise parallel.

Allein ist dieser Seismograph selbst nirgendwo ausführlich beschrieben worden. Da aber ein neues, wesentlich verbessertes Modell desselben in mehreren Exemplaren schon angefertigt worden ist, und da diese Art Seismographen ihre völlige Leistungsfähigkeit genügend bewiesen hat, so halte ich es als angebracht, eine detaillierte Beschreibung desselben zu geben.

Zur Erleichterung der Benutzung desselben zu seismometrischen Beobachtungen halte ich ebenfalls für zweckmässig, verschiedene Daten bezüglich der Anwendung dieses Instruments, der Bestimmung der verschiedenen Konstanten etc., welche in meinen oben zitierten Veröffentlichungen zerstreut vorhanden sind, in dieser Abhandlung kurz zusammenzufassen und mit aus der Praxis entnommenen Zahlenbeispielen zu illustrieren. Ich werde jedoch an dieser Stelle die verschiedenen dazu nötigen Sätze ohne Beweise anführen und mich dabei nur mit Hinweisen auf die Originalabhandlungen, wo die entsprechende Frage ausführlich behandelt ist, begnügen.

«Zur Frage der Bestimmung des Uebertragungsfactors bei Anwendung der galvanometrischen Registriermethode bei seismometrischen Beobachtungen». L. c. № 16 (1908), p. 1223.

«О микросейсмических колебаниях». L. c. № 1. (1909), p. 59.

«Краткое сообщение о землетрясении 10/23 Января 1909 года». L. c. № 3. (1909) p. 159.

«Дополнительное сообщение о землетрясении 10/23 Января 1909 года». L. c. № 4. (1909), p. 243.

«Das Sicilianische Erdbeben am 28. December 1908 nach den Aufzeichnungen der Pulkowa'schen seismischen Station». L. c. № 4. (1909). p. 279.

«Краткое сообщение о землетрясениях 12 и 13 Марта 1909 года». L. c. № 5. (1909), p. 323.

«Zur Frage der Bestimmung des Azimuts des Epizentrums eines Bebens». L. c. № 14. (1909), p. 999.

«Das Erdbeben vom 20/21. Oktober 1909». L. c. № 16. (1909), p. 1107.

«Das Erdbeben vom 22. Januar 1910». L. c. № 3. (1910), p. 211.

«Ueber mikroseismische Bewegungen». Gerland's und Rudolph's Beiträge zur Geophysik. Bd. X. Heft. 2. (1909).

«Sur la détermination de l'épicentre d'un tremblement de terre d'après les données d'une seule station sismique». Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences. T. 150, p. 642. (1910). Paris.

«Ueber die Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses starkgedämpfter Horizontalpendel». Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente». T. IV: Livr. 1.

Dementsprechend zerfällt diese meine Abhandlung in folgende Abschnitte:

- § 1. Beschreibung des Seismographen.
- § 2. Allgemeine Theorie des Instruments.
- § 3. Bestimmung der Konstanten des Galvanometers.
- § 4. Bestimmung der Pendelkonstanten n und l .
- § 5. Bestimmung der Dämpfungskonstante μ^2 und des Uebertragungsfaktors k .
Einstellung auf die Aperiodizitätsgrenze.
- § 6. Direkte Bestimmung des Uebertragungsfaktors k .
- § 7. Anwendung von Shuntvorrichtungen.
- § 8. Verarbeitung von Erdbebendiagrammen. Bestimmung der Lage eines Epizentrums. Allgemeines Integrationsverfahren.
- § 9. Schlussfolgerungen.

Als Zusatz zu dieser Abhandlung werden 17 verschiedene spezielle Tabellen «Seismometrische Tabellen» beigegeben mit einer speziellen kurzen Einleitung betreffs ihrer Anwendung. Diese Tabellen erleichtern in ganz erheblicher Weise die Bestimmung der verschiedenen Instrumentenkonstanten, sowie die Bearbeitung von Erdbebendiagrammen.

Mehr als die Hälfte dieser Tabellen lässt sich unmittelbar auf andere Typen von Seismographen, auch bei mechanischer Registrierung, anwenden und kann überhaupt an verschiedenen seismischen Stationen von Nutzen sein.

Beschreibung des Seismographen.

Die folgenden Figuren 1, 2 und 3 zeigen die Einzelheiten der Konstruktion dieser Art Seismographen in $\frac{1}{3}$ natürlicher Grösse. Die Fig. 1 gibt eine Seitenansicht, die Fig. 3 eine Ansicht von vorn und die Fig. 2 die Details des Pendelarmes selbst nebst Induktionsspulen und dämpfenden Kupferplatten.

Das Pendelgestell *BB* von viereckiger Form ruht auf einer massiven gusseisernen, von unten ausgehöhlten und durch Rippen verstärkten dreieckigen Platte *AA*, welche von drei feinen Fusschrauben getragen wird. Die Entfernung der Fusschrauben von einander beträgt etwa 51 cm.

Das Pendelgestell *BB* selbst wird von beiden Seiten durch diagonal gehende Stangen verstärkt (in einem Stück gegossen). Auf der vorderen Seite des Gestells wird ein massiver Rahmen *RR* befestigt, welcher die Schlittführung der Magnete $M_1 M_1$ und $M_2 M_2$ trägt. Der Pendelarm *EF* wird auf Stahl- oder Platin-Iridium-Drähten bifilar aufgehängt. Wie die Drähte befestigt sind, sieht man aus der Figur 1. Dieselbe ist so gezeichnet, dass alle den Pendelarm betreffenden Teile nicht durch das Pendelgestell verdeckt werden. Die Zeichnung ist also nicht ganz naturgetreu, jedoch viel übersichtlicher. Durch die obere Schraube und Mutter *D* kann der obere Befestigungspunkt des Drahtes gehoben oder gesenkt werden, um den Pendelarm in horizontale Lage bringen zu können.

Der nach oben gehende Draht ist in der oberen Klemme um ein kleines Stück rechtwinklig gebogen. Dieses Stück geht in ein kleines Loch hinein und wird alsdann festgeklemmt. Dadurch wird vermieden, dass dieser Draht, welcher sehr stark gespannt wird, herausrutschen kann. Die wahre Drehungsaxe des Pendels bildet die Verbindungslinie zwischen den oberen und unteren Klemmstellen der Drähte.

Der Pendelarm (aus Messing) hat eine Gesamtlänge von etwa 41 cm. Auf denselben ist das zylindrische Pendelgewicht *G* aus Messing exzentrisch aufgesetzt und zwar ziemlich nah der Drehungsaxe, um die Empfindlichkeit

der Pendelregistrierung zu erhöhen. Die Gesamtpendelmasse beträgt etwa 7,2 Kil.

Der Pendelarm trägt ferner einen horizontal liegenden Rahmen J aus Zelluloid mit vier kleinen Induktionsspulen, die hintereinander geschaltet sind. Diese Spulen bewegen sich zwischen den Polen zweier permanenter hufeisenförmiger Magnete M_1 , die mit entgegengesetzten Polen zu einander gekehrt sind. Die Wickelung der Spulen ist so getroffen, dass bei der Pendelbewegung alle Induktionsströme sich gegenseitig verstärken. Von diesem Rahmen gehen zwei Drähte dem Pendelarm entlang zu zwei Klemmstellen, die durch zwei sehr dünne Silberblättchen U (siehe die Fig. 2), die sich in der unmittelbaren Nähe der Drehungsaxe des Pendels befinden, mit den festen Klemmen K verbunden sind. An diesen Klemmen werden die äusseren Zuleitungsdrähte, die zum Galvanometer führen, angebracht. Der Widerstand der Induktionsspulen resp. Zuleitungsdrähte muss so ausgewählt werden, damit das entsprechende Galvanometer sich genau an der Grenze der Aperiodizität befinde.

Am äusseren Ende des Pendelarms befindet sich die dämpfende Platte H aus möglichst eisenfreiem Kupfer. Die Länge und Breite derselben beträgt 140 resp. 40 m/m und die Dicke $5,5 \text{ m/m}$. Diese Platte bewegt sich zwischen den Polen der zwei Magnete M_2 . Alle vier hufeisenförmige Magnete sind bei diesem Seismographen aus Wolfram-Stahl und vierblättrig. Dieselben wurden mir von der Firma Hartmann und Braun in Bockenheim (bei Frankfurt $\frac{a}{m}$.) geliefert. Sie erwiesen sich als sehr kräftig und zeichneten sich durch eine ausserordentliche Konstanz aus. Jede Polfläche derselben beträgt $38 \times 32 \text{ m/m}$.

Durch eine besondere Schlittenvorrichtung, die eine sehr genaue Führung zulässt, können die einander gegenüberliegenden ungleichnamigen Pole derselben genähert oder entfernt werden, wodurch man die Stärke der Dämpfung (Magnete M_2), resp. die Empfindlichkeit der Registrierung, durch Aenderung der Werte des Uebertragungsfaktors (Magnete M_1) in sehr einfacher Weise variieren kann. Die Verschiebung der Magnete erfolgt mit Hilfe von Mikrometerschrauben LL , an deren Enden, wenn nötig, ein Drehkopf aufgesetzt werden kann. Zwei an der Seite angebrachte Teilungen gestatten die Entfernung der Magnetenpole bis auf $0,1 \text{ m/m}$ genau direkt abzulesen.

Die Induktionsspulen, die mit den Galvanometerwindungen einen geschlossenen Stromkreis bilden, tragen auch zur Dämpfung bei; der Hauptanteil der Dämpfung aber kommt immer auf die kupferne Platte.

Mit Hilfe derselben kann man in äusserst einfacher Weise eine sehr starke Dämpfung erzielen und zwar das Pendel genau auf die Grenze der

Aperiodizität einstellen. Dabei bleibt immer noch ein ziemlich grosser Spielraum zwischen der dämpfenden Kupferplatte und den Magnetpolen frei, sodass eine etwaige Berührung derselben in keinerlei Weise zu befürchten ist.

Auf dem Pendelarm in der Nähe der Drehungsaxe befindet sich eine kleine verschiebbare Fassung, die eine horizontale Stahlspitze S trägt. Das Ende dieser Spitze soll mit der wahren Drehungsaxe des Pendels zusammenfallen. Will man die Längsverschiebungen des Pendels parallel dem Pendelarm, die zuweilen bei Nahbeben für diese Art Aufhängung, die manche anderen sehr grossen Vorteile besitzt, ziemlich lästig sind, völlig eliminieren, so nähert man mittelst einer besonderen Schraube mit Kontramutter eine kleine Platte P bis zur Berührung mit der Spitze und verschiebt alsdann, durch weitere Drehung der Schraube, den Pendelarm in seiner Längsrichtung um etwa $\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{4} \frac{m}{m}$. Dadurch werden die Längsschwingungen des Pendels völlig eliminiert. Die Einführung dieser Spitze hat, wie ich es früher gezeigt habe¹⁾, fast gar keinen Einfluss, weder auf die Eigenperiode des Pendels, noch auf die Empfindlichkeit der Registrierung.

Auf eines muss man aber dabei Acht geben.

Die Einstellung des Pendels auf eine bestimmte Eigenperiode erfolgt durch die vordere feine Fusschraube der Grundplatte AA . Bei dieser Einstellung muss die kleine Platte P von der Spitze S entfernt werden. Nach der Einstellung kann man schon die Platte wieder anbringen. Man darf aber *in keiner Weise* die Eigenperiode des Pendels durch Drehung der unteren Fusschraube ändern, wenn die Platte schon zur Berührung gebracht ist. Dies könnte zu grossen Irrtümern führen.

Die Einführung der Stützplatte könnte wohl für nahe Beben von Nutzen sein, aber für entfernte Beben bei sehr stark gedämpften Pendeln, wie die schon mehrere Jahre andauernden Beobachtungen in Pulkowa mir gezeigt haben, ist dieselbe ganz und gar überflüssig, da die etwaigen Längsschwingungen des Pendels nicht störend einwirken. In diesen Fällen schraubt man die Platte P einfach zurück.

An einer Seite des Pendelgestells wird ein kleiner verschiebbarer Elektromagnet N (Fig. 1) angebracht. Derselbe trägt ein kleines Stäbchen, welches beim Schliessen eines besonderen Stromes in den Elektromagnetwindungen auf das Pendelgewicht G schlägt und dadurch demselben einen anfänglichen kleinen Anstoss erteilt. Derselbe ist bei der Bestimmung der Pendelkonstanten nötig, wie wir es weiter unten sehen werden. Mit Hilfe

¹⁾ «Ueber eine Abänderung des Zöllner'schen Horizontalpendels». L. c.

einer besonderen Regulierschraube kann die Stärke dieses Anstosses beliebig variiert werden. Bei Aufstellung des Pendels für seismometrische Beobachtungen kann dieser Elektromagnet einfach entfernt oder weiter zurückgeschraubt werden.

Ausserdem trägt der Pendelarm in der Nähe der Drehungsaxe einen kleinen Spiegel zur direkten Ablesung der Pendelbewegungen bei der Bestimmung der Pendelkonstanten.

Ein anderer, fester Spiegel wird von einem Stift getragen, welcher an der Grundplatte des Pendels befestigt ist. Man wird von diesem Spiegel bei Bestimmung der reduzierten Länge des Pendels Gebrauch machen. (Siehe weiter § 4).

Der hier beschriebene Seismograph zeichnet sich durch eine sehr hohe Empfindlichkeit aus, da seine Vergrösserung, infolge der Anwendung der galvanometrischen Registrierungsart, für die gewöhnlich bei Erdbeben vorkommenden Wellen, sehr leicht bis 800 oder sogar noch höher getrieben werden kann. Infolge der hier angewandten bifilaren Aufhängung ist seine Eigenperiode praktisch als völlig unabhängig von den Amplituden der Pendelausschläge zu betrachten; ausserdem ist, wegen der Anwendung der magnetischen Dämpfung, das Moment der dämpfenden Kräfte wirklich proportional der Winkelgeschwindigkeit der Pendelbewegung. Die Nulllage des Pendels zeichnet sich nach einiger Zeit von Tätigkeit durch ausserordentliche Konstanz aus, was jedoch bei dieser Art Pendel nicht von so grossem Belang ist, da nicht die Ablenkungen des Pendels direkt registriert werden, wie bei der rein optischen oder mechanischen Registrierungsart, sondern die Geschwindigkeiten der Pendelbewegungen, was zur Erforschung harmonischer seismischer Wellen eigentlich auf dasselbe herauskommt.

Dieser Apparat ist vollkommen frei von irgend welchen störenden Reibungsverhältnissen, er ist sehr kompakt, wiegt im Ganzen nur etwa 75 Kil. und ist nur 78 cm. hoch.

Das Umgehen mit diesem Seismographen ist sehr einfach und bequem und seine hohe Leistungsfähigkeit kann durch die schon mehrere Jahre andauernden seismometrischen Beobachtungen in Pulkowa als völlig bewiesen betrachtet werden.

Zum Schutz gegen Luftströmungen wird das ganze Pendel mit Grundplatte durch eine zylindrische Blechkappe bedeckt. Diese Kappe ist mit zwei Handgriffen zum leichteren Aufsetzen derselben über das Pendel versehen.

Der untere Rand dieser Kappe ruht in einer Blechrinne, welche direkt an dem entsprechenden Pfeiler mit Zement befestigt wird. Zum besseren Schutz gegen Luftströmungen wird diese Rinne mit trockenem Sand aus-

gefüllt. In dieser Kappe ist ein kleines Glasfenster angebracht, um die Ruhelage des Pendels von Zeit zu Zeit kontrollieren zu können.

Die verschiedenen Konstanten dieser Art Pendel brauchen sehr selten kontrolliert zu werden, da dieselben erfahrungsgemäss in vorzüglicher Weise ihre Werte behalten.

Das zur Registrierung der Pendelbewegung dienende Galvanometer, welches in einer beliebigen Entfernung vom Seismographen selbst aufgestellt werden kann, ist ein hochempfindliches Drehspulgalvanometer vom Deprez-d'Arsonval'schen Typus. Dieselben wurden mir von der Firma Hartmann & Braun geliefert. In den neueren Modellen derselben ist nur ein System von Windungen von ca. 5Ω Widerstand vorhanden. Durch passende Auswahl des äusseren Widerstandes können diese Galvanometer sehr leicht auf die Grenze der Aperiodizität gebracht werden (Siehe weiter § 3). Diese Art Galvanometer ist in der Praxis sehr bequem. Sie zeichnen sich ausserdem durch eine sehr grosse Konstanz ihrer Eigenperiode aus.

Der zu diesem Pendel gehörige Registrierapparat ist eine ganz neue Gattung dieser Instrumente, welcher vom Mechaniker am Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg Herrn Masing nach meinen allgemeinen Angaben ausgearbeitet und konstruiert wurde. Derselbe besitzt manche sehr erheblichen Vorteile gegen die gewöhnlich in der Seismometrie zu verwendenden Apparate, wobei auf einen möglichst gleichmässigen Gang desselben das Hauptgewicht gelegt wurde (gleiche Minutenlängen). Es ist in der Tat sehr zu bedauern, dass zur Zeit von den Seismologen so wenig Aufmerksamkeit auf die Vervollkommenung der Registrierteile der Seismographen gelenkt wird. Es werden ziemlich feine und komplizierte Seismographen konstruiert, aber die Registrierteile derselben lassen gewöhnlich sehr viel zu wünschen übrig. Bei dem jetzigen Stand der Präzisionsseismometrie ist eine genaue Kenntnis der wahren Momente des Eintreffens der verschiedenen Bebenphasen in hohem Maasse wünschenswert, dies aber ist nur dann möglich, wenn der betreffende Registrierapparat einen gleichmässigen Gang besitzt. Ausserdem muss zur Erforschung der Bebenwellen von kurzer Periode, wie dieselben in der ersten Vorphase eines Bebens vorzukommen pflegen, die entsprechende Registriertrommel eine genügend grosse Drehgeschwindigkeit besitzen. Das Anbringen von Zeitmarkierungen nach möglichst kurzen Zeitintervallen ist ebenfalls eine sehr wichtige Bedingung für das gute Funktionieren des Seismographen. Man wird sich jedoch in der Praxis in den meisten Fällen mit Minutenmarken begnügen können.

Die folgenden Figuren 4 und 5 zeigen in $\frac{1}{3}$ natürlicher Grösse die Einzelheiten der Konstruktion dieses Registrierapparates.

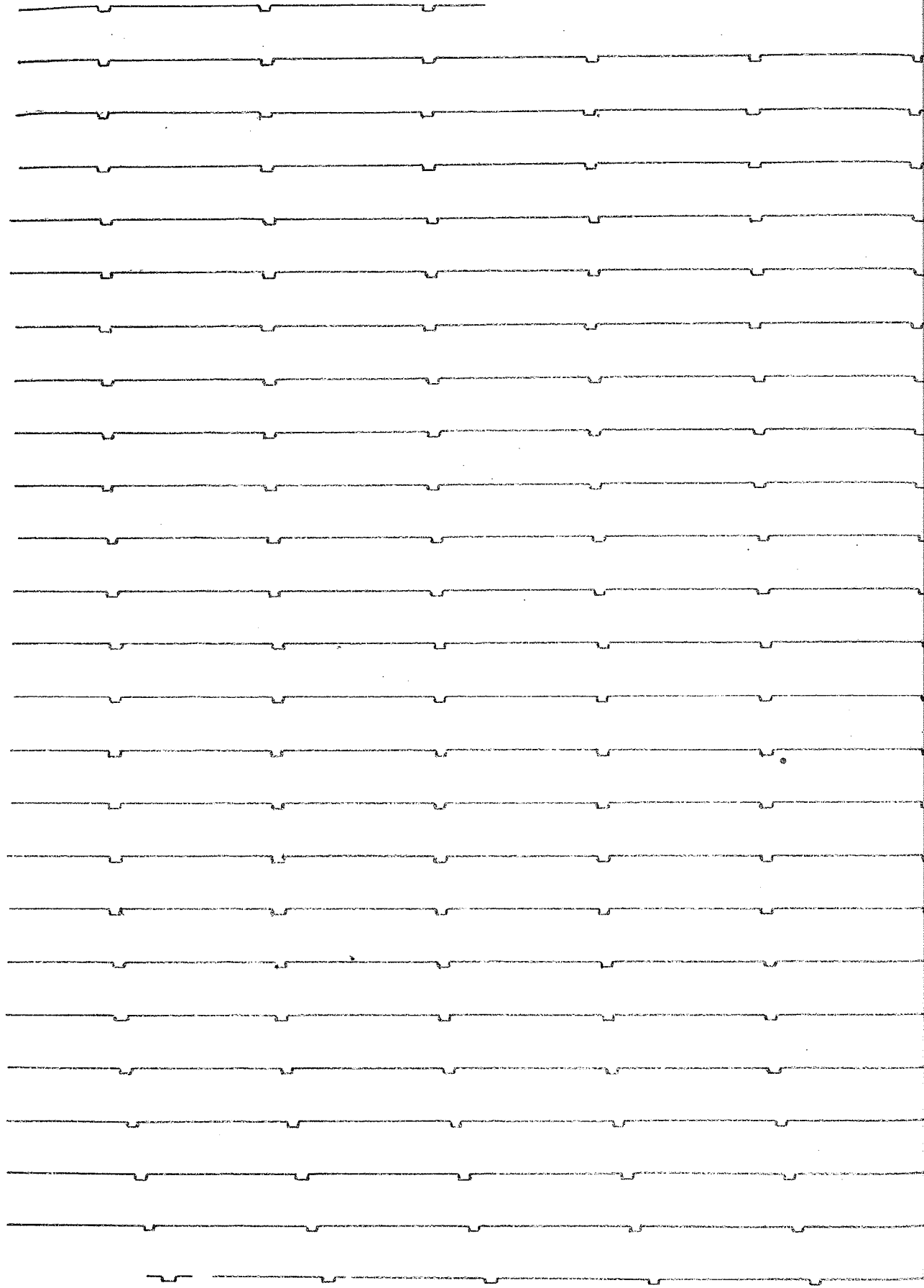


Fig. 6.

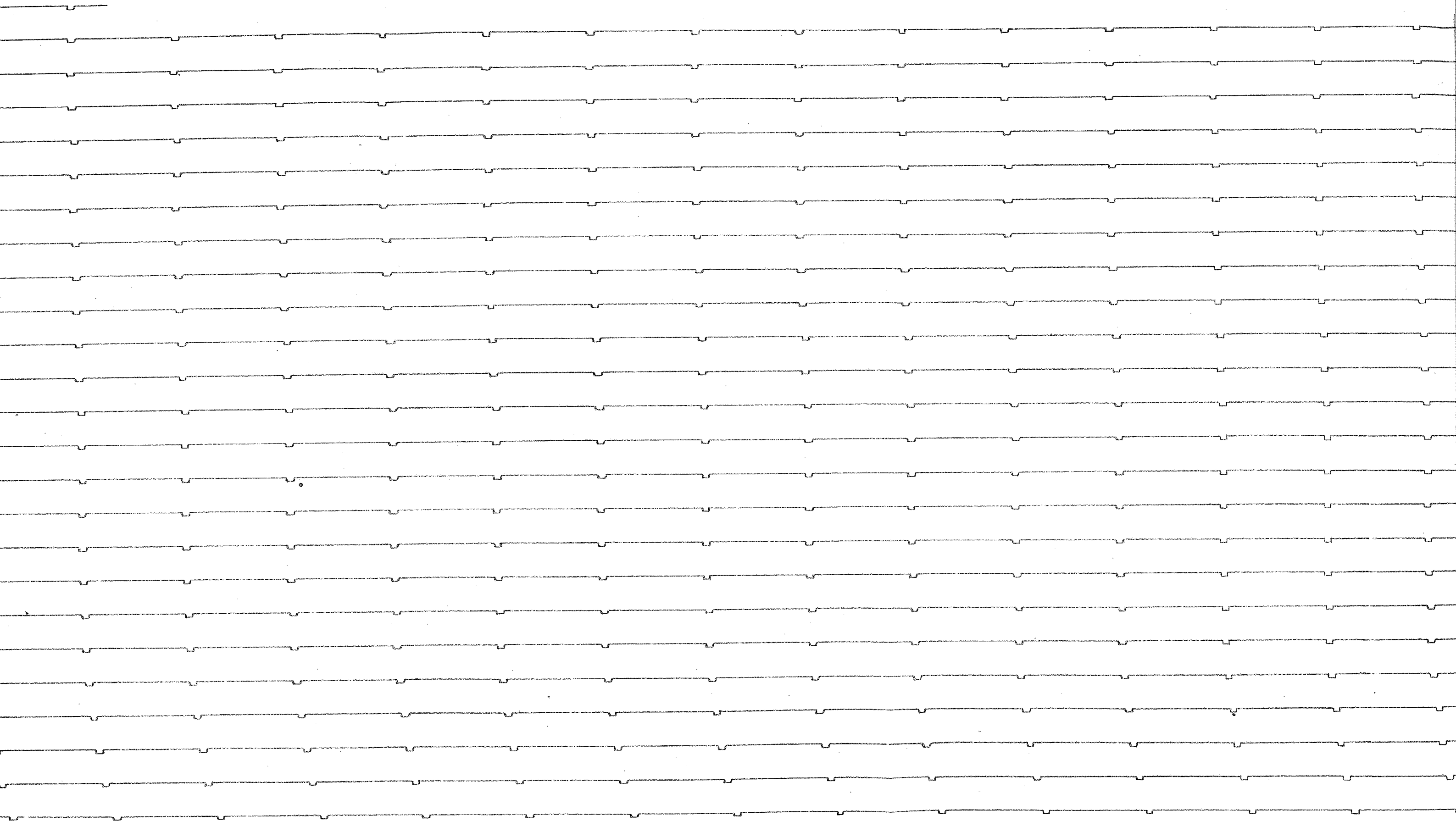
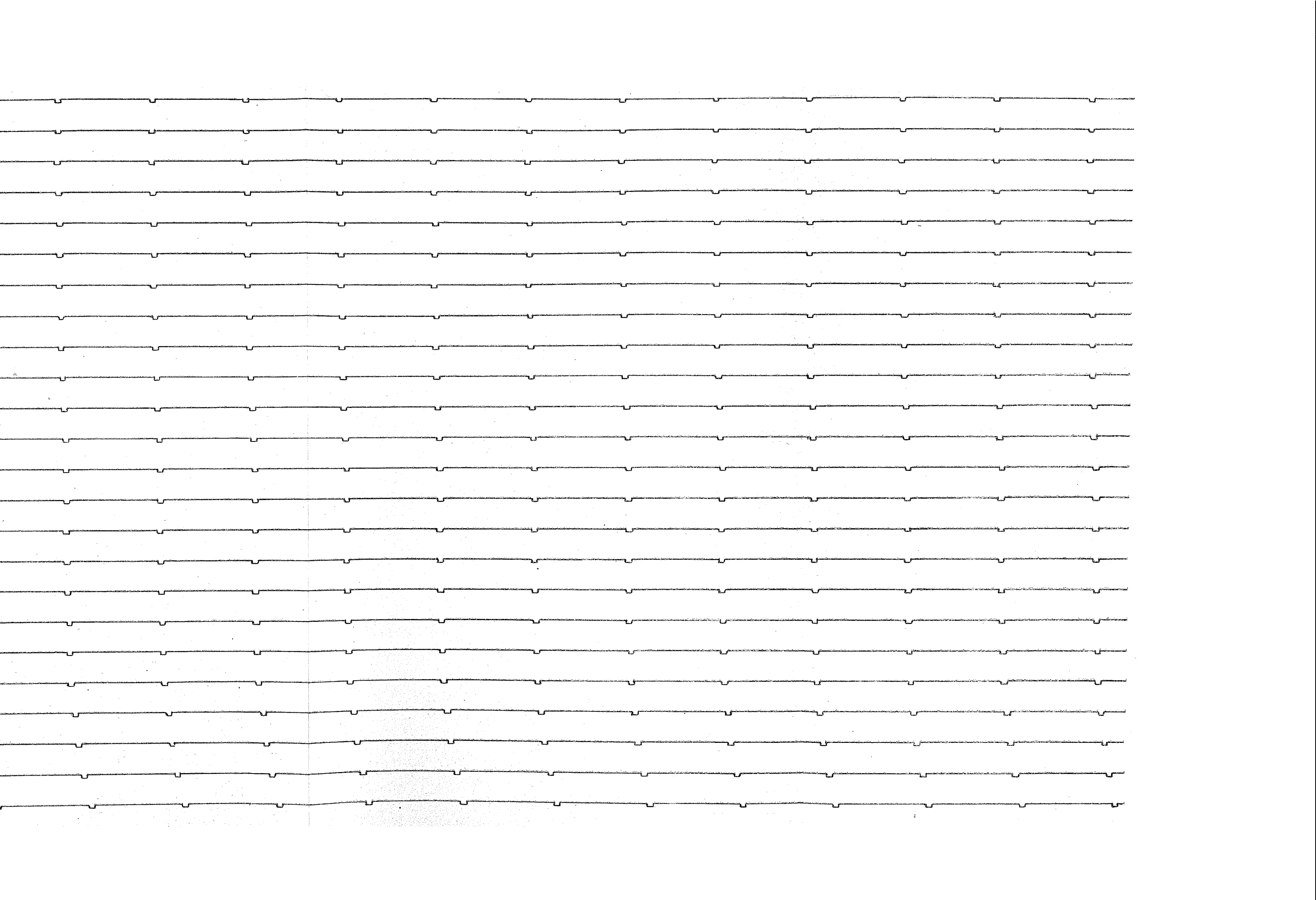


Fig. 6.





Man verfolgte dabei das Ziel, einen möglichst gleichmässigen Trommelgang zu erzielen, den Drehmechanismus der Trommel möglichst zu entlasten und von dem Mechanismus, welcher den Registrierzylinder längs seiner Axe fortbewegt, völlig zu trennen. Ausserdem durfte der Drehmechanismus nicht an der Axe des Zylinders, sondern an der Peripherie desselben angreifen, dadurch werden etwaige Mängel in der Konstruktion des Uhrwerkes selbst weniger zur Geltung kommen.

Die Registriertrommel *C* ist ein sehr sorgfältig gearbeiteter Messingzylinder von 300 m/m Länge und 288 m/m äusserem Durchmesser. Derselbe trägt an einem Ende einen Messingring *E*. Die Axe des Zylinders, welche mittelst Speichen mit der Peripherie desselben verbunden ist, ruht auf Friktionsrollen *B*. Der Messingring *E* liegt ebenfalls auf zwei Rollen *FF*. Eine von denselben ist frei, die andere mit dem Drehmechanismus *U* verbunden. Derselbe besteht aus einem sehr fein gearbeiteten Uhrwerk mit Federantrieb und Foucault'schem Regulator¹⁾, was alles in einem Messingkasten eingeschlossen ist. Die Uebertragung der drehenden Bewegung auf die Trommel erfolgt mittelst einer der Friktionsrollen *F*. Wenn der Foucault'sche Regulator richtig eingestellt ist, so zeichnet sich die drehende Bewegung der Trommel durch eine ausserordentliche Regelmässigkeit aus, wie aus der nebenbei angegebenen Fig. 6 zu erschen ist, wo die verschiedenen einander entsprechenden Minutenmarken wirklich fast auf geraden Linien liegen. Der Aufzug der Uhr erfolgt mittelst des Handgriffes *H*. Das Uhrwerk ist auf etwa 12 Stunden regelmässigen Gang berechnet, somit müssen die Registrierbögen zweimal in 24 Stunden gewechselt werden. Dieses ist freilich etwas umständlich, aber die Seismogramme gewinnen dabei ausserordentlich viel an Uebersichtlichkeit und Deutlichkeit.

Die Registriertrommel *C* selbst nebst Uhrwerk ruht auf einer beweglichen Plattform, welche mittelst Rollen *R* auf den Schienen *S* fortbewegt werden kann. Dadurch wird die unendliche Schraube der meisten Registrierapparate völlig vermieden. Diese Schienen ruhen auf einer massiven gusseisernen Grundplatte *K*, welche von vier Regulierschrauben getragen wird.

Die Fortbewegung der Registriertrommel parallel ihrer Axe erfolgt mit Hilfe des Gewichtes *G*, welches mittelst eines über eine besondere Rolle laufenden Seiles mit einem besonderen kleinen, ziemlich einfachen Uhrwerk *D* verbunden ist. Dieses Uhrwerk wird ebenfalls durch das fallende Gewicht *G* getrieben. Das kleine Gewicht *g* dient nur zur Spannung des Seiles.

Vor der Oberfläche der Registriertrommel auf der Höhe ihrer Axe

¹⁾ Derselbe ist neulich mit dem besten Erfolg durch einen Kegelpendelregulator ersetzt worden.

befindet sich in einer besonderen Fassung eine lange, etwas abgeblendete horizontale Zylinderlinse L , von 250 m/m Länge, 15 m/m Breite und 3 m/m Dicke in ihrem mittleren Teile. Die Fokaldistanz derselben beträgt 20 m/m . Die Fassung dieser Linse ist in der Axe MM drehbar, wodurch man dieselbe mittelst der Schraube A an die Trommel C näher oder weiter stellen kann, um einen möglichst scharfen und hellen Lichtpunkt auf dem photographischen Papier zu bekommen.

Der ganze Registrierapparat wird auf einem massiven Tisch oder Pfeiler aufgesetzt und durch eine Blechkappe, mit Ausschnitten vor der Linse L und speziellen Löchern zum Durchlassen der Drähte für die Gewichte G und g verdeckt.

Die Kappe hat unten 4 Rollen, die auf speziellen am Tisch befestigten Schienen sich bewegen können. Beim Papierwechsel wird diese Kappe einfach zur Seite geschoben. Die in der Nähe des Uhrwerkes befindliche Wand ist fest an den Tisch angeschraubt. Diese Kappe ist so eingerichtet, damit möglichst wenig fremdes Licht zu der Registriertrommel gelangen kann.

Die beiden Uhrwerke U und D sind so berechnet, dass die Länge einer Minute auf der Registriertrommel gleich 30 m/m und die Entfernung benachbarter Linien 10 m/m sei. Bei so einer schnellen Bewegung gewinnen die Seismogramme sehr viel an Deutlichkeit und Uebersichtlichkeit und es lassen sich die kurzen seismischen Wellen sehr gut studieren, da dieselben sehr scharf und ausgeprägt zum Vorschein treten.

Bei solchen Dimensionen der Trommel lassen sich auf einem und demselben Papierbogen die Bewegungen zweier Horizontalpendel registrieren, das eine etwa für die NS -Komponente und das andere für die EW -Komponente.

Die entsprechenden Lichtpunkte können dabei ganz nah an einander eingestellt werden. Dadurch erhält man sofort einen Ueberblick über die charakteristischen Eigenschaften der Bodenbewegung für beide Komponenten und nach dem ersten maximalen Ausschlag beim Eintreffen der Wellen der ersten Vorphase kann man den wahren Azimut des Epizentrums des entsprechenden Bebens bestimmen¹⁾. Es ist allerdings viel vorteilhafter, die beiden Komponenten der Bodenbewegung durch zwei *ganz getrennte* Apparate aufzunehmen und aufzuschreiben und nicht die Bewegung des Instrumentes selbst durch irgend welche mechanischen Hilfsmittel in zwei Komponenten zu zerteilen, da man im letzteren Falle, infolge gewisser Reibungsverhältnisse, nie ganz sicher sein kann, dass diese Einzelbewegungen völlig unabhängig von einander sind. Es müsste z. B. bei Be-

¹⁾ Siehe «Zur Frage der Bestimmung des Azimuts des Epizentrums eines Bebens». L. c.

wegung einer Schreibfeder die andere völlig in Ruhe beharren. Ist das aber nicht der Fall, so werden die entsprechenden Seismogramme etwas entstellt und eine genaue Ermittlung des Azimuts des Epizentrums wird dann kaum möglich sein.

Die folgenden Figuren 7 und 8 geben zwei photographische Aufnahmen von diesem Seismographen mit dem entsprechenden aperiodischen Galvanometer wieder. Auf der Fig. 8 befindet sich ausserdem der Registrierapparat.

Die anderen Figuren 9 und 10 sind photographische Aufnahmen des Registrierapparates selbst. Aus ihnen lassen sich verschiedene Details desselben gut ersehen.

Der Registrierteil dieser Art Seismographen kann, wie früher erwähnt wurde, in einer fast beliebigen Entfernung von den Pendeln selbst aufgestellt werden, wodurch eine sehr einfache und präzise Fernregistrierung erzielt wird, allein müssen die Zuleitungsdrähte gut isoliert und induktionsfrei um einander herum gewickelt werden. In diesem Falle sind etwaige sekundäre Induktionswirkungen etc. nicht mehr zu befürchten. Blanke, durch die freie Luft führende Drähte können in keiner Weise verwendet werden.

Es erübrigt mir noch die optischen Einrichtungen zum photographischen Registrieren zu beschreiben. Ich setze dabei voraus, dass es sich darum handelt, die Bewegung zweier Horizontalpendel auf einer und derselben Registriertrommel aufzuschreiben.

Als Lichtquelle wird eine kleine Nernstlampe mit einem kurzen sehr helleuchtenden Faden verwendet¹⁾.

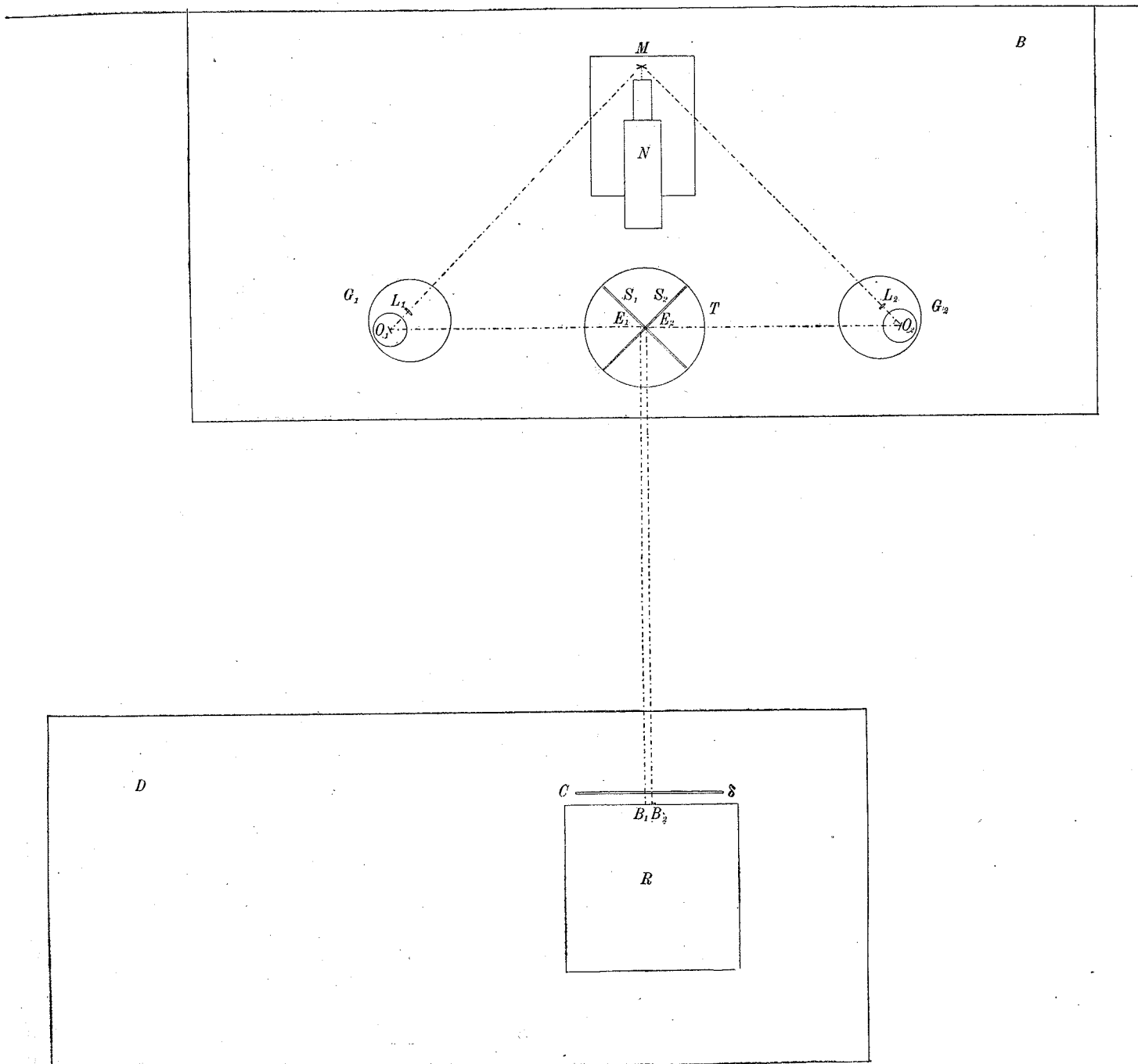
Die folgenden Figuren 11, 12 und 13 zeigen in $\frac{1}{2}$ natürlicher Grösse die Einzelheiten der Einrichtung der entsprechenden Laterne, die sich in der Praxis als sehr bequem und zweckmässig erwiesen hat.

Die Fig. 11 gibt eine Seitenansicht, die Fig. 12 eine Ansicht von oben und die Fig. 13 eine Ansicht von vorn.

Auf einer Grundplatte *P* befindet sich ein ringförmiges Gestell *G*. In diesen passt ein Messingzylinder *A* hinein, welcher um die horizontale Axe *BB* drehbar ist. Hinten stützt sich dieser Zylinder auf die Schraube *F*, mit Hilfe welcher man ihm verschiedene Neigungen geben kann. In diesem Zylinder *A* befindet sich hinten ein anderer Zylinder *C* mit einer abnehmbaren Kappe *K*, an welcher die Nernstlampe *N* mit vertikal stehendem leuchtendem Faden nebst Vorschaltwiderstand befestigt wird. Dieser zweite Zy-

¹⁾ Man kann auch Acetylenlicht anwenden, wie dies z. B. auf der seismischen Station in Eskdalemuir in Schottland geschieht, allein ist Acetylenlicht viel weniger günstig als eine Nernstlampe.

Fig. 14.



linder C ist mit Hilfe der Schraube E um eine vertikale Axe DD drehbar, wodurch man den leuchtenden Faden in die richtige Lage bringen kann.

Der Zylinder A trägt auf der vorderen Seite ein Messingrohr H , in welchem ein verschiebbarer Tubus hineinpasst. Dieser Tubus trägt an einem Ende eine Sammellinse L und auf dem anderen einen feinen Spalt S . Durch Verschiebung dieses Tubus kann man die Lichtstrahlen von der Nernstlampe genau auf den Spalt S konzentrieren. Zu dieser Einstellung wird der Spalt weggenommen und durch eine kleine Kappe mit Milchglasplatte ersetzt.

Durch diese Einrichtung wird erreicht, dass als unmittelbare Lichtquelle zum photographischen Registrieren nicht etwa der ziemlich breite Lichtfaden der Nernstlampe verwendet wird, sondern ein feiner, stark beleuchteter Spalt. Dadurch erhält man auf der Registriertrommel unter Benutzung zweier Hilfszylinder- oder sphärischer Linsen einen sehr helleuchtenden und scharf begrenzten Lichtpunkt.

Vor dem Spalte S befinden sich zwei kleine Spiegel oder Prismen M_1 und M_2 , die mit Hilfe der Knöpfe R_1 und R_2 drehbar sind. Durch diese Spiegel werden die vom Spalte ausgehenden Strahlen in zwei Lichtbündel zerteilt, wodurch ermöglicht wird, dass man zum photographischen Registrieren der Bewegungen zweier Seismographen nur eine Nernst'sche Lampe zu verwenden braucht.

Der weitere Strahlengang ist aus der folgenden Fig. 14 ersichtlich.

B ist eine starke, fest in die Wand eingemauerte Konsole, D ein vor dieser Konsole stehender Tisch, welcher den Registrierapparat trägt. R ist die zugehörige Registriertrommel. N ist die Laterne mit der Nernst'schen Lampe, G_1 und G_2 die zwei Galvanometer, die mit den entsprechenden Horizontalpendeln durch Zuleitungsdrähte verbunden sind. O_1 und O_2 sind zwei mit den Drehspulen der Galvanometer fest verbundene Spiegel und L_1 und L_2 zwei kleine vertikale Zylinderlinsen, die sich je in einer besonderen Fassung befinden. Die kleine Grundplatte dieser Fassung stützt sich auf Regulierschrauben und wird einfach auf die Deckplatte der Galvanometer aufgesetzt. Die Höhe dieser Linsen beträgt 14 m/m , die Breite 10 m/m , die maximale Dicke $1,5 \text{ m/m}$ und die Brennweite etwa $40\text{—}45 \text{ cm}$.

T ist ein kleiner runder Tisch, auf welchem zwei lange Spiegel S_1 und S_2 von 20 cm Länge und 15 m/m Breite etwa rechtwinklig zu einander aufgestellt werden, der eine über dem anderen. Diese Spiegel werden ebenfalls mit Hilfe besonderer Fassungen getragen, die mit einer Regulierschraube versehen sind, welche die Spiegel um eine ihrer Längsrichtung parallele horizontale Axe zu neigen gestattet. Dadurch kann man die Lage der leuchtenden Punkte B_1 und B_2 auf der Registriertrommel sehr leicht regulieren.

Die Versilberung der Spiegel geschieht durch ein besonderes hier in St.-Petersburg ausgearbeitetes Verfahren, welches sich als ganz ausgezeichnet und sehr widerstandsfähig erwiesen hat. Selbst in sehr feuchten Räumen werden die Spiegel fast garnicht angegriffen und behalten ihr Reflexionsvermögen sehr lange Zeit fast unverändert bei.

Unmittelbar vor der Registriertrommel R steht eine lange, schon früher erwähnte, horizontale Zylinderlinse C .

Der Strahlengang wird durch die punktierten Linien gezeichnet. Die von den kleinen Spiegeln M_1 und M_2 am Spalte zerteilten Lichtbündel werden von den Spiegeln O_1 und S_1 , resp. O_2 und S_2 reflektiert und mit Hilfe der beiden senkrecht zu einander stehenden Linsen L_1 und C , resp. L_2 und C zu zwei sehr hellen und scharf begrenzten Lichtpunkten konzentriert. Die scharfe Einstellung der Lichtpunkte lässt sich auf sehr einfache Weise bewerkstelligen. Um sich dabei von kleinen Lichtaureolen zu befreien, ist es zweckmässig die Linsen etwas abzublenden, da die Lichtpunkte auch noch bei sehr geringer Breite der wirkenden Fläche stark genug ausfallen. Die Länge A_1 resp. A_2 des entsprechenden optischen Hebels ist gleich dem Strahlenwege vom Galvanometerspiegel bis zur Trommeloberfläche in der Richtung des normal einfallenden Strahles.

Es ist also

$$A_1 = O_1 E_1 + E_1 B_1$$

$$A_2 = O_2 E_2 + E_2 B_2.$$

Diese Entfernungen werden direkt ausgemessen. Sie bedürfen jedoch einer kleinen Korrektion für die Dicke δ der horizontalen Zylinderlinse C .

Bedeute μ den Brechungsindex der entsprechenden Glassorte, so muss, wie sehr leicht einzusehen ist, für Strahlen, die sich nicht weit von der Normale entfernen, von den geometrischen Entfernungen A_1 und A_2 die kleine Korrektion

$$\Delta = \frac{\mu - 1}{\mu} \cdot \delta$$

abgezogen werden.

Setzen wir $\mu = \frac{3}{2}$, so ergibt sich, da $\delta = 3 \text{ m/m}$ beträgt, $\Delta = 1 \text{ m/m}$.

Die Entfernungen A_1 und A_2 betragen etwa 1 Meter, somit ist die entsprechende Korrektion nur von der Grössenordnung 0,1%. Sie könnte auch freilich ganz vernachlässigt werden.

Mit Hilfe dieser optischen Einrichtung, die sich in der Praxis als sehr bequem erwiesen hat, und der gewählten Grösse des optischen Hebels, erhält man sehr schöne, scharfe und ausgeprägte Seismogramme (Siehe weiter unten die Figuren 22 und 23). Selbst für grössere Ausschläge werden die

Linien, infolge der grossen Helligkeit der Lichtpunkte, sehr deutlich. Die erhaltenen Kurven sind gewöhnlich, wenn alles richtig eingestellt ist, sehr fein und gestatten auch unter einem Mikroskop gesehen eine sehr feine Ausmessung.

Zur Zeitmarkierung benutze ich eine Kontaktuhr mit Minutenkontakten von der Firma Strasser & Rohde bezogen (Glashütte in Sachsen)¹⁾.

Eine Anzahl dieser Uhren wurden von meinem Assistenten Herrn Wilip einer speziellen Untersuchung unterzogen²⁾. Es stellte sich dabei heraus, dass dieselben sehr vortreffliche Eigenschaften besitzen. Wenn sie richtig eingestellt sind, haben sie einen sehr kleinen täglichen Gang, wobei derselbe sich als sehr konstant erweist. Die Minutenkontakte erfolgen immer auf der 59 Sekunde und dauern eine Sekunde. Ein Auslassen der Kontakte wurde nie bemerkt. Bei der grossen Drehgeschwindigkeit der Registriertrommel ($30 \frac{m}{m}$ in der Minute) sind Minutenkontakte unbedingt notwendig.

Die Zeitmarkierung auf den Seismogrammen wird dadurch erreicht, dass auf dem Wege eines der beiden Strahlenbündel, etwa zwischen L_1 und M_1 , ein kleiner Elektromagnet, welcher einen kleinen Schirm trägt und mit der Kontaktuhr in leitender Verbindung steht, aufgestellt wird. Dieser Schirm lässt den Strahlen einen freien Durchgang. Nur auf der 59 Sekunde werden die Strahlen für die Dauer einer Sekunde interzeptiert. Die dabei in der Kurve entstehende Lücke ist so klein, dass sie bei seismometrischen Beobachtungen gar nicht störend wirkt und trotzdem ist die Zeitmarkierung ganz deutlich genug. Der Elektromagnet wird durch einige Leclanché Elemente betrieben.

Bei galvanometrischer Registrierung von zwei Komponenten auf einer und derselben Trommel genügt es vollständig die Zeitmarkierung nur auf einer der beiden Kurven anzubringen. Der etwaige kleine Zeitparallax zwischen den beiden Lichtpunkten lässt sich immer sehr leicht berücksichtigen. Derselbe kann sofort ermittelt werden, indem man plötzlich die horizontale Zylinderlinse durch einen besonderen kleinen Schirm verdeckt.

Es lohnt sich noch bei dem Elektromagneten, welcher den Schirm trägt, einen Nebenstromkreis mit Schlüssel einzuschalten. Wird der Schlüssel geschlossen, so wird der Schirm angezogen und die Strahlen werden interzeptiert. Dadurch kann man entsprechende Signale beim Anlassen des Registrierapparates beim Papierwechsel geben und somit den Anfang von

¹⁾ Der Preis einer solchen Uhr beträgt incl. Verpackung 510 Mk.

²⁾ «О ходѣ нѣкоторыхъ контактныхъ часовъ». Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. IV. Livr. 1.

dem Ende des Seismogrammes leicht unterscheiden. In Pulkowa geschieht dies auf folgende Weise. Vor dem Papierwechsel wird ein spezieller Schirm plötzlich vor die horizontale Zylinderlinse geschoben, der Schlüssel geschlossen und alsdann das Papier gewechselt. Nach Aufziehen des Uhrwerkes und Einstellung der Trommel wird der Registrierapparat in Gang gesetzt und der Hilfsschirm zur Seite geschoben. Man verfolgt alsdann die Uhr. Auf der 20-ten Sekunde jeder beliebigen Minute öffnet man den Schlüssel in dem Nebenkreise und auf der 25-ten schliesst man denselben wieder zu. Auf der 35-ten Sekunde öffnet man den Schlüssel für weitere 5 Sekunden wieder. Auf der 50-ten Sekunde öffnet man den Schlüssel zum letzten Mal und lässt ihn dabei offen stehen. Die nächstfolgende ganze Minute wird als Anfangsmoment des entsprechenden Seismogrammes notiert. Dadurch erhält man sehr deutliche Zeitmarken am Anfang des Seismogrammes, wobei das weitere Schliessen des kleinen Schirmes schon durch die Kontaktuhr besorgt wird.

Vor dem folgenden Papierwechsel wird ebenfalls die Uhr verfolgt und der Hilfsschirm vor die horizontale Zylinderlinse z. B. in dem Moment des Auslaufens einer vollen Minute geschoben. Diese Minute wird ebenfalls notiert.

Dadurch erhält man eine Kontrolle für die Richtigkeit der entsprechenden Zeitmarkierung. Alle diese Operationen sind so einfach, dass sie sich durch Personen, die wissenschaftlich gar nicht gebildet sind, sehr leicht durchführen lassen.

§ 2.

Allgemeine Theorie des Instrumentes.

Die allgemeine Theorie dieses Instrumentes stützt sich auf die bekannte Grunddifferentialgleichung der Bewegung eines Horizontalpendels.

Setzen wir voraus, dass das betreffende Horizontalpendel für die Registrierung der *NS*-Komponente aufgestellt ist; der Pendelarm liegt also in der ersten Vertikale.

Die zum Zeitmoment t stattfindende Bodenverschiebung wollen wir durch x bezeichnen und dabei x als positiv annehmen, wenn die *Bodenverschiebung* nach *N* erfolgt. x ist eine gewisse Funktion von t .

$$x = f(t) \dots \dots \dots (1)$$

Von dem etwaigen Einfluss der Neigungen auf die Bewegung des Horizontalpendels, welcher erfahrungsgemäss für entfernte Beben nur ganz minimal sein kann, wollen wir hier absehen.

Bedeute weiter θ den entsprechenden Winkelausschlag des Pendels, ε die Dämpfungskonstante, l die reduzierte Pendellänge und n eine Konstante, welche mit der Eigenperiode T des Pendels ohne Dämpfung in unmittelbarem Zusammenhang steht und zwar ist

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

Der Wert von n hängt unmittelbar von dem Winkel i , welchen die Drehungsaxe des Pendels mit der Vertikale bildet, ab.

Es ist nämlich

$$n^2 = \frac{g^i}{l} \dots \dots \dots (3)$$

Je kleiner i ist, desto grösser wird die Eigenperiode T des Pendels.

Die Grunddifferentialgleichung der Pendelbewegung lautet nun bekanntlich, wie folgt:

$$\theta'' + 2\varepsilon\theta' + n^2\theta + \frac{1}{l}x'' = 0 \dots \dots \dots (4)$$

Wird nun die Pendelbewegung auf irgend welche Weise aufgeschrieben, so wird θ als Funktion von t bekannt.

Also

$$\theta = F(t) \dots \dots \dots (5)$$

Auf Grund der bekannten Funktion $F(t)$ muss nun die gesuchte Funktion $f(t)$ der Bodenbewegung ermittelt werden. Dies ist die Hauptaufgabe der Präzisionsseismometrie.

Wir werden aber uns fürs Erste, wie üblich, nur auf den Fall harmonischer Bodenbewegungen beschränken und dementsprechend

$$x = x_m \sin \{pt + \delta\} \dots \dots \dots (6)$$

setzen.

Hierin bedeuten:

$$p = \frac{2\pi}{T_p} \dots \dots \dots (7)$$

wo T_p die volle Periode der entsprechenden Bebenwelle ist, δ die anfängliche Phase der Bewegung, die keine weitere Bedeutung hat und x_m die maxi-

male Amplitude der Bodenbewegung, immer von der Ruhelage aus gerechnet.

T_p und x_m sind eben die gesuchten Grössen.

Um sie bestimmen zu können, muss man die drei Pendelkonstanten ϵ , n und l kennen. Wie diese experimentell zu erhalten sind, werden wir später sehen.

ϵ ist die Dämpfungskonstante; diese wird durch die Stärke des entsprechenden Dämpfungsverhältnisses v des Pendels charakterisiert.

Unter Dämpfungsverhältnis versteht man das Verhältnis zweier nach einander folgender maximaler Ausschläge des Pendels (unabhängig vom Vorzeichen derselben) bei seiner Eigenbewegung.

Es ist also

$$v = \frac{\theta_k}{\theta_{k+1}} \dots \dots \dots (8)$$

$$\Lambda = \text{Log}_{10} v \dots \dots \dots (9)$$

heisst das logarithmische Dekrement.

Die Eigenperiode des Pendels wird durch das Vorhandensein der Dämpfung etwas vergrössert und zwar wird, wenn wir die Periode jetzt durch T' bezeichnen,

$$T' = \frac{2\pi}{\sqrt{n^2 - \epsilon^2}} = \frac{2\pi}{n} \sqrt{1 + \left(\frac{2}{\text{Log } e}\right)^2 \frac{1}{4\pi^2} \Lambda^2} = \frac{2\pi}{n} \sqrt{1 + 0,53720 \Lambda^2}, \dots (10)$$

also

$$n = \frac{2\pi}{T'} \cdot \sqrt{1 + 0,53720 \Lambda^2} \dots \dots \dots (11)$$

Wollen wir nun folgende Bezeichnungen einführen:

$$h = \frac{\epsilon}{n}, \dots \dots \dots (12)$$

$$\mu^2 = 1 - h^2 \dots \dots \dots (13)$$

und

$$m = \frac{h}{\sqrt{1 - h^2}} \dots \dots \dots (14)$$

Dann wird

$$\mu^2 = \frac{1}{1 + m^2} \dots \dots \dots (15)$$

1) Siehe «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mitteilung». L. c. § 2.

Aus der Theorie des Horizontalpendels ergibt sich¹⁾

$$v = e^{\frac{\epsilon T'}{2}},$$

also

$$\epsilon = \frac{2}{\text{Log } e} \cdot \frac{\Lambda}{T'} = 4,6052 \frac{1}{T} \cdot \frac{\Lambda}{\sqrt{1 + 0,53720 \Lambda^2}} \dots \dots \dots (16)$$

Weiter hat man

$$v = e^{\pi m}, \dots \dots \dots (17)$$

oder

$$\Lambda = \text{Log}_{10} v = (\pi \text{Log}_{10} e) m = 1,3644 \cdot m \dots \dots \dots (18)$$

Wir werden im Folgenden die Stärke der Dämpfung nicht etwa durch ϵ , v oder Λ , sondern durch μ^2 charakterisieren, was viel bequemer und übersichtlicher ist, da eben diese Grösse μ^2 für das Verhalten des Pendels in bezug auf die Stärke der Dämpfung besonders maassgebend ist. (Siehe weiter unten).

$\mu^2 = 1$ entspricht einem völlig ungedämpften Pendel und $\mu^2 = 0$ dem Fall, wo das Pendel genau an der Grenze der Aperiodizität steht.

In dem zu dieser Abhandlung gehörigen Nachtrag «Seismometrische Tabellen» befinden sich in der Tabelle I die einander entsprechenden Werte von μ^2 , h und v .

Das gewöhnlich in Deutschland verwendbare Dämpfungsverhältnis $v=5$ entspricht etwa $\mu^2 = 0,79$. Diese Tabelle lehrt auch, dass, wenn μ^2 klein wird, das Dämpfungsverhältnis schon enorm gross geworden ist. Selbst für $\mu^2 = 0,10$ wird $v = 12400$; ein Pendel aber, welches so stark gedämpft ist, kann wohl in der Praxis als ein fast aperiodisches Pendel betrachtet werden. Wenn μ^2 sich negativ ergibt, so heisst das, dass die Grenze der Aperiodizität schon überschritten ist und die Eigenbewegung des Pendels sich nicht mehr durch trigonometrische, sondern durch exponentielle Funktionen darstellen lässt.

Im Folgenden werde ich mich hauptsächlich nur auf das Studium der harmonischen Bodenbewegungen beschränken, die allerdings am wichtigsten sind. Das allgemeine Problem, die wahre Bodenbewegung während der ganzen Dauer eines Bebens zu erforschen, ist zur Zeit noch eine sehr schwere und mühsame Aufgabe, welche nur in einzelnen Fällen angegriffen worden ist²⁾.

¹⁾ Siehe «Die elektromagnetische Registriermethode». L. c. § 1. Formeln (24) und (25).

²⁾ Man vergleiche z. B.: Померантзефф. «Исследование Страсбургской сейсмограммы»

Legen wir also die Gleichung (6) für die Bodenbewegung zugrunde und gehen zum allgemeinen Integral der Gleichung (4) über.

Dasselbe lautet bekanntlich, wie folgt:

$$\theta = e^{-\varepsilon t} [\Gamma_1 \cos \gamma t + \Gamma_2 \sin \gamma t] + \frac{x_m}{l} \frac{1}{(1+u^2)\sqrt{1-u^2 f(u)}} \sin \{p(t-\tau) + \delta\} \quad (19)$$

Hierin bedeuten:

$$u = \frac{T_p}{T},$$

d. h. das Verhältnis der Periode der Bebenwelle zur Eigenperiode des Pendels ohne Dämpfung. Dies ist die allerwichtigste Grösse bei dieser Art Untersuchungen.

Weiter ist

$$f(u) = \left[\frac{2u}{1+u^2} \right]^2, \dots \dots \dots (20)$$

$$\tau = \frac{T_p}{2\pi} \arctg \left\{ h \frac{2u}{u^2-1} \right\} \dots \dots \dots (21)$$

und

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

Γ_1 und Γ_2 sind zwei Integrationskonstanten, welche von den Anfangsbedingungen der Bewegung unmittelbar abhängen.

Die in der Gleichung (19) vorkommenden Glieder, welche die Exponentialgrösse $e^{-\varepsilon t}$ als Faktor enthalten, hängen von der Eigenbewegung des Pendels unmittelbar ab, während das letzte Glied durch die Bodenbewegung selber bedingt wird.

Will man also den Einfluss der Eigenbewegung des Pendels möglichst eliminieren, so muss ε möglichst gross gewählt werden, d. h. man muss eine sehr starke Dämpfung anwenden, z. B. $\varepsilon = n$ (Grenze der Aperiodizität). Dann verschwinden schon für verhältnismässig kleine Werte von t die beiden ersten Glieder der Gleichung (19) und man braucht nicht mehr sich um die Werte von Γ_1 und Γ_2 zu kümmern. In diesem Falle stellt die Bewegung des Pendels ebenfalls eine harmonische Bewegung dar, mit derselben Periode T_p wie die der betreffenden Erdbebenwelle.

Wird die Pendelbewegung direkt registriert, etwa mechanisch oder

24 июня 1901 года». Comptes rendus des séances de la Commission Sismique Permanente. T. I p. 185.

Arnold. Die Erdbewegung während des ersten Vorläufers eines Erdbebens. Beiträge zur Geophysik. Bd. X, p. 269.

optisch und bedeute y den dem Winkel θ entsprechenden Ausschlag auf der Registriertrommel, so können wir setzen

$$y = L\theta, \dots \dots \dots (22)$$

wo L eine gewisse Länge bedeutet.

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

Es ergibt sich also

$$y = x_m \frac{L}{l} \frac{1}{(1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)}} \sin \{p(t - \tau) + \delta\} \dots \dots \dots (23)$$

Diese Gleichung stellt eine einfache Sinusoide mit der Periode T_p dar.

Bedeute nun y_m die maximale Amplitude dieser Bewegung, immer von der Ruhelage aus gerechnet, so ergibt sich aus der vorigen Gleichung

$$x_m = \frac{l}{L} \cdot (1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)} \cdot y_m \dots \dots \dots (24)$$

Wenn die Grenze der Aperiodizität schon überschritten wird, ist $\epsilon > n$, also $h > 1$ und folglich $\mu^2 < 0$. Dies bedeutet, dass die Eigenbewegung des Pendels sich nicht mehr durch trigonometrische, sondern durch exponentielle Funktionen darstellen lässt. Man wird auch in diesem Fall auf eine Gleichung von der Form der Gleichung (24) geführt, man muss nur in ihr μ^2 negativ annehmen. Die Gleichung (24), resp. (23), behält also für alle Fälle ihre Gültigkeit.

Dieselbe ist die Grundgleichung, mit deren Hilfe man bei Anwendung der üblichen Registrierungsarten die Amplitude x_m der wahren Bodenbewegung berechnen kann. Allein bei der mechanischen Registrierung auf berusstem Papier gestaltet sich die Sache etwas komplizierter aus, da man noch den Einfluss der Reibung des Schreibstiftes in Betracht ziehen muss. Bei der mechanischen Registrierung ist nämlich das Dämpfungsverhältnis, wie es durch die Formel (8) bestimmt ist, nicht mehr eine konstante Grösse. Ausserdem muss die Differentialgleichung (4) noch gewisse spezielle Reibungsglieder enthalten. Das alles erschwert in ganz erheblicher Weise eine genaue Verarbeitung von Seismogrammen zum Zweck der Ableitung der wahren Amplituden der Bodenbewegung. In dieser Hinsicht ist die mecha-

nische Registrierungsart ziemlich mangelhaft, und wenn sie doch so oft angewandt wird, so geschieht dies nur, weil dieselbe im Betrieb sehr billig ist. Von diesen schädlichen Reibungsverhältnissen, welche so viel Unbestimmtes in sich enthalten, wollen wir aber hier völlig absehen und wenn die Pendelbewegungen direkt registriert sein sollen, so soll dies nur auf rein optischem Wege erfolgen.

y_m und die Periode T_p (resp. u) werden direkt aus dem vom Pendel selbst gelieferten Seismogramm entnommen, wobei man sich nur auf solche Teile desselben beschränken muss, welche wirklich einen harmonischen Charakter aufweisen.

l und L sind zwei bekannte Konstanten des Pendels.

Zur Erleichterung dieser Rechnungen habe ich eine Reihe von Tabellen aufgestellt, welche in dem Nachtrag zu dieser Abhandlung gegeben sind.

In der Tabelle II befinden sich die Werte von u für verschiedene Werte von T_p von $T_p = 1^s$ bis $T_p = 40^s$ und zwar für verschiedene Pendelperioden von $T = 10,1$ bis $T = 30,0^s$. Die am Schlusse gegebene Tabelle XVII der proportionalen Teile gestattet eine weitere Interpolation bis auf die Zehntel Sekunden in den Werten von T_p .

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

Mit Hilfe dieser Tabellen lassen sich die Werte von x_m sehr leicht ausrechnen.

Zur weiteren Erleichterung dieser Aufgabe ist noch die Tabelle V beigegeben, die schon die direkten Werte von $\text{Log} U$ angibt, wo

$$U = (1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)} \dots \dots \dots (25)$$

gesetzt wird¹⁾.

Sie ist berechnet für die am häufigsten vorkommenden Werte von μ^2 , nämlich:

für schwach gedämpfte Pendel — von $\mu^2 = 0,90$ bis $\mu^2 = 0,60$, d. h. von $v = 2,85$ bis $v = 13,0$;

für sehr stark gedämpfte Pendel — von $\mu^2 = 0,20$, also $v = 536$, bis $\mu^2 = -0,10$ ($v = \infty$)²⁾.

Dabei ändert sich u von 0,01 bis zu 2,00.

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

¹⁾ Diese Grösse U wird bei einigen Autoren durch \sqrt{S} bezeichnet.

²⁾ Bei diesem Werte von μ^2 ist die Grenze der Aperiodizität ($\mu^2 = 0$, $v = \infty$) schon überschritten.

Die Formel (23) lehrt uns weiter, dass das Maximum y_m auf der Kurve nicht dem Momente des Maximums der Bodenbewegung entspricht, sondern immer τ Sekunden später eintritt.

Diese Zeitverspätung τ wird durch die Formel (21) gegeben. τ hängt nicht nur von T_p , sondern auch von den Pendelkonstanten T und μ^2 unmittelbar ab. (Man vergleiche die Formel (13)).

Daraus ist ein wichtiger Schluss zu ziehen.

Will man die an verschiedenen seismischen Stationen erhaltenen Daten über das Eintreffen gewisser maximaler Bodenbewegungen zum Studium der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Oberflächenwellen anwenden, so darf man *nicht* die Momente der maximalen Amplituden auf den entsprechenden Seismogrammen mit einander vergleichen, da dieselben von den Pendelkonstanten selber abhängig sind, sondern man muss zu den Momenten der entsprechenden Maximen der *wahren* Bodenbewegung zurückgreifen. Es dürften eigentlich nur diese wahren Momente in den seismischen Berichten mitgeteilt werden. Würde diese Zeitverspätung τ ohne Berücksichtigung bleiben, so könnte man, speziell für Stationen, die nicht weit vom Epizentrum sich befinden, zu ganz irrthümlichen Schlüssen geführt werden. Diese Zeitverspätung τ ist keineswegs eine so kleine Grösse, dass sie bei dem jetzigen Stand der Präzisionsseismometrie vernachlässigt werden darf.

Um diese Korrektionsgrösse τ leicht bestimmen zu können, habe ich eine spezielle Tabelle VI für die Werte von $\frac{\tau}{T_p}$ (siehe den Nachtrag) aufgestellt und zwar für verschiedene Werte von μ^2 von $\mu^2 = 0,2$ bis $\mu^2 = 0,9$. Als Argument dient der Wert von u , wo u sich zwischen den Grenzen $u = 0,1$ und $u = 4,0$ ändert.

Wollen wir noch zum Orientierungszwecke sehen, welchen Wert τ unter Umständen erreichen kann.

Nehmen wir als Beispiel ein Horizontalpendel von 30 Sek. Eigenperiode und sei dasselbe sehr schwach gedämpft, z. B. $\mu^2 = 0,90$, also $v = 2,85$.

Die Analyse der Funktion τ (siehe die Gleichung (21)) zeigt, dass τ für $u = 0,804$ Maximum wird, also $T_p = 24,1$. Dies ist eine sehr oft vorkommende Periode der Erdbebenwellen.

Aus der Tabelle VI ergibt sich in diesem Falle $\tau = 8,4$ Sek.

Dies ist schon eine solche Grösse, die keineswegs vernachlässigt werden darf.

Als Vergrößerungsverhältnis \mathfrak{B} des Pendels wollen wir das Verhältnis der maximalen Amplitude auf der Kurve zur maximalen Amplitude der wahren Bodenbewegung bezeichnen.

Dieses ist nach den Gleichungen (24) und (25)

$$\mathfrak{B} = \frac{y_m}{x_m} = \frac{L}{l} \cdot \frac{1}{U} \dots \dots \dots (26)$$

Für unendlich kleine Perioden der Bebenwellen wird $U = 1$ und

$$\mathfrak{B}_0 = \frac{L}{l}.$$

\mathfrak{B}_0 stellt die normale Vergrößerung des Apparates dar, die nur durch die Werte von L und l bedingt ist.

Das Vergrößerungsverhältnis \mathfrak{B} ist eine veränderliche Grösse, die für ein gegebenes Dämpfungsverhältnis (μ^2) und \mathfrak{B}_0 , nur von dem Werte von u abhängig ist.

Diese Veränderlichkeit von \mathfrak{B} ist überhaupt eine unangenehme Eigenschaft der verschiedensten Seismographen, aber sie kann sehr leicht in Betracht gezogen werden.

Es ist nicht nur wünschenswert \mathfrak{B} passend gross zu wählen, um überhaupt die Registrierung schwacher Bodenbewegungen möglich zu machen, sondern auch die Dämpfung, wenn möglich, so zu treffen, damit \mathfrak{B} möglichst konstant bleibt. Diese letztere Forderung ist praktisch unausführbar, denn, wenn für ein gewisses Intervall \mathfrak{B} ziemlich konstant bleibt, so nimmt von einer bestimmten Stelle an mit wachsendem u \mathfrak{B} immer stetig ab.

Für μ^2 etwa gleich 0,67, also $v = \text{ca. } 9,1$, ändert sich \mathfrak{B} wenig zwischen den Werten von $u = 0$ und $u = 1$, aber für grössere Werte von u wird \mathfrak{B} schon bedeutend kleiner.

Die Veränderlichkeit von \mathfrak{B} wird durch den Gang der Funktion

$$U = (1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)} \dots \dots \dots (\text{Siehe Formel (25)})$$

bedingt.

\mathfrak{B} wird Maximum, wenn U Minimum wird.

In diesem letzten Falle ist

$$u = u_m = \sqrt{2\mu^2 - 1} \dots \dots \dots (27)$$

und

$$U = U_m = 2\mu \sqrt{1 - \mu^2} \dots \dots \dots (28)$$

Die Formel (27) zeigt, dass ein Maximum von \mathfrak{B} nur dann vorhanden ist, wenn $\mu^2 > 1/2$, also $v < 23,1$ wird. Für kleinere Werte von μ^2 geht das Maximum verloren und \mathfrak{B} nimmt mit wachsendem u immer stetig ab.

Wir haben früher gesehen, dass es aus theoretischen Gründen sehr wünschenswert ist, um den Einfluss der Eigenbewegung des Pendels selbst möglichst zu eliminieren, die Dämpfung in die Höhe zu treiben, sogar das Pendel in ein aperiodisches Instrument zu verwandeln. Allein hat eine sehr starke Dämpfung (das Kleinwerden von μ^2) den Nachteil, dass die Empfindlichkeit des Seismographen dabei etwas einbüsst, da \mathfrak{B} unter gleichen Bedingungen kleiner wird. Diesen Umstand kann man jedoch völlig beseitigen, wenn man sich der galvanometrischen Registriermethode bedient. Diese Methode besitzt eine solche hohe Empfindlichkeit, dass alles, was man durch die Einführung einer starken Dämpfung verliert, durch die galvanometrische Registrierung wieder reichlich genug zurückgewonnen wird und die Empfindlichkeit des Seismographen fast beliebig gross gemacht werden kann. Dies lässt sich durch die allereinfachsten Mittel erreichen und zwar ohne zu komplizierten Hebelübertragungen zu greifen, und unter Beibehaltung der völligen Freibeweglichkeit des Pendels selbst (keine neuen Reibungsverhältnisse).

Bevor wir jedoch zu der Theorie dieser Registrierungsart, die in der Praxis sich so gut bewährt hat, übergehen, wollen wir, um in dieser Frage besser orientiert zu werden, sehen, wie sich das gewöhnliche Vergrößerungsverhältnis \mathfrak{B} mit wachsendem u bei verschiedenen Werten von μ^2 ändert. Dies ist insofern wünschenswert, um die weiter zu besprechenden Vorteile der galvanometrischen Registrierungsart besser klar zu legen.

Ich werde dabei voraussetzen, dass ich ein Horizontalpendel vor mir habe, dessen Eigenperiode T 12 Sekunden beträgt. Für μ^2 werde ich folgende 5 Werte wählen:

$$\mu^2 = 0,90, \quad \mu^2 = 0,79, \quad \mu^2 = 0,67, \quad \mu^2 = 0,50 \text{ (kritischer Wert)}$$

$$\text{und } \mu^2 = 0 \text{ (aperiodisches Pendel),}$$

also

$$v = 2,85, \quad v = 5,05, \quad v = 9,07, \quad v = 23,1 \text{ und } v = \infty.$$

Ich werde dabei das Vergrößerungsverhältnis für verschiedene Perioden T_p der Erdbebenwellen angeben und zwar von $T_p = 1$ Sek. ($\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_1$) bis $T_p = 40$ Sek. und zwar nicht direkt die Werte von \mathfrak{B} anführen, sondern das Verhältnis \mathfrak{B} zu \mathfrak{B}_1 tabellarisch zusammenstellen¹⁾.

¹⁾ Aus den folgenden Auseinandersetzungen wird es klar sein, warum ich das Verhältnis $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ einführe und nicht etwa $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_0}$, d. h. das Verhältnis von \mathfrak{B} zu dem normalen Vergrößerungsverhältnis \mathfrak{B}_0 für unendlich kleine Wellen. Wir werden in der Tat weiter sehen, dass,

Nach der Formel (26) ist

$$\mathfrak{B} = \frac{L}{l} \cdot \frac{1}{U},$$

somit wird

$$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1} = \frac{U_1}{U}.$$

U_1 unterscheidet sich für verschiedene Werte von μ^2 recht wenig von der Einheit.

Es ist nämlich

μ^2	0,90	0,79	0,67	0,50	0
U_1	0,995	0,996	0,997	1,000	1,007.

Wir können also, um einen Ueberblick über den Gang der Funktion \mathfrak{B} zu gewinnen, annehmen, dass für $T_p = 1^s$ die Empfindlichkeit des Pendels für alle diese Fälle die gleiche ist. Durch eine entsprechend kleine Aenderung des Verhältnisses $\frac{L}{l}$ lässt sich selbstverständlich diese Bedingung streng erfüllen.

Um einen aus der Praxis entnommenen Fall zu haben, wollen wir z. B. $\mathfrak{B}_1 = 200$ annehmen.

In der folgenden Tabelle I sind nun diese Werte von $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ für verschiedene μ^2 zusammengestellt.

Die maximalen Werte von $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ und die entsprechenden Werte von T_p ergeben sich für die ersten vier Fälle auf Grund der Beziehungen (28) und (27).

Es wird nämlich

μ^2	0,90	0,79	0,67	0,50	0
$(T_p)_m$	10,7	9,1	7,0	1 ^s	1 ^s
$\left(\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}\right)_m$	1,658	1,223	1,060	1,000	1,000.

Die Zahlen der Tabelle I lehren uns nun folgendes.

Am Anfang für sehr kleine Perioden ist die Empfindlichkeit aller Pendel gleich gross. Wenn die Periode der Bebenwellen T_p wächst, werden

wenn T_p nur einen kleinen Bruchteil einer Sekunde ausmacht, die galvanometrische Registrier-methode sich als wenig geeignet erweist. $T_p = 1$ Sekunde ist aber wohl etwa die kleinste Periode, die man bei Fernbeben antrifft.

Tabelle I.

$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$

$T_p \backslash \mu^2$	0,90	0,79	0,67	0,50	0,00
1 ^s	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	1,017	1,012	1,006	1,000	0,980
3	1,046	1,032	1,017	0,998	0,948
4	1,088	1,060	1,030	0,994	0,906
5	1,146	1,094	1,044	0,985	0,858
6	1,222	1,134	1,056	0,970	0,806
7	1,314	1,173	1,060	0,947	0,752
8	1,426	1,206	1,054	0,914	0,697
9	1,539	1,222	1,031	0,872	0,644
10	1,635	1,210	0,992	0,822	0,594
11	1,652	1,164	0,936	0,765	0,547
12	1,573	1,087	0,868	0,707	0,504
13	1,406	0,989	0,794	0,649	0,463
14	1,213	0,883	0,719	0,593	0,427
15	1,023	0,780	0,647	0,539	0,393
16	0,866	0,688	0,581	0,491	0,363
17	0,737	0,605	0,521	0,446	0,335
18	0,634	0,536	0,468	0,406	0,310
19	0,550	0,476	0,422	0,371	0,287
20	0,480	0,425	0,382	0,339	0,266
21	0,425	0,381	0,346	0,310	0,248
22	0,378	0,344	0,315	0,285	0,231
23	0,338	0,311	0,288	0,263	0,215
24	0,305	0,283	0,264	0,243	0,201
25	0,277	0,259	0,243	0,225	0,189
26	0,252	0,237	0,224	0,208	0,177
27	0,231	0,219	0,207	0,194	0,166
28	0,212	0,202	0,192	0,181	0,156
29	0,196	0,187	0,179	0,169	0,147
30	0,181	0,174	0,167	0,158	0,139
31	0,168	0,162	0,156	0,148	0,131
32	0,157	0,151	0,146	0,139	0,124
33	0,146	0,142	0,137	0,131	0,118
34	0,137	0,133	0,129	0,124	0,112
35	0,129	0,125	0,121	0,117	0,106
36	0,121	0,118	0,114	0,110	0,101
37	0,114	0,111	0,108	0,105	0,096
38	0,108	0,105	0,102	0,099	0,091
39	0,102	0,099	0,097	0,094	0,087
40	0,096	0,094	0,092	0,090	0,083

die schwächer gedämpften Pendel empfindlicher, aber für grössere Werte von T_p ist der Unterschied in der Empfindlichkeit, die allerdings bei allen Pendeln rasch abnimmt, gar nicht bedeutend.

Wollen wir speziell ein Pendel mit $\mu^2 = 0,79$, welches einem sehr gebräuchlichen Dämpfungsverhältnis $v = 5,05$ entspricht, mit einem aperiodischen Pendel vergleichen. Beide sollen dasselbe \mathfrak{B}_1 haben. Im ungünstigsten Fall wird die Empfindlichkeit des aperiodischen Pendels nur etwa 2 Mal kleiner sein, dagegen für grössere Werte von T_p , die sehr oft bei Beben vorkommen, ist der Unterschied in der Empfindlichkeit gar nicht bedeutend: z. B. bei $T_p = 30^s$ — 1,25 und bei $T_p = 40^s$ nur 1,13 Mal kleiner als bei dem Pendel mit $v = 5,05$.

Man scheint sich überhaupt zu fürchten aperiodische Pendel, die manche so erheblichen theoretischen Vorteile haben, anzuwenden, da man glaubt, dass dabei die Empfindlichkeit der Registrierung zu viel einbüßen wird. Das ist, allgemein gesprochen, gar nicht der Fall, selbst bei Anwendung der mechanischen oder einfachen optischen Registrierungsart. Alles hängt von der Eigenperiode des Pendels selbst (ohne Dämpfung) und der Periode T_p der Bebenwellen ab.

Z. B. ein aperiodisches Pendel von der Eigenperiode $T = 25^s$, etwa wie die, welche ich bei meinen seismometrischen Beobachtungen anwende, wird von $T_p = 16^s$ ab *empfindlicher*, als ein 12-sekundiges Pendel mit dem Dämpfungsverhältnis $v = 5,05$.

Es wird nämlich für dasselbe

T_p	$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$
16 ^s	0,711
20	0,611
25	0,501
30	0,410
35	0,338
40	0,281

Vergleicht man diese Zahlen mit den Werten von $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ für $\mu^2 = 0,79$ der Tabelle I, so sieht man, dass dieses aperiodische Pendel für $T_p = 25$ fast 2 Mal und für $T_p = 40^s$ sogar 3 Mal empfindlicher ist, als das 12-sekundige Pendel, mit dem Dämpfungsverhältnis $v = 5,05$.

Auf diesen Umstand muss man Acht geben, wenn man die Empfindlichkeit verschiedener Pendel mit einander vergleichen will.

Hieran möchte ich noch folgende Bemerkungen anknüpfen.

Man kann sich nämlich folgende Frage stellen. Welches ist nun das

günstigste Dämpfungsverhältnis v , damit die Vergrößerung \mathfrak{B} möglichst konstant bleibt? In dieser Weise gestellt ist diese Frage sinnlos; man muss sofort angeben, zwischen welchen Grenzen von u diese Bedingung gültig sein soll. Für diese Grenzen wollen wir $u = 0$ und etwa $u = u_0$ nehmen.

Nun ist nach den Formeln (26) und (25)

$$\mathfrak{B} = \frac{L}{l} \cdot \frac{1}{U},$$

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

Für $u = 0$ ist $U = 1$ und folglich

$$\mathfrak{B}_0 = \frac{L}{l}.$$

Da \mathfrak{B} , je nach dem Werte von u , grösser oder kleiner als \mathfrak{B}_0 ausfallen kann, so handelt es sich darum, denjenigen Wert von μ^2 zu finden, für welchen zwischen den Grenzen $u = 0$ und $u = u_0$

$$S = \Sigma (\mathfrak{B} - \mathfrak{B}_0)^2$$

Minimum wird.

Es lässt sich diese Summe durch das bestimmte Integral

$$S = \mathfrak{B}_0^2 \cdot \Phi(\mu^2)$$

ersetzen, wo

$$\Phi(\mu^2) = \int_0^{u_0} \left[\frac{1}{U} - 1 \right]^2 du$$

wird.

Dasselbe lässt sich nicht in endlicher Form angeben, da man dabei auf *elliptische* Integrale geführt wird.

Es handelt sich aber darum, denjenigen Wert von μ^2 zu finden, für welchen $\Phi(\mu^2)$ Minimum, also

$$\frac{\partial \Phi(\mu^2)}{\partial \mu^2} = 0$$

wird.

Bildet man nun diesen Ausdruck aus, so ergibt sich

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{\partial \Phi(\mu^2)}{\partial \mu^2} = F(\mu^2) = \int_0^{u_0} \left[\frac{1}{U} - 1 \right] \frac{u^2}{U^3} du = 0.$$

Dieser Ausdruck für $F(\mu^2)$ lässt sich ebenfalls nicht in endlicher Form

angeben, aber man kann immer für ein gegebenes μ^2 und u_0 den numerischen Wert von $F(\mu^2)$ durch einfache Quadraturen bestimmen.

Hat man z. B. für ein gegebenes u_0 zwei benachbarte, um 0,01 sich unterscheidende Werte von μ^2 gefunden, für welche in einem Fall $F(\mu^2) > 0$ und im anderen < 0 ausfällt, so kann man den entsprechenden Wert von μ^2 , wo $F(\mu^2) = 0$ wird, durch einfache Interpolation finden.

So z. B. ergibt sich, indem man für die Quadraturen $\Delta u = 0,1$ setzt und $u_0 = 1$ annimmt,

bei $\mu^2 = 0,66$ $F(\mu^2) = -0,00169$

und

bei $\mu^2 = 0,67$ $F(\mu^2) = +0,00177.$

Daraus ergibt sich $\mu^2 = 0,665$ und das gesuchte Dämpfungsverhältnis¹⁾

$$\underline{v = 9,3.}$$

Für $u_0 = 1,5$ wird $\mu^2 = 0,765$ und $v = 5,7,$

und

für $u_0 = 0,5$ wird $\mu^2 = 0,547$ und $v = 17,4.$

Man kann also nicht allgemein aussagen, wie es zuweilen bei einigen Autoren geschieht, dass das günstigste Dämpfungsverhältnis zwischen 8 und 10 liegt. Dies ist nur dann richtig, wenn man für die Grenzen von u 0 und 1 wählt.

Für eine andere Auswahl der oberen Grenze von u ergibt sich, wie wir eben gesehen haben, ein ganz anderer Wert für das günstigste Vergrößerungsverhältnis \mathfrak{B} .

Die Auswahl der oberen Grenze von u wird jedoch durch die Eigenperiode des Pendels selbst und den Bereich der zu untersuchenden Perioden T_p der Bebenwellen bedingt.

Wenden wir uns jetzt der galvanometrischen Registriermethode zu.

Das entsprechende Galvanometer, von Hartmann & Braun bezogen, ist vom Deprez-D'Arsonval'schen Typus. In dem neueren Modell derselben, welches mir von der eben genannten Firma für seismometrische Zwecke geliefert wird, ist in der Drehspule nur ein System von Windungen vorhanden und die Eigenperiode des Instruments T_1 (ohne Dämpfung) ist möglichst gross gehalten. (T_1 etwa gleich 24 Sekunden).

¹⁾ Siehe die Formeln (15) und (18).

Diese Galvanometer sind ausserordentlich gut gearbeitet und zeichnen sich durch eine besondere Konstanz ihrer Eigenperiode und Nulllage aus.

Die Stärke der Dämpfung hängt bei ihnen von der Grösse des Widerstandes des Drahtes, welcher die äusseren Klemmen verbindet, ab. Wenn ein solches Galvanometer kurz geschlossen wird, so ist es stark aperiodisch. Man kann aber seinen äusseren Widerstand immer so wählen, damit es genau an der Grenze der Aperiodizität sich befindet. Wie dies zu erzielen ist, werden wir im nächsten Paragraphen sehen.

Die Differentialgleichung der Eigenbewegung des Galvanometers lautet bekanntlich:

$$\varphi'' + 2\varepsilon_1 \varphi' + n_1^2 \varphi = 0 \dots\dots\dots(29)$$

Hierin bedeuten:

φ den Winkelausschlag des Galvanometers, ε_1 — die Dämpfungskonstante und

$$n_1 = \frac{2\pi}{T_1} \dots\dots\dots(30)$$

Ist das Galvanometer durch passende Auswahl des äusseren Widerstandes auf die Grenze der Aperiodizität eingestellt, so wird

$$\varepsilon_1 = n_1$$

sein.

Diese Bedingung wollen wir im Folgenden immer als erfüllt ansehen.

Zum Zweck der galvanometrischen Registrierung der Pendelbewegungen werden die Drahtenden der beweglichen Spulen am Pendelarm selbst mit dem Galvanometer leitend verbunden. Die Zuleitungsdrähte sollen jedoch induktionsfrei um einander gewickelt werden, um alle möglichen sekundären Induktionswirkungen auszuschliessen. Im letzten Falle kann man das Galvanometer in einer fast beliebigen Entfernung vom Pendel selbst aufstellen.

Wird nun das Pendel durch irgend welche Bodennruhe in Bewegung versetzt, so werden in den Spulen, die zwischen den Polen zweier permanenter Magnete sich bewegen, elektrische Ströme induziert, die nach den Induktionsgesetzen der Winkelgeschwindigkeit θ' der Pendelbewegung proportional sind, und die sich in den entsprechenden Ablenkungen des Galvanometers äussern. Infolge der grossen Empfindlichkeit dieser Art Galvanometer zeichnet sich diese Registriermethode, wie wir es weiter sehen werden, durch ihre sehr grosse Empfindlichkeit aus. Sie ist an und für sich sehr einfach und bietet in der Praxis keine Schwierigkeiten dar.

Es werden dabei nicht die Ablenkungen des Pendels selbst direkt registriert, sondern die *Geschwindigkeiten* der Bewegung, was bei harmonischen Bodenbewegungen freilich auf dasselbe herauskommt.

Ist nun das aperiodisch gemachte Galvanometer mit dem Pendel elektrisch gekoppelt, so lautet in diesem Fall die Differentialgleichung für die Galvanometerbewegung, wie folgt:

$$\varphi'' + 2n_1\varphi' + n_1^2\varphi + k\theta' = 0 \dots\dots\dots(31)$$

k ist eine konstante Grösse, die ich Uebertragungsfaktor genannt habe. Von der Grösse desselben hängt die Empfindlichkeit der Registrierung unmittelbar ab. k hat die Dimension $\left[\frac{1}{T}\right]$; diese ist einer Zeit umgekehrt proportional.

Es hängt von verschiedenen Grössen ab¹⁾, wie z. B. von der Stärke des Magnetfeldes am Pendel, der Empfindlichkeit des Galvanometers, der Entfernung der Spulen von der Drehungsaxe des Pendels u. s. w. k lässt sich jedoch in sehr einfacher Weise durch besondere Experimente bestimmen, wie es in den §§ 5 und 6 dargelegt wird.

Man kann mit dieser Art Pendel den Wert von k in sehr einfacher Weise gleich 50 machen und durch weitere Annäherung der Pole der entsprechenden Magnete noch mehr in die Höhe treiben.

Infolge der Schwäche dieser induzierten Ströme ist eine Rückwirkung derselben auf die Pendelbewegung, wie spezielle, dazu vorgenommene Versuche es gezeigt haben, nicht zu befürchten.

Setzen wir wiederum eine harmonische Bebenwelle von der Form der Gleichung (6)

$$x = x_m \sin \{pt + \delta\}$$

voraus.

Bestimmt man nun den Wert von θ' aus der Gleichung (19) und bringt denselben in die Gleichung (31) ein, so kann man die Integration dieser Gleichung direkt vornehmen.

Das allgemeine Integral derselben enthält Glieder, die von den Anfangsbedingungen der Bewegung unmittelbar abhängen und welche gewisse Exponentialgrössen als Faktor enthalten. Wenn die Dämpfung genügend stark gewählt wird, verschwinden diese Glieder schon bei verhältnismässig kleinen Werten von t und wir brauchen dieselben, ebenso wie bei der direkten optischen oder mechanischen Registrierungsart, gar nicht zu berücksichtigen.

Es bleibt also für φ nur folgender Ausdruck übrig²⁾.

$$\varphi = k \frac{x_m}{l} \cdot \frac{T_p}{2\pi} \cdot \frac{1}{(1 + u_1^2)(1 + u^2)\sqrt{1 - \mu^2 f(u)}} \sin \{p(t - \tau - \tau_1) + \delta\}. \quad (32)$$

¹⁾ Siehe «Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen». L. c. § 6.

²⁾ Siehe «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa. Zweite Mitteilung». L. c. § 2.

Hierin bedeuten

$$u_1 = \frac{T_p}{T_1} \dots \dots \dots (33)$$

d. h. das Verhältnis der Periode der Bebenwelle zur Eigenperiode des Galvanometers ohne Dämpfung, und

$$\tau_1 = T_p \left\{ \frac{\operatorname{arctg} \frac{2u_1}{u_1^2 - 1}}{2\pi} + \frac{1}{4} \right\} \dots \dots \dots (34)$$

Die Bewegung des Galvanometers wird direkt auf optischem Wege registriert.

Bedeute A_1 die Entfernung des Spiegels am Galvanometer bis zu der Oberfläche der Registriertrommel, die mit lichtempfindlichem Papier bekleidet ist, in der Richtung des normal einfallenden Strahls und y_1 die dem Winkel φ entsprechende Ablenkung des Lichtpunktes von seiner Ruhelage, so wird

$$\varphi = \frac{y_1}{2A_1} \dots \dots \dots (35)$$

Bringen wir diesen Wert von φ in die Gleichung (32) ein, so ergibt sich

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

Diese Gleichung zeigt, dass, wenn die Bodenbewegung einem harmonischen Bewegungsgesetz entspricht, die zugehörige Galvanometerkurve ebenfalls eine einfache Sinusoide darstellt mit genau derselben Periode T_p , wie die der betreffenden Erdbebenwelle. Diese Periode kann also aus der Galvanometerkurve sofort entnommen werden.

Wenn man an denjenigen Stellen eines Galvanometerseismogramms, die ein sinusartiges Aussehen haben, die maximale Amplitude y_m , von der Ruhelage aus gerechnet, misst, so kann man die wahre Amplitude x_m der entsprechenden Bodenbewegung leicht berechnen.

Es ist nämlich

$$x_m = C_1 (1 + u_1^2)(1 + u^2)\sqrt{1 - \mu^2 f(u)} \cdot \frac{y_m}{T_p}, \dots \dots \dots (37)$$

wo

$$C_1 = \frac{\pi l}{kA_1} \dots \dots \dots (38)$$

bedeutet.

C_1 ist eine instrumentelle Konstante, die vorausbestimmt werden kann.

Bei der Ausrechnung von x_m nach der Formel (37) kann man sich derselben früher erwähnten Tabellen II, III und V bedienen. Mit ihrer Hilfe lassen sich alle Rechnungen sehr schnell durchführen.

Die Formel (37) ist die Grundformel für die Berechnung der wahren Amplituden der Bodenbewegungen bei Anwendung der galvanometrischen Registriermethode.

Dieselbe führt zu ganz richtigen Resultaten, und bei Anwendung derselben auf verschiedene sehr stark gedämpfte Horizontalpendel erhält man, wie ich öfters bewiesen habe, für x_m im Allgemeinen recht übereinstimmende Werte¹⁾.

Die Gleichung (36) zeigt ausserdem, dass das x_m entsprechende Maximum y_m auf der Galvanometerkurve immer $\tau + \tau_1$ Sekunden später eintrifft, als die maximale Bodenbewegung. Diese Zeitverspätung soll immer in Betracht gezogen werden.

Zur Berechnung derselben dient erstens die Tabelle VI (siehe den Nachtrag), welche die Werte von $\frac{\tau}{T_p}$ angibt, und ausserdem die Tabelle VII, wo die Werte von $\frac{\tau_1}{T_p}$ zusammengestellt sind.

Ist nun $\tau + \tau_1$ einmal bestimmt, so muss diese Grösse von dem Moment des Maximums auf der Galvanometerkurve abgezogen werden und nur diese korrigierten Werte dürfen in den seismischen Berichten gegeben werden. Man erhält alsdann Resultate, die von den instrumentellen Eigenschaften der betreffenden Seismographen vollkommen frei sind.

Wenden wir uns jetzt der Frage nach dem Vergrösserungsverhältnis \mathfrak{B} bei der galvanometrischen Registriermethode zu.

Aus der Gleichung (37), resp. (38), ergibt sich

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

Um den Gang der Funktion \mathfrak{B} in ihrer Abhängigkeit von T_p , resp. u , besser verfolgen zu können, setzen wir voraus, dass das betreffende Pendel genau auf die Grenze der Aperiodizität eingestellt ist. Wie dies zu erzielen ist, werden wir im § 5 sehen. Dann wird $\mu^2 = 0$ sein.

Ausserdem wollen wir die Eigenperiode des Pendels (ohne Dämpfung) T so einstellen, dass $T = T_1$ wird. Wenn diese Bedingung erfüllt wird, ver-

¹⁾ Man vergleiche: «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa» und dasselbe, Zweite Mitteilung. Auch «Seismometrische Studien». L. c.

einfacht sich in ganz erheblicher Weise die Aufgabe der Bestimmung des Azimuts des Epizentrums nach dem ersten maximalen Ausschlag zweier senkrecht zu einander stehender Horizontalpendel beim Eintreffen der ersten Vorläufer eines Bebens¹⁾. Man muss infolgedessen immer darnach streben, T möglichst gleich T_1 zu machen.

In diesem Fall nimmt die Gleichung (39), wenn wir noch T_p durch uT ersetzen, folgende Form an:

$$\mathfrak{B} = \frac{kA_1}{\pi l} \cdot T \cdot \frac{u}{(1+u^2)^2} \dots \dots \dots (40)$$

Für T wollen wir erfahrungsgemäss etwa 25 Sekunden annehmen.

Für $T_p = 1$ Sek. wird $u = 0,040$ sein und dementsprechend

$$\mathfrak{B}_1 = \frac{kA_1}{\pi l} \cdot 25 \times 0,0399.$$

Für diese Art Pendel ist l etwa gleich 118 m/m ; k kann man gleich 55 nehmen. Nehmen wir für A_1 nur ein Meter, so wird schon

$$\mathfrak{B}_1 = 148.$$

Dies ist der anfängliche Wert von \mathfrak{B} für kurzperiodische Bebenwellen von 1 Sekunde.

Wenn $T_p <$ als 1 Sek. wird, so wird das Vergrößerungsverhältnis kleiner ausfallen, aber solche Wellen kommen in der Praxis bei Fernbeben fast nie vor.

Durch Vergrößerung von A_1 kann man sehr leicht \mathfrak{B}_1 noch grösser machen. Würde man z. B. die Trommeloberfläche des Registrierapparates in einer Entfernung von 1351 m/m vom Spiegel am Galvanometer aufstellen, so würde \mathfrak{B}_1 schon 200 betragen.

Dies ist aber ganz und gar unnütz, da \mathfrak{B} sehr rasch mit wachsendem T_p zunimmt und man für gewöhnlich auftretende Erdbebenwellen ein solches Vergrößerungsverhältnis bekommt, welches allen Forderungen eines höchst empfindlichen Seismographen völlig entspricht. Für starke Beben wird sogar \mathfrak{B} zu gross sein, aber für mittelmässige Beben und zum Zweck der Erforschung der mikroseismischen Bewegungen ist ein solches Vergrößerungsverhältnis äusserst zweckmässig.

¹⁾ Man sehe: «Zur Frage der Bestimmung des Azimuts des Epizentrums eines Bebens». L. c.

Wollen wir nun, wie wir es schon früher für die reine optische oder mechanische Registrierungsart getan haben, die Aenderung des Verhältnisses $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ mit wachsendem T_p , resp. u , näher verfolgen.

Es ist

$$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1} = 25,1 \cdot \frac{u}{(1+u^2)^2} \dots \dots \dots (41)$$

Dieser Ausdruck lehrt, dass, obgleich das Pendel aperiodisch gemacht wird, das Maximum der Funktion $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ nicht verloren geht, wie bei den direkten Registrierungsarten. Das Maximum von $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ entspricht einem Werte von $u = u_m$, wo

$$u_m = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577,$$

also

$$T_p = 14,4$$

wird.

Dies ist eben eine Periode, die sehr oft in der Maximalphase auftritt. In diesem Fall wird

$$\left(\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}\right)_m = 25,1 \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{16} = 8,15.$$

Nehmen wir für \mathfrak{B}_1 den früher gegebenen Wert 148 an, so wird schon

$$\underline{\underline{\mathfrak{B}_m = 1206.}}$$

Wir sehen also, welche enorm grosse Empfindlichkeit diese Seismographen unter Umständen besitzen. Diese grosse Empfindlichkeit lässt sich jedoch mit äusserst einfachen Hilfsmitteln erreichen.

Das maximale Vergrößerungsverhältnis eines schwach gedämpften Pendels mit $v = 5,05$, also $\mu^2 = 0,79$, von 12 Sekunden Eigenperiode, wenn wir \mathfrak{B}_1 für dasselbe schon gleich 200 nehmen werden, würde sich bei gewöhnlicher Registrierungsart nur zu

$$\mathfrak{B}_m = 200 \times 0,996 \frac{1}{2\mu \sqrt{1-\mu^2}} = 245$$

für $u = u_m = \sqrt{2\mu^2 - 1} = 0,762$, also $T_p = 9,1$ Sek. ergeben.¹⁾

Das aperiodische Pendel mit galvanometrischer Registrierung wird also in dieser Hinsicht für das Maximalwerden von \mathfrak{B} ca. 5 Mal empfindlicher sein.

¹⁾ Man vergleiche die Formeln (27) und (28).

Tabelle II.

$$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$$

T_p \ T	25°0'	12°0'
1 ^s	1,00	1,00
2	1,98	1,98
3	2,93	2,70
4	3,82	3,29
5	4,64	3,69
6	5,39	3,90
7	6,04	3,96
8	6,61	3,90
9	7,08	3,75
10	7,46	3,54
11	7,75	3,30
12	7,96	3,05
13	8,09	2,80
14	8,15	2,55
15	8,15	2,32
16	8,09	2,11
17	7,98	1,91
18	7,84	1,73
19	7,66	1,57
20	7,47	1,42
21	7,25	1,29
22	7,01	1,18
23	6,77	1,07
24	6,53	0,98
25	6,28	0,89
26	6,02	0,81
27	5,78	0,75
28	5,53	0,69
29	5,29	0,63
30	5,06	0,58
31	4,83	0,54
32	4,62	0,49
33	4,41	0,46
34	4,20	0,42
35	4,01	0,39
36	3,83	0,37
37	3,65	0,34
38	3,48	0,32
39	3,32	0,30
40	3,17	0,28

Die Vorteile der galvanometrischen Registrierungsart machen sich aber besonders für grössere Perioden der Erdbebenwellen geltend, wie wir es sofort sehen werden.

In der Tabelle II sind nun die verschiedenen Werte des Verhältnisses $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$, nach der Formel (41) berechnet, für eine Eigenperiode des Pendels $T=25$ Sek. und für verschiedene Werte der Wellenperioden von $T_p=1$ Sek. bis $T_p=40$ Sek. zusammengestellt.

Ausserdem, um einen besseren Vergleich mit den Zahlen der Tabelle I zu ermöglichen, sind in der zweiten Kolumne der Tabelle II dieselben Werte von $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ für $T=12$ Sek. angegeben.

Zur Berechnung derselben dient schon die Formel

$$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1} = 12,2 \frac{u}{(1+u^2)^2} \dots\dots\dots (42)$$

Zum Vergleichszweck können wir in allen diesen Fällen \mathfrak{B}_1 etwa gleich 200 annehmen, da dieser Wert, sowohl bei der galvanometrischen Registrierung, als auch bei den mechanischen Registrierungsarten mit Hebelübertragungen, sich ohne besondere Schwierigkeiten herstellen lässt.

Die Zahlen dieser Tabelle zeigen, dass das Verhältnis $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ am Anfang wächst und immer durch ein Maximum hindurchgeht, gerade wie bei schwach gedämpften Pendeln bei Anwendung der gewöhnlichen Registrierungsarten. Für kleine Perioden wächst $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ am Anfang sehr schnell, aber dann, speziell bei einer grossen Eigenperiode des Pendels, ist das Verhältnis $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ keinen sehr grossen Schwankungen unterworfen, und bleibt für ein ziemlich grosses Periodenintervall verhältnismässig ziemlich konstant, jedenfalls viel konstanter, als bei den gewöhnlichen Registrierungsarten. Auch für grössere Werte von T_p , speziell bei $T=25^s$, nimmt $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ ziemlich langsam ab.

So z. B. bei $T=25^s$ und $T=12^s$ ist das Verhältnis von $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ zum maximalen Wert desselben $\left(\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}\right)_m$ bei verschiedenen Perioden T_p das folgende:

T_p	$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1} \cdot \left(\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}\right)_m$	
	$T=25^s$	$T=12^s$
15 ^s	1,00	0,59
20	0,92	0,36
25	0,77	0,22
30	0,62	0,15
35	0,49	0,10
40	0,39	0,07.

1) In diesem Falle wird $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ Maximum und gleich 3,96 für $T_p=6^s$.

Für ein schwach gedämpftes Pendel ($v = 5,05$) ergeben sich nach den Zahlen der Tabelle I bei den gewöhnlichen Registrierungsarten folgende entsprechende Werte:

T_p	$T = 12^s$ ($v = 5,05$)
15 ^s	0,64
20	0,35
25	0,21
30	0,14
35	0,10
40	0,08

Vergleicht man diese Zahlen, so wie die Zahlen der Tabellen I und II mit einander, so erkennt man, dass bei gleichen Werten von \mathfrak{B}_1 , die galvanometrische Methode an und für sich bedeutend empfindlicher ist.

Wenn für eine Eigenperiode von $T = 12^s$ das Verhältnis von $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}$ zu $\left(\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}_1}\right)_m$ für ein aperiodisches Pendel mit galvanometrischer Registrierung und ein schwach gedämpftes Pendel ($v = 5,05$) bei gewöhnlicher Registrierungsart fast identisch ausfallen, so wird schon bei einer Eigenperiode des aperiodischen Pendels von 25^s die Veränderlichkeit dieses Verhältnisses eine weit geringere sein.

Wir sehen also, wie vorteilhaft es ist, für seismometrische Beobachtungen aperiodische Pendel mit langer Schwingungsdauer (ohne Dämpfung) zu benutzen und dabei sich der galvanometrischen Registrierungsart zu bedienen. Man erhält dabei nicht nur eine aussergewöhnliche Empfindlichkeit der Registrierung, sondern das Vergrößerungsverhältnis \mathfrak{B} bleibt an und für sich viel konstanter.

Ich möchte hier noch folgende Bemerkung anknüpfen.

Herr Dr. Geiger¹⁾ hat neulich die Meinung ausgesprochen, dass aperiodische Pendel unvorteilhaft seien, weil das Vergrößerungsverhältnis mit wachsendem T_p immer stetig abnimmt. Das ist an und für sich kein besonderer Nachteil, da dasselbe auch bei periodischen Pendeln stattfindet, wenn das Maximum überschritten wird. Was aber den absoluten Wert von \mathfrak{B} anbelangt, so haben wir schon gesehen, dass auch bei gleichen Werten von \mathfrak{B}_1 ein aperiodisches Pendel von 25 Sek. Eigenperiode von der Wellenperiode $T_p = 16^s$ ab *empfindlicher* wird, als ein schwach gedämpftes Pendel ($v = 5,05$) von 12 Sek. Eigenperiode.

¹⁾ «Seismometrische Beobachtungen in Göttingen, im Jahre 1908». Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch-physikalische Klasse. 1909.

Was speziell diejenigen Pendel, die ich bei meinen seismometrischen Beobachtungen verwende, betrifft, so ist der Einwand Geiger's nicht zutreffend, da ich mich der galvanometrischen Registrierungsmethode bediene, bei welcher *B* immer durch ein Maximum hindurchgeht, gerade wie bei den gewöhnlichen schwach gedämpften Pendeln bei Anwendung der optischen oder mechanischen Registrierungsart.

Wollen wir nun jetzt sehen, welche Daten man aus einem mittelst der galvanometrischen Registriermethode erhaltenen Seismogramm, welches ich zur Abkürzung einfach Galvanometerseismogramm nennen werde, bezüglich eines Bebens ermitteln kann.

Erstens, wegen der grossen Empfindlichkeit dieser Registriermethode, kommt der Einsatz der ersten Vorläufer (*P*) meistens sehr scharf zum Ausdruck. Der entsprechende Moment t_p lässt sich also aus dem Galvanometerseismogramm sehr genau entnehmen. Eine etwaige Zeitkorrektion ist hier nicht nötig, da der Einsatz der Wellen plötzlich erfolgt und vom Galvanometer sofort gekennzeichnet wird.

Was nun den Einsatz der zweiten Vorläufer (*S*) anbelangt, so ist es eine bekannte Tatsache, dass bei manchen Beben, derselbe ziemlich schwer festzustellen ist. Auf jeden Fall lässt sich bei einem Galvanometerseismogramm der Moment des Eintreffens der Wellen der zweiten Vorphase viel besser ermitteln, als bei anderen Registrierungsarten. Es kommen in der Tat Fälle vor, wo in den Berichten anderer seismischer Stationen eine gewisse Ungenauigkeit in dem Moment des Eintreffens von *S* herrscht, oder *S* sogar gar nicht angegeben wird, während auf den Pulkowaer Seismogrammen derselbe sehr deutlich zu erkennen ist. Bei der Bestimmung des Momentes t_s des Eintreffens von *S* muss man jedoch vorsichtig zu Werke gehen, den Gang der Wellen der ersten Vorphase aufmerksam verfolgen und für den Moment t_s diejenige Stelle des Seismogramms nehmen, wo ein plötzlicher heftiger Wellenzug eintritt. In gewissen Fällen muss man selbstverständlich zur leichteren Auffindung von *S* und zur Kontrolle die Lage des Anfanges der langen Wellen, so wie des Hauptmaximums etc. heranziehen. Eine etwaige Zeitkorrektion für t_s ist ebenfalls nicht notwendig. Wegen der grossen Rotationsgeschwindigkeit der Registriertrommel ($30^m/m$ auf eine Minute) und des regelmässigen Ganges derselben lassen sich die Momente t_s und t_p gewöhnlich sehr genau ermitteln. Aus der Differenz der Momente $t_s - t_p$ lässt sich nach den bekannten Laufzeitkurven die Epizentraldistanz Δ bestimmen. Man wird dazu zur Zeit am besten tun, bis bessere Laufzeitkurven veröffentlicht werden, sich der von Prof. Zeissig auf Grund der in den Göttinger Berichten von Dr. Geiger gegebenen Zahlen zusammengestellten

und von der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg herausgegebenen Tabelle der Laufzeitdifferenzen zu bedienen.

Mit Hilfe der galvanometrischen Registriermethode kann man nicht nur, wie üblich, die Epizentralentfernung ermitteln, sondern aus den Angaben einer *einzelnen* seismischen Station die angenäherte Lage der Mitte des Epizentralgebietes bestimmen. Dabei muss man immer im Auge behalten, dass unter Epizentrum keineswegs ein bestimmter Punkt verstanden werden soll, sondern ein mehr oder weniger verbreitetes Hauptstörungsgebiet.

Um die geographischen Koordinaten φ_e und λ_e dieses Epizentrums (als Mitte des Epizentralgebietes aufgefasst) zu bestimmen, muss man noch ausser Δ den entsprechenden wahren Azimut kennen. Mit Hilfe von zwei Horizontalpendeln der hier beschriebenen Art, die die NS- und EW-Komponente der Erdbeben *getrennt* aufschreiben, lässt sich dies ohne Schwierigkeit erzielen, wie ich es mehrmals gezeigt habe¹⁾.

Man misst für beide Komponenten die ersten maximalen Ausschläge an den Galvanometerseismogrammen beim Eintreffen von P . Ich werde dieselben resp. als y_N und y_E bezeichnen. Könnte man aus y_N und y_E die entsprechenden wahren Bodenverschiebungen x_N und x_E bestimmen, so würde, da die Wellen der ersten Vorphase longitudinale Wellen sind, das Verhältnis $\frac{x_E}{x_N}$ sofort uns die Tangente des gesuchten Azimuts α ergeben. Dabei muss man auf das Vorzeichen von x_N und x_E Acht geben, um darüber klar zu werden, ob z. B. die Bodenverschiebung im Meridian etwa nach Norden oder Süden stattgefunden hat u. s. w.

In dem ersten meiner eben zitierten Aufsätze habe ich gezeigt, wie man aus der gemessenen ersten maximalen Amplitude auf dem Galvanometerseismogramm die entsprechende wahre Bodenverschiebung ermitteln kann. In diesem Fall kann man sich *nicht*, obgleich auch hier eine anfängliche harmonische Bodenbewegung vorausgesetzt wird, der früher gegebenen Formel (37) bedienen, da die vom Anfang der Bewegung verflossene Zeit zu klein ist und die Anfangsbedingungen sich schon geltend machen, wodurch die Sache sich viel komplizierter gestaltet. Das Problem vereinfacht sich jedoch in höchst erheblicher Weise, wenn beide Pendel auf dieselbe Eigenperiode T (ohne Dämpfung) eingestellt sind, welche dabei mit den entsprechenden Perioden der Galvanometer T_1 ebenfalls zusammenfällt.

¹⁾ Man vergleiche: «Zur Frage der Bestimmung des Azimuts des Epizentrums eines Bebens».

«Das Erdbeben vom 20/21. Oktober 1909».

«Das Erdbeben vom 22. Januar 1910».

«Sur la détermination de l'épicentre d'un tremblement de terre d'après les données d'une seule station sismique». L. c.

Bei der Aufstellung der Seismographen muss man darnach streben, dieser Bedingung so viel wie möglich Genüge zu leisten, und dabei noch die Pendel möglichst genau auf die Grenze der Aperiodizität einstellen ($\mu^2 = 0$).

Sind diese Bedingungen erfüllt, so lässt sich der gesuchte Azimut sofort ermitteln.

Jedes Pendel wird in seinem Verhalten zu Erdbebenwellen durch die Grösse der Konstante

$$C_1 = \frac{\pi l}{kA_1} \quad (\text{Formel (38)})$$

charakterisiert.

Diese Konstanten wollen wir beziehungsweise durch C_N und C_E bezeichnen.

Dann ergibt sich für α folgender sehr einfacher Ausdruck, nämlich

$$\text{tang } \alpha = \frac{C_E}{C_N} \cdot \frac{y_E}{y_N} \dots \dots \dots (43)$$

Wenn man auf das Vorzeichen von y_E , resp. y_N Acht gibt, lässt sich der gesuchte Azimut völlig eindeutig bestimmen und es herrscht kein Zweifel darüber, aus welchem Quadranten die Erdbebenwellen herkommen.

Wie dies zu erreichen ist, wird aus Folgendem klar werden.

Wollen wir dazu die Bodenverschiebungen im Meridian ins Auge fassen.

Wenn eine plötzliche Bodenverschiebung nach Norden erfolgt, so bewegt sich die Pendelmassse in bezug auf das Pendelgerüst nach Süden. Man braucht also nur beim Aufstellen der Pendel ein für alle Male dem Pendelgewicht einen kleinen Anstoss nach Süden zu geben und nachzusehen, nach welcher Seite (nach der oberen oder unteren Seite des Seismogramms) der Lichtpunkt sich bewegt. Diese Richtung wird also einer Bodenverschiebung nach Norden entsprechen.

Dasselbe soll alsdann für die EW - Komponente wiederholt werden.

Den Bodenverschiebungen nach Norden und Osten lege man das Vorzeichen \rightarrow bei.

Bei meinen Pendeln in Pulkowa sind die Drähte mit dem Galvanometer in der Weise verbunden, dass eine Verschiebung des Lichtpunktes nach dem oberen Teil des Seismogramms (wo der Anfang der Registrierung ist) immer einer Bodenverschiebung nach Norden, resp. Osten entspricht. Würde sich z. B. y_E , resp. x_E , negativ und y_N , resp. x_N , positiv ergeben, so würde das heissen, dass die Bodenverschiebung nach NW erfolgt ist, die seismischen Wellen sind also aus dem SE - lichen Quadranten gekommen.

Dies setzt aber freilich voraus, dass wir beim Eintreffen der Wellen der ersten Vorphase am Anfang mit einer Kompressionswelle zu tun haben.

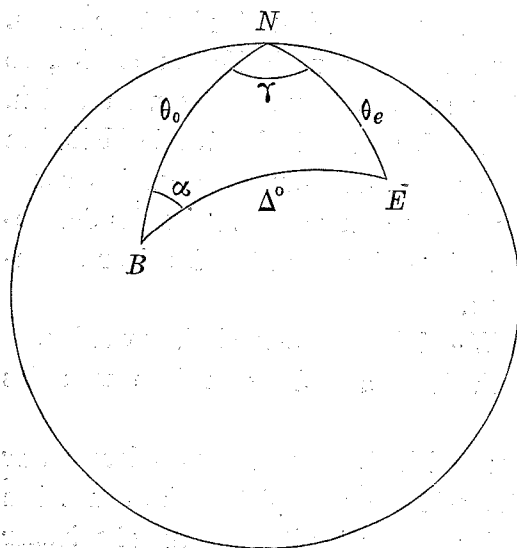
Dies scheint erfahrungsgemäss für entfernte Beben meistens wirklich der Fall zu sein.

Ich muss aber hier sofort bemerken, wie ich es auch früher getan habe, dass zuweilen bei einigen Beben vor dem ersten eigentlichen Ausschlag, der gemessen werden soll, ein kleiner Knick in entgegengesetzter Richtung vorliegt. Das mag wohl dem Einflusse der Pfeiler zuzuschreiben sein. In der Praxis wird man aber bei der Azimutbestimmung diesen Knick ausser Acht lassen und nur den nächstfolgenden wirklichen maximalen Ausschlag in Betracht ziehen.

Hat man also Δ und α erhalten, so lassen sich die geographischen Koordinaten φ_e und λ_e des Epizentrums nach den gewöhnlichen Formeln der sphärischen Trigonometrie sehr leicht bestimmen.

Zuerst soll Δ in Graden ausgedrückt werden. Zu dem Zweck muss man, wenn man den mittleren Erdradius R gleich 6371 Klm. annimmt¹⁾, Δ (in Kilometern ausgedrückt) mit dem Faktor $\frac{180}{\pi} \cdot \frac{1}{R} = 0,008993$ ²⁾ multiplizieren. Dann wird Δ in Graden ausgedrückt sein (Δ°).

Fig. 15.



Ausserdem muss man berücksichtigen, ob α , welches wir von 0 bis 180° zählen werden, dem östlichen oder westlichen Quadranten entspricht.

Auf der Fig. 15 bedeute B den Beobachtungsort und E das Epizentrum. N ist der Nordpol.

Die entsprechenden geographischen Koordinaten der Punkte B und E seien φ_0 , λ_0 und φ_e , λ_e . Die Bebenwellen mögen aus dem östlichen Quadranten herkommen.

Wollen wir nun folgende Bezeichnungen einführen.

$$\theta_0 = 90^\circ - \varphi_0, \quad \theta_e = 90^\circ - \varphi_e, \quad \angle BNE = \gamma.$$

¹⁾ Radius einer Kugel von demselben Volumen wie die Erde.

²⁾ Log 0,008993 = $\bar{3},9589$.

Aus dem Dreieck BNE ergibt sich

$$\cos \theta_e = \cos \theta_0 \cos \Delta^\circ + \sin \theta_0 \sin \Delta^\circ \cos \alpha, \dots \dots \dots (44)$$

woraus θ_e , resp. φ_e sich berechnet.

Ist nun θ_e einmal bekannt, so berechnet sich γ nach der Formel

$$\sin \gamma = \sin \Delta^\circ \frac{\sin \alpha}{\sin \theta_e} \dots \dots \dots (45)$$

Zur Aufhebung der Zweideutigkeit im Werte von γ dient die Formel

$$\cos \gamma = \frac{\cos \Delta^\circ - \cos \theta_0 \cos \theta_e}{\sin \theta_0 \sin \theta_e} \dots \dots \dots (46)$$

Ist γ einmal bestimmt, so wird

$$\lambda_e = \lambda_0 \pm \gamma,$$

je nachdem α dem östlichen oder westlichen Quadranten entspricht.

Man kann auch bekanntlich die vorigen Gleichungen in eine zur Berechnung mit Logarithmen bequemere Form bringen, indem man eine Hilfsgrösse χ einführt.

Es sei

$$\operatorname{tg} \chi = \cos \alpha \operatorname{tg} \Delta^\circ \dots \dots \dots (47)$$

Dann wird

$$\cos \theta_e = \frac{\cos \Delta^\circ \cos (\theta_0 - \chi)}{\cos \chi} \dots \dots \dots (48)$$

und

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \alpha \sin \chi}{\sin (\theta_0 - \chi)} \dots \dots \dots (49)$$

Somit lässt sich die Lage des Epizentrums eines Bebens aus den Angaben einer *einzelnen* Station bestimmen.

Um dies zu erzielen, muss man jedoch über passend ausgerüstete Pendel verfügen.

Da die zu messenden Grössen im Allgemeinen klein sind, müssen die Pendel eine sehr hohe Empfindlichkeit besitzen, wie dies eben bei der galvanometrischen Registrierungsart zutrifft.

Weiter ist eine sehr starke Dämpfung der Pendel sogar bis zur Aperiodizitätsgrenze, sehr wünschenswert, da man erfahrungsgemäss in diesem Fall zu ganz guten Resultaten geführt wird.

Drittens muss die Aufzeichnung der beiden Komponenten der Bodenbewegung von zwei getrennten Apparaten erfolgen, da dieselben ganz und gar *unabhängig* von einander sein sollen. Eine etwaige *mechanische* Zerlegung der Bewegung eines Seismographen in zwei Komponenten muss zum Zweck der Azimutbestimmung weniger günstig sein.

Es lässt sich noch die Formel (43) auf die ersten maximalen Ausschläge bei der zweiten Vorphase S anwenden und man kann dabei gewisse Schlüsse über die Schwingungsebene der Bodenteilchen beim Eintritt der durch das Erdinnere gegangenen transversalen Wellen ziehen, wie ich dies in meinem schon erwähnten Aufsätze «Zur Frage der Bestimmung des Azimuts des Epizentrums eines Bebens» (l. c.) auseinandergesetzt habe.

Eine weitere Analyse der Galvanometerseismogramme gibt den Anfang der langen Wellen (L) und das Ende eines Bebens (F). Es ist aber zuweilen recht schwer, den richtigen Moment für das Eintreffen der L -Wellen genau anzugeben; noch um so mehr kann F nur ganz roh geschätzt werden, da Fernbeben gewöhnlich ganz allmählig abklingen. In der Bestimmung von L und F kann zur Zeit noch sehr viel Willkür herrschen.

Wenden wir uns jetzt der maximalen Phase zu.

Man wird auf dem Galvanometerseismogramm diejenigen Stellen (M) aussuchen, wo die Kurve einen regelmässigen, sinusartigen Charakter aufweist. An diesen Stellen wird die maximale Kurvenamplitude y_m und Periode T_p der Bebenwelle bestimmt, wozu man die am nächsten liegenden Minutenmarken verwenden muss.

Zu diesen Messungen ist es sehr vorteilhaft sich zweier spezieller Glasplatten zu bedienen, die von der Firma Fuess in Steglitz bei Berlin in sehr sorgfältiger Ausführung geliefert werden. Die erste Platte stellt ein auf Glas aufgetragenes, in Millimeter geteiltes Koordinatennetz vor. Die Höhe und Breite derselben beträgt 20 cm.

Die zweite Platte enthält eine durch 8 — 9 cm. lange Linien in einer Ausdehnung von 10 cm. in Millimeter und Centimeter geteilte Fläche, welche in der Mitte in der anderen Richtung durch schräg zusammenlaufende Linien durchsetzt wird, die auf jedem horizontalen Strich je 30 gleiche Intervalle abschneiden. Da die Entfernung der beiden äussersten schrägen Linien an einem Ende $25^m/m$, am anderen aber $35^m/m$ beträgt, so entsteht ein Netz mit ungleich grossen Maschen.

Diese Platte dient zur Sekundeninterpolation für die gegebene Stelle am Seismogramm zwischen zwei benachbarten Minutenmarken.

Zu diesem Zweck stellt man die Platte durch Verschiebung nach oben oder unten so, dass die äussersten Linien mit zwei benachbarten Minuten-

marken zusammenfallen. Man merkt sich die entsprechende Querlinie und verschiebt alsdann die Platte, bis diese Querlinie mit den Scheiteln zweier benachbarter Wellen, die in gleicher Entfernung von der Zeitaxe sein sollen, zusammenfällt. Man zählt alsdann die Anzahl der Striche zwischen diesen zwei Scheiteln. Die Bruchteile schätzt man bis auf 0,1 Teilstrich. Durch Multiplizieren dieser Zahl mit 2 erhält man sofort die gesuchte Periode T_p der entsprechenden Bebenwelle. Ganz besonders bequem ist diese Platte bei der Ausmessung der mikroseismischen Bewegungen I Art, wo man mit einem Mal 2 nebeneinander liegende Wellen misst und auf diese Weise sofort im Mittel die volle Periode hat.

Man soll sich eigentlich bei der Bearbeitung der Registrierungen nicht nur mit den allergrössten Ausschlägen begnügen, sondern möglichst alle regelmässigen und charakteristischeren Stellen eines Seismogramms ausmessen und demzufolge in den Berichten mehrere Amplituden und Perioden für verschiedene M anführen. Dabei muss man für die Momente des Eintreffens dieser verschiedenen M (Umkehrpunkte der Kurve) immer die um die entsprechende Zeitverspätung $\tau + \tau_1$ korrigierten Werte derselben angeben, wie ich es früher auseinandergesetzt habe, und ausserdem noch hinzufügen, nach welcher Richtung die entsprechende Bodenverrückung erfolgt ist, etwa nach Norden oder Süden, resp. Osten oder Westen. Dies letztere kann man durch die Vorzeichen $+$ oder $-$ bezeichnen, indem man der Verschiebung eines Bodenteilchens nach N und E das Vorzeichen $+$ beilegt.

Bei der galvanometrischen Registrierungsart kommt es wegen ihrer ausserordentlich grossen Empfindlichkeit bei starken Beben oft vor, dass die vom Galvanometerspiegel reflektierten Strahlen ausserhalb der horizontalen Zylinderlinse C fallen (siehe die Fig. 14). In diesem Fall erscheint die Galvanometerkurve als scharf abgeschnitten, wie dies auf der folgenden Fig. 16 veranschaulicht wird.

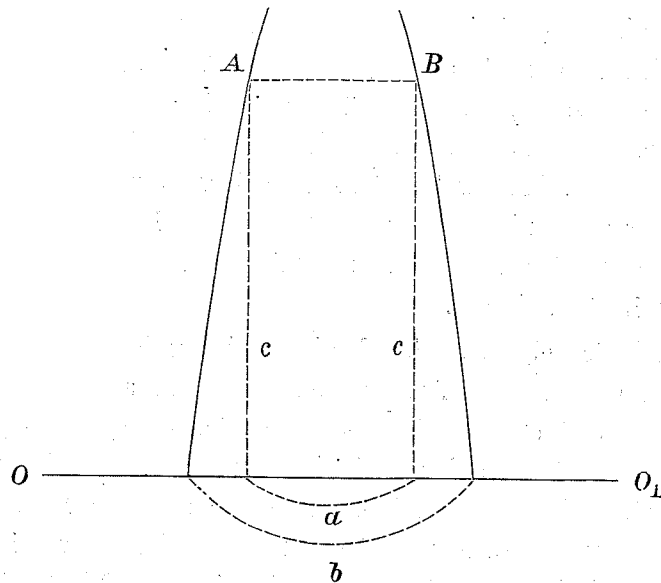
Man kann jedoch auch in diesem Fall die entsprechende maximale Ordinate y_m durch Extrapolation finden¹⁾, wenn man irgend welche zwei Punkte wie A und B in gleicher Entfernung von der Zeitaxe OO_1 wählt und die entsprechenden Längen a und c , so wie auch b misst.

Es wird nämlich

$$y_m = \frac{c}{\sin \left\{ \frac{b-a}{b} \cdot \frac{\pi}{2} \right\}} \dots \dots \dots (50)$$

¹⁾ Man sehe «Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa». L. c. Erdbeben am 4/I 1907.

Fig. 16.



Es ist zweckmässig mehrere zusammengehörige Werte von c und a zu nehmen und aus den erhaltenen Werten von y_m das Mittel zu bilden.

Diese Extrapolation ist aber nur dann zulässig, wenn die Galvanometerkurve an der entsprechenden Stelle wirklich einen sinusartigen Charakter aufweist. Ausserdem darf diese Extrapolation nicht zu weit geführt werden.

Ausser der Bestimmung der verschiedenen Maximen M eignen sich die Galvanometerseismogramme ganz gut zu einem mehr detaillierten Studium der verschiedenen Bebenwellen (Superposition von Wellen etc.). Wenn mehrere weit auseinander liegende Stationen mit ganz ähnlichen Pendeln ausgerüstet würden, könnte man eventuell durch ein eingehendes vergleichendes Studium der erhaltenen Seismogramme zu manchen interessanten Schlüssen bezüglich der Ausbreitungsgeschwindigkeit, Dämpfung etc. der Wellen verschiedener Art gelangen.

Beschränkt man sich aber auf die auf einer und derselben Station erhaltenen Seismogramme, so lassen sich zuweilen für starke Beben gewisse Aufschlüsse über die Ausbreitungsgeschwindigkeit und Dämpfung der Oberflächenwellen gewinnen, wozu die galvanometrische Registrieremethode sich besonders gut eignet. Man findet nämlich zuweilen auf den Seismogrammen die Spuren von Wellen, welche der Maximalphase entsprechen und die vom Herde aus nicht auf dem kürzesten Weg zum Beobachtungsort, sondern durch den Gegenherd gelangt sind. Dies sind die sogenannten W_2 -Wellen.

Die von ihnen auf der Erdoberfläche zurückgelegte Strecke wird gleich $40000 - \Delta$ Kilometer sein.

Ausserdem kann es auch vorkommen, dass die Oberflächenwellen, die auf dem kürzesten Weg angelangt sind und die man W_1 -Wellen zu nennen pflegt¹⁾, noch einmal die Erde umkreisen und bei ihrer Wiederkehr die Seismographen in schwache Bewegung versetzen. Diese sind die sogenannten W_3 -Wellen; die von ihnen von dem Epizentrum aus zurückgelegte Strecke wird gleich $40000 + \Delta$ Kilometer sein.

Gelingt es gewisse Maximen der Hauptphase (W_1 -Wellen) in den W_2 - oder W_3 -Wellenzügen wiederzufinden und zu identifizieren, so kann man die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit V der langen Oberflächenwellen bestimmen.

Es seien t_{m_1} , resp. t_{m_2} und t_{m_3} die Momente des Eintreffens eines und desselben Maximums in den verschiedenen Wellenzügen. Alle diese Momente müssen selbstverständlich um die früher besprochene Zeitverspätung korrigiert werden. Dann wird

$$V = \frac{40000 - 2\Delta}{t_{m_2} - t_{m_1}}, \dots \dots \dots (51)$$

oder

$$V = \frac{40000}{t_{m_3} - t_{m_1}} \dots \dots \dots (52)$$

sein.

Wollen wir nun auch die Amplituden und Perioden dieser Maximen ausmessen und aus ihnen die Amplituden der wahren Bodenbewegung für ein und dasselbe Maximum in den 3 verschiedenen Wellenzügen in der früher angegebenen Weise ableiten. Die entsprechenden Grössen wollen wir durch x_{m_1} , x_{m_2} und x_{m_3} , resp. T_{p_1} , T_{p_2} , T_{p_3} bezeichnen. Erfahrungsgemäss sind T_{p_2} und T_{p_3} gewöhnlich grösser als T_{p_1} , als ob durch die grössere zurückgelegte Strecke die Periode der Bebenwelle sich etwas verlängert hätte.

Man kann nun annehmen, dass die oberflächliche seismische Energie I mit der Grösse der zurückgelegten Strecke s nach einem Exponentialgesetz abnimmt, etwa von der Form

$$I = I_0 e^{-as} \dots \dots \dots (53)$$

a heisst der entsprechende Absorptionskoeffizient, wobei s in Kilometern ausgedrückt werden soll. Nun ist I ceteris paribus dem Quadrate der Geschwindigkeit eines Bodenteilchens, also $\left(\frac{x_m}{T_p}\right)^2$ proportional.

¹⁾ Es sind diese die Hauptwellen eines Seismogramms.

Hat man nun $\left(\frac{x_m}{T_p}\right)^2$ für die W_1 - und für die W_2 - oder W_3 -Wellenzüge einmal bestimmt, so kann man auf Grund der Formel (53) den gesuchten Absorptionskoeffizienten a sehr leicht berechnen.

Es wird nämlich:

für die W_2 -Wellen

$$\frac{\left(\frac{x_{m_2}}{T_{p_2}}\right)^2}{\left(\frac{x_{m_1}}{T_{p_1}}\right)^2} = e^{-a(40000 - 2\Delta)},$$

und für die W_3 -Wellen

$$\frac{\left(\frac{x_{m_3}}{T_{p_3}}\right)^2}{\left(\frac{x_{m_1}}{T_{p_1}}\right)^2} = e^{-a \cdot 40000}.$$

Daraus ergibt sich

$$a = \frac{2}{(40000 - 2\Delta) \text{Log}_{10} e} \left[\text{Log} \frac{x_{m_1}}{x_{m_2}} - \text{Log} \frac{T_{p_1}}{T_{p_2}} \right], \dots \dots \dots (54)$$

oder

$$a = \frac{2}{40000 \cdot \text{Log}_{10} e} \left[\text{Log} \frac{x_{m_1}}{x_{m_3}} - \text{Log} \frac{T_{p_1}}{T_{p_3}} \right] \dots \dots \dots (55)$$

Man kann in der Tat auf diese Weise für gewisse Beben recht übereinstimmende Werte für V und a finden.

So fand ich z. B. für das grosse Messina-Beben am 28/XII 1908¹⁾ im Mittel

$$V = 3,5 \frac{\text{Klm.}}{\text{Sek.}},$$

$$a = 0,00027$$

und für das Isländische Beben am 22/I 1910²⁾

$$V = 3,4 \frac{\text{Klm.}}{\text{Sek.}}$$

und

$$a = 0,00028.$$

Dieser letzte Wert von a sagt aus, dass auf einer Strecke von etwa 2476 Klm. die oberflächliche seismische Energie auf die Hälfte reduziert wird.

¹⁾ Siehe «Das Sicilianische Erdbeben etc.». L. c.

²⁾ Siehe «Das Erdbeben vom 22. Januar 1910». L. c.

Zum Schluss dieses Paragraphen, der der allgemeinen Theorie dieses Seismographen und der Anwendung desselben zur Erforschung von Erdbebenwellen gewidmet ist, wollen wir noch einige Bemerkungen bezüglich der Zeitmarkierung auf dem Registrierapparat hinzufügen.

Bei dem jetzigen Stande der Präzisionsseismometrie kommt es auf eine genaue Zeitbestimmung sehr an. Ein Fehler von nur einer, höchstens zwei Sekunden kann noch in den beiden Vorphasen (*P* und *S*) geduldet werden, aber nicht mehr. Man muss also auf den regelmässigen Gang der Registrierapparate sehr viel Gewicht legen. Aber ausserdem muss man nach einer dichteren Zeitmarkierung von einer guten Uhr streben. Stunden- oder Halbstundenkontakte sollen dazu ungenügend sein, wenn die Registriergeschwindigkeit einigermaassen gross wird. Zur Zeit kann man sich bei guten Registrierwerken mit Minutenkontakten begnügen.

Es ist selbstverständlich, dass man, je öfter die Zeitmarkierung erfolgt, desto genauer die absoluten Momente verschiedener Bebenphasen bestimmen kann, aber man kann auch rein analytisch verfolgen, in welcher Weise die Genauigkeit der Zeitbestimmung wächst, wenn die Zeitmarkierung vervielfältigt wird.

Dies wollen wir auch tun und dabei voraussetzen, dass die Registriertrommel sich nicht absolut regelmässig dreht (was immer der Fall ist), aber jedoch keine plötzlichen, stossweisen Verrückungen erfährt.

Auf der folgenden Fig. 17 seien auf der Abszissenaxe die Zeiten t eingetragen und als Ordinaten z die entsprechenden Verschiebungen eines festen Stiftes längs der Peripherie der drehenden Trommel genommen.

Wenn die Trommel sich vollkommen gleichmässig drehen würde, so würde die Kurve $z = F(t)$ eine Gerade darstellen. Im Allgemeinen bekommt man aber eine Kurve OB_1B_2 , die nach der gemachten Voraussetzung keine Unstetigkeitsstellen haben darf.

Nehmen wir auf der Zeitaxe drei Punkte O , A_1 und A_2 in der Weise an, dass

$$OA_1 = A_1A_2 = \Delta$$

wird und verlegen wir den Anfangspunkt der Koordinaten nach O hin.

Δ bedeutet ein bestimmtes Zeitintervall, sei es 1 Stunde, $\frac{1}{2}$ Stunde, 1 Minute etc., zwischen zwei benachbarten Zeitmarkierungen, wobei der Gang der entsprechenden *Uhr* für das betreffende Zeitintervall als vollkommen richtig angenommen wird.

Sei nun

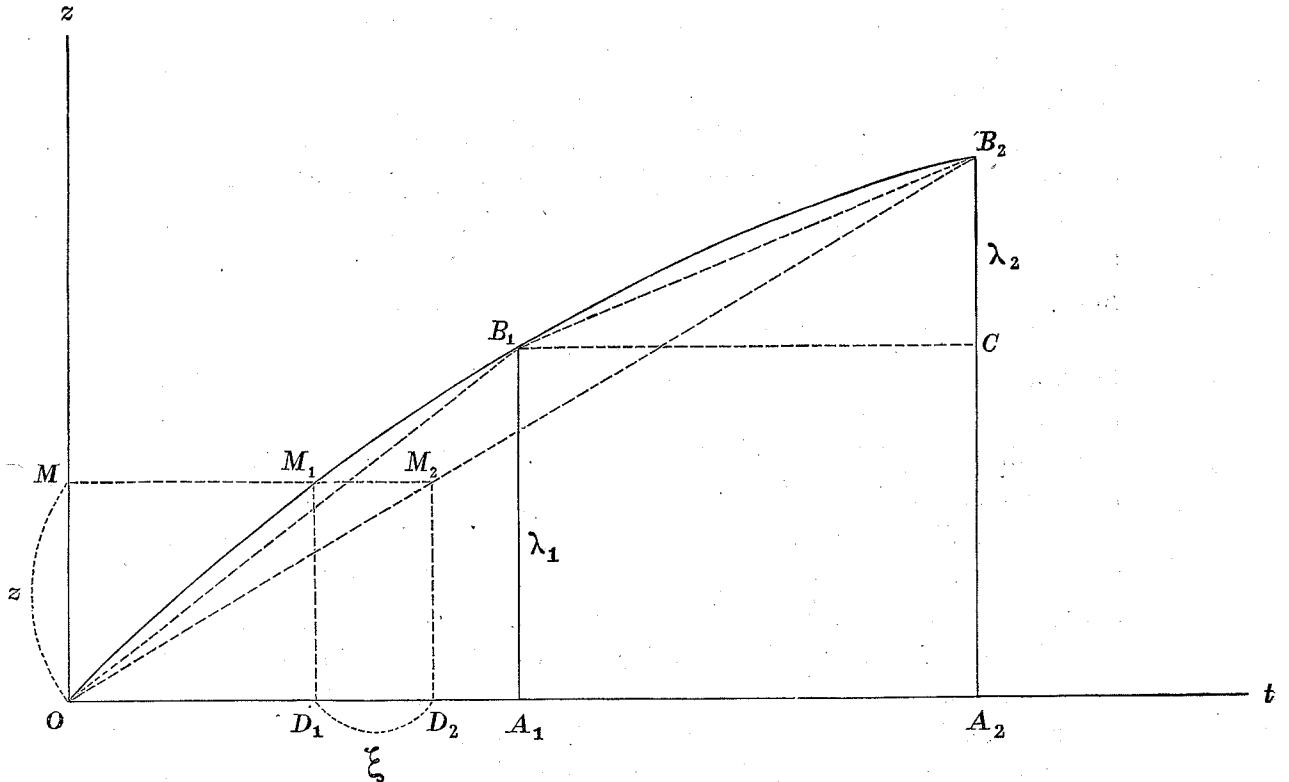
$$A_1B_1 = \lambda_1,$$

$$CB_2 = \lambda_2,$$

und

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \delta \dots \dots \dots (56)$$

Fig. 17.



Dreht sich die Trommel ganz gleichmässig, so wird $\delta = 0$ sein; im Allgemeinen aber ist δ von Null verschieden.

Ist z. B. $\Delta = 1$ Minute, so stellt λ_1 , resp. λ_2 , die Länge je einer Minute dar.

Die Frage steht nun so. Um wieviel verkleinert sich der maximale Fehler in der Zeitbestimmung eines Seismogrammes, wenn die Anzahl der Zeitmarken vergrössert, also Δ kleiner genommen wird?

Es sei nun angenommen, wir hätten nur die Zeitmarken O und A_2 und es wäre am Seismogramm eine Länge $z = OM$ gemessen.

Unter der Voraussetzung, dass zwischen $t = 0$ und $t = 2\Delta$ die Trommel sich regelmässig bewegt, würde man für den entsprechenden Moment

$$t_2 = OD_2$$

bekommen.

In Wirklichkeit ist aber der wahre Moment

$$t_1 = OD_1.$$

Der begangene Fehler in der Zeitbestimmung beträgt also

$$\xi = t_2 - t_1 = D_1 D_2.$$

Wollen wir nun den maximalen Wert von ξ , nämlich ξ_m , aufsuchen.

Die Kurve $OB_1 B_2$ ist freilich nicht bekannt, aber wir können, wenn die Registriergeschwindigkeit und Δ nicht zu gross gewählt werden, in erster Annäherung setzen

$$z = at + bt^2 \dots \dots \dots (57)$$

Für die Konstanten a und b findet man ohne Schwierigkeit mit Rücksicht auf die Beziehung (56) folgende Werte:

$$a = \frac{\lambda_1 + \frac{\delta}{2}}{\Delta} \dots \dots \dots (58)$$

$$b = -\frac{1}{2} \frac{\delta}{\Delta^2} \dots \dots \dots (59)$$

Die Gleichung der Geraden OB_2 wird

$$z = At, \dots \dots \dots (60)$$

wo

$$A = \frac{\lambda_1 - \frac{\delta}{2}}{\Delta} \dots \dots \dots (61)$$

wird.

Wir wollen aber dieselbe für die weitere Analyse in einer allgemeineren Form schreiben, nämlich

$$z = z_0 + At \dots \dots \dots (62)$$

Für OB_2 wird $z_0 = 0$ sein.

Es ist nun z gegeben.

Dann ergibt sich aus den Gleichungen (57) und (60)

$$t_1 = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4bz}}{2b}$$

und

$$t_2 = \frac{z - z_0}{A},$$

also

$$\xi = t_2 - t_1 = \frac{z - z_0}{A} - \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4bz}}{2b}.$$

Bilden wir nun den Ausdruck $\frac{d\xi}{dz}$ und suchen die Wurzel z_m der Gleichung

$$\frac{d\xi}{dz} = 0$$

auf.

Es ergibt sich

$$z_m = \frac{A^2 - a^2}{4b} \dots \dots \dots (63)$$

und für den maximalen Wert von ξ (siehe die Formel (59))

$$\xi_m = \frac{1}{A} \left[\frac{\Delta^2}{2\delta} (A - a)^2 - z_0 \right] \dots \dots \dots (64)$$

Diese sind die allgemeinen Formeln, die wir auf verschiedene Fälle anwenden werden. a , b und δ bleiben immer dieselben und werden durch die Formeln (58), (59) und (56) bestimmt, während A von dem entsprechenden Intervall der Zeitmarkierung abhängig ist.

Ist nun das Intervall zwischen zwei benachbarten Zeitmarkierungen gleich 2Δ (Punkte O und B_2), so ergibt sich auf Grund der vorigen Gleichungen, wenn wir noch zur Vereinfachung folgende Bezeichnung einführen

$$\varepsilon = \frac{\delta}{\lambda_1} \dots \dots \dots (65)$$

Intervall von O bis 2Δ .

$$A = \frac{\lambda_1}{\Delta} \left(1 - \frac{1}{2} \varepsilon \right) \quad z_0 = 0 \quad z_m = \lambda_1 \quad \xi_m = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{1 - \frac{1}{2} \varepsilon} \Delta.$$

Das Zeitintervall soll nun auf die Hälfte reduziert werden und die Zeitmarkierung nach je Δ Minuten erfolgen.

Hier muss man schon zwei Fälle unterscheiden, nämlich, ob t zwischen O und Δ oder zwischen Δ und 2Δ liegt. Die entsprechenden Geraden werden schon OB_1 und B_1B_2 sein.

Man findet ohne Schwierigkeit auf Grund der vorigen Formeln für A , z_0 , z_m und ξ_m folgende Werte:

Zeitintervall.	A	z_0	z_m	ξ_m
Von O bis Δ	$\frac{\lambda_1}{\Delta}$	O	$\frac{1}{2}\lambda_1\left[1 + \frac{1}{4}\varepsilon\right]$	$\frac{1}{8}\varepsilon\Delta$
» Δ » 2Δ	$\frac{\lambda_1}{\Delta}[1 - \varepsilon]$	δ	$\frac{3}{2}\lambda_1\left[1 - \frac{1}{4}\varepsilon\right]$	$\frac{1}{8}\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}\Delta$

Es soll nun die Anzahl der Zeitmarkierungen wiederum zweimal vergrößert werden. Dann wird

Zeitintervall.	$A^1)$	z_0	z_m	ξ_m
Von O bis $\frac{1}{2}\Delta$	$\frac{\lambda_1}{\Delta}\left[1 + \frac{1}{4}\varepsilon\right]$	O	$\frac{1}{4}\lambda_1\left[1 + \frac{3}{8}\varepsilon\right]$	$\frac{1}{32}\frac{\varepsilon}{1 + \frac{1}{4}\varepsilon}\Delta$
» $\frac{1}{2}\Delta$ » Δ	$\frac{\lambda_1}{\Delta}\left[1 - \frac{1}{4}\varepsilon\right]$	$\frac{1}{4}\delta$	$\frac{3}{4}\lambda_1\left[1 + \frac{1}{8}\varepsilon\right]$	$\frac{1}{32}\frac{\varepsilon}{1 - \frac{1}{4}\varepsilon}\Delta$
» Δ » $\frac{3}{2}\Delta$	$\frac{\lambda_1}{\Delta}\left[1 - \frac{3}{4}\varepsilon\right]$	$\frac{3}{4}\delta$	$\frac{5}{4}\lambda_1\left[1 - \frac{1}{8}\varepsilon\right]$	$\frac{1}{32}\frac{\varepsilon}{1 - \frac{3}{4}\varepsilon}\Delta$
» $\frac{3}{2}\Delta$ » 2Δ	$\frac{\lambda_1}{\Delta}\left[1 - \frac{5}{4}\varepsilon\right]$	$\frac{3}{2}\delta$	$\frac{7}{4}\lambda_1\left[1 - \frac{3}{8}\varepsilon\right]$	$\frac{1}{32}\frac{\varepsilon}{1 - \frac{5}{4}\varepsilon}\Delta$

Soll nun weiter das Intervall der Zeitmarkierung auf $\frac{1}{4}\Delta$ reduziert werden, so wird z. B. zwischen $t = 0$ und $t = \frac{1}{4}\Delta$

$$A = \frac{\lambda_1}{\Delta}\left[1 + \frac{3}{8}\varepsilon\right] \quad z_0 = 0 \quad z_m = \frac{1}{8}\lambda_1\left[1 + \frac{7}{16}\varepsilon\right] \quad \xi_m = \frac{1}{128}\frac{\varepsilon}{1 + \frac{3}{8}\varepsilon}\Delta$$

u. s. w.

Diese Analyse lässt sich weiter verfolgen und in zwei Hauptformeln verallgemeinern.

Man findet ohne Schwierigkeit, wenn das Intervall der gleichen Zeitmarkierungen auf $\frac{\Delta}{n}$ reduziert und durch m eine ganze Zahl zwischen O und $2n - 1$ bezeichnet wird, dass im Zeitintervall zwischen

$$t = \frac{m}{n}\Delta$$

und

$$t = \frac{m+1}{n}\Delta$$

1) Bei der Bestimmung von A muss man für $t = \frac{1}{2}\Delta$ und $t = \frac{3}{2}\Delta$ den entsprechenden Wert von z aus der Gleichung (57) entnehmen.

der maximale Fehler ξ_m in der Zeitbestimmung bei

$$z_m = \frac{2m+1}{2n} \lambda_1 \left[1 + \frac{2(n-m)-1}{4n} \varepsilon \right] \dots \dots \dots (66)$$

auftritt, wobei

$$\xi_m = \frac{\varepsilon}{8n^2} \cdot \frac{1}{1 + \left\{ 1 - \frac{2m+1}{n} \right\} \frac{\varepsilon}{2}} \Delta \dots \dots \dots (67)$$

wird.

ε ist im Vergleich zu 1 immer eine kleine Grösse. Man kann also dieselbe im Nenner des vorigen Ausdrucks einfach vernachlässigen.

Dann ergibt sich

$$\xi_m = \frac{\varepsilon}{8n^2} \cdot \Delta \dots \dots \dots (68)$$

Diese Formel sagt aus, dass der maximale Fehler, wenn er für ein bestimmtes Intervall der Zeitmarkierung gleich τ wird, n^2 Mal kleiner ausfällt, wenn die Anzahl der Uhrkontakte n Mal vergrössert wird.

Diese Analyse zeigt also, wie vorteilhaft es ist, eine öftere Zeitmarkierung bei Registrierwerken anzubringen.

§ 3.

Bestimmung der Konstanten des Galvanometers.

Die Grundgleichung der Bewegung des vollkommen freien, also mit dem Pendel nicht gekoppelten Galvanometers, wird durch die Differentialgleichung (29) gegeben.

$$\varphi'' + 2\varepsilon_1 \varphi' + n_1^2 \varphi = 0 \dots \dots \dots (29)$$

Die Eigenperiode desselben T_1 (ohne Dämpfung) ergibt sich nach der Formel

$$T_1 = \frac{2\pi}{n_1} \dots \dots \dots (30)$$

Was nun den Wert der Dämpfungskonstante ε_1 anbelangt, so habe ich in meinem Aufsatz «Die elektromagnetische Registriermethode» (l. c.) schon

bewiesen, dass ε_1 , wenn der bewegliche Galvanometerrahmen nur eine Windungsspule enthält, deren Widerstand gleich ρ ist, und R den äusseren Widerstand des die Galvanometerklemmen K_1 und K_2 (siehe die Fig. 18) verbindenden Drahtes bedeutet, sich durch folgende Formel darstellen lässt:

$$\varepsilon_1 = c_0 + \frac{c}{R + \rho} \dots \dots \dots (69)$$

c_0 und c sind zwei charakteristische Konstanten des Galvanometers.

Bei der Bestimmung derselben verfährt man auf folgende Weise.

Man öffnet zuerst den äusseren Stromkreis ($R = \infty$) und erteilt der Galvanometerspule einen anfänglichen Anstoss. Zu diesem Zweck kann man sich des folgenden Verfahrens bedienen.

Man legt zwischen den Klemmen K_1 und K_2 des Galvanometers G (siehe die Figur 18) einen Nebenschlusskreis K_1ABK_2 mit einer flachen Spule AB und einem Unterbrecher M an.

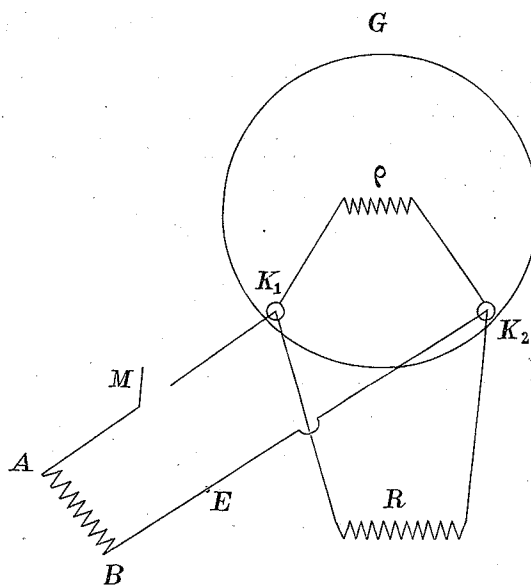
Man schliesst M und legt plötzlich auf die Spule AB den Pol eines stabförmigen permanenten Magneten und öffnet alsdann sofort den Schlüssel M . Dadurch gerät das Galvanometer in Schwingungen und man kann das entsprechende logarithmische Dekrement aus den Beobachtungen entnehmen.

Beim Wegnehmen des Magneten (bei geschlossenem M) kann man einen Anstoss in entgegengesetzter Richtung erteilen.

Man kann aber in einer anderen und bequemeren Weise verfahren.

Man nimmt die flache Spule und den Schlüssel M einfach weg, lässt die beiden Enden A und B frei und fügt etwa in E ein Trockenelement ein. Greift man dann die Enden A und B mit den Fingern an, so geht ein schwacher Strom durch das Galvanometer hindurch, und, indem man die Drahtenden stärker oder leichter presst, kann man die Grösse des anfänglichen Ausschlages nach Belieben regulieren.

Fig. 18.



Vor dem Galvanometerspiegel wird in 1 Meter Entfernung¹⁾ ein Fernrohr mit Skala aufgestellt. Man stellt den Nullpunkt richtig ein und beobachtet alsdann die nacheinander folgenden Ausschläge des Galvanometers rechts und links. Dieselben wollen wir durch m_k ²⁾ bezeichnen und immer positiv annehmen.

Wäre m_k wirklich den entsprechenden Winkelausschlägen φ_k proportional, so würde das Verhältnis

$$v_1 = \frac{m_k}{m_{k+1}}$$

irgendwelcher zweier nacheinander folgender Ausschläge das Dämpfungsverhältnis v_1 des Galvanometers darstellen (siehe die Formel (8)).

Das entsprechende logarithmische Dekrement Λ_1 wäre also

$$\Lambda_1 = \text{Log}_{10} v_1.$$

In Wirklichkeit aber ist m_k für grössere Ausschläge nicht vollkommen proportional zu φ_k und es muss von jedem m_k eine gewisse Korrektur Δm_k abgezogen werden.

Dieselbe wollen wir jetzt aufsuchen.

Bezeichnen wir, um einen allgemeineren Fall zu haben, die Entfernung des Spiegels von der Skala durch D_1 , so wird

$$\text{tg } 2\varphi_k = \frac{m_k}{D_1}$$

sein.

Hieraus ergibt sich

$$\varphi_k = \frac{1}{2} \text{arctg } \frac{m_k}{D_1},$$

oder

$$\varphi_k = \frac{1}{2} \left[\frac{m_k}{D_1} - \frac{1}{3} \frac{m_k^3}{D_1^3} + \frac{1}{5} \frac{m_k^5}{D_1^5} - \frac{1}{7} \frac{m_k^7}{D_1^7} \right] \dots \dots \dots (70)$$

Wenn m_k klein ist, wird

$$\varphi_k = \frac{1}{2} \frac{m_k}{D_1}$$

und m_k proportional zu φ_k sein; für grössere Werte von m_k können wir aber setzen

$$\varphi_k = \frac{1}{2} \frac{m_k - \Delta m_k}{D_1}, \dots \dots \dots (71)$$

1) Entfernung des Spiegels von der Skala.

2) k ist eine Reihenfolgennummer.

wo Δm_k folgende Bedeutung hat:

$$\Delta m_k = \frac{1}{3} \frac{m_k^3}{D_1^2} - \frac{1}{5} \frac{m_k^5}{D_1^4} + \frac{1}{7} \frac{m_k^7}{D_1^6} \dots \dots \dots (72)$$

Zur Bestimmung von Δm_k habe ich nach der Formel (72) eine spezielle Tabelle für $D_1 = 1000 \text{ m/m}$ zusammengestellt. Siehe die Tabelle VIII im Nachtrag. (Die entsprechenden Grössen sind dort durch m und Δm bezeichnet.)

In derselben befinden sich in der ersten Kolumne die Werte von m_k und in der zweiten die zugehörigen Werte von Δm_k .

Diese Tabelle reicht bis $m_k = 400 \text{ m/m}$. Dies ist die gewöhnliche Länge der halben Skala.

Es fragt sich aber, sind solche grossen Ausschläge für die Beobachtungen noch zulässig?

$m_k = 400 \text{ m/m}$ bei $D_1 = 1000 \text{ m/m}$ entspricht einem Winkel $\varphi_k = 10^\circ 54'$.

Nun ist die ganze Theorie dieses Seismographen unter der Voraussetzung ausgebildet, dass die Winkelausschläge θ (beim Pendel) und φ (beim Galvanometer) verhältnismässig klein sind, so dass man $\sin \varphi$ durch φ und $\cos \varphi$ durch 1 ersetzen kann.

In erster Annäherung ist

$$\cos \varphi = 1 - \frac{1}{2} \varphi^2.$$

Für $\varphi = 10^\circ 54'$ ergibt sich $\frac{1}{2} \varphi^2 = 0,018$.

Der begangene Fehler wird also kleiner als 2% ausfallen. Für diese Genauigkeitsgrenze sind also solche Ausschläge noch zulässig, aber es wird besser sein, wenn bei diesen und ähnlichen Beobachtungen (siehe weiter unten) m_k 300 m/m nicht übersteigt.

Wir werden also von hier ab immer voraussetzen, dass alle Werte von m_k um die entsprechende Grösse Δm_k korrigiert sind.

Zur Bestimmung von v_1 , resp. Λ_1 wird man am besten tun, nicht direkt das Verhältnis zweier benachbarter Ordinaten $\frac{m_k}{m_{k+1}}$ zu bilden, sondern, um von der etwaigen unrichtigen Lage des Nullpunktes möglichst frei zu werden, das Verhältnis der Summen benachbarter Ordinaten zu bestimmen, also etwa

$$v_1 = \frac{m_k + m_{k+1}}{m_{k+1} + m_{k+2}}.$$

Sind nun i verschiedene Ordinaten gemessen, so erhält man $i - 2$ einzelne Werte von $\Lambda_1 = \log v_1$, aus welchen man dann das Mittel bilden kann.

Man kann aber auch nur die erste und letzte Summe in Betracht ziehen und Λ_1 nach der folgenden Formel berechnen

$$\Lambda_1 = \frac{\text{Log}(m_1 + m_2) - \text{Log}(m_{i-1} + m_i)}{i - 2} \dots \dots \dots (73)$$

Dies kommt freilich auf dasselbe heraus, da im vorigen Falle bei der Bildung des arithmetischen Mittels alle mittleren Werte von Λ_1 sich gegenseitig aufheben. Es lohnt sich aber die einzelnen Werte von Λ_1 auszurechnen, um ein Urteil zu gewinnen, inwieweit die Beobachtungen selber zuverlässig sind. Man wird dabei Λ_1 bis auf die Einheit der vierten Dezimale ausrechnen.

Bei der Bestimmung von Λ_1 bei offenem Stromkreis ($R = \infty$) wird man zugleich mit einem guten Sekundenzähler die Eigenperiode des Galvanometers für diesen Fall T_1' möglichst genau bestimmen.

Hat man nun Λ_1 und T_1' bei $R = \infty$ erhalten, so lässt sich, unter Berücksichtigung der Beziehung $n_1 = \frac{2\pi}{T_1}$, die Eigenperiode des Pendels T_1 (ohne irgend welche Dämpfung) und der entsprechende Wert von ϵ_1 nach den früher angegebenen Formeln (11) und (16) berechnen.

Es wird nämlich

$$T_1 = \frac{T_1'}{\sqrt{1 + 0,53720\Lambda_1^2}} \dots \dots \dots (74)$$

und

$$\epsilon_1 = 4,6052 \frac{1}{T_1} \cdot \frac{\Lambda_1}{\sqrt{1 + 0,53720\Lambda_1^2}} \dots \dots \dots (75)$$

Zur Erleichterung dieser Rechnungen befindet sich im Nachtrag zu dieser Abhandlung die Tabelle IX, wo die Werte von $\text{Log} \sqrt{1 + 0,53720 \Lambda_1^2}$ und zwar von $\Lambda_1 = 0,001$ bis zu $\Lambda_1 = 0,800$, was etwa einem Dämpfungsverhältnis 6,3 entspricht, zusammengestellt sind. Die Korrektion für die vierte Dezimale im Werte von Λ_1 wird man durch Interpolation finden unter Anwendung der am Schluss sich befindenden Tabelle XVII der proportionalen Teile.

Nach der Formel (69) wird in diesem Fall für $R = \infty$ einfach

$$\epsilon_1 = c_0$$

sein.

Die erste Konstante des Galvanometers c_0 ist also bekannt.

Zur Bestimmung von c verfährt man weiter, wie folgt.

Man schliesst den äusseren Stromkreis des Galvanometers durch einen bekannten Widerstand R^1), erteilt dem Galvanometer in der früher an-

1) Der Widerstand der Zuleitungsdrähte ist, wenn nötig, zu berücksichtigen.

gegebenen Weise einen Anstoss und bestimmt das entsprechende logarithmische Dekrement Λ_1 . Aus der Formel (75) findet man dann, da T_1 jetzt bekannt ist, den entsprechenden Wert von ε_1 .

Dann wird

$$c = (\varepsilon_1 - c_0)(R + \rho) \dots \dots \dots (76)$$

Indem man diese Beobachtungen bei verschiedenen R wiederholt, erhält man eine Reihe der Werte von c , aus welchen man dann das Mittel bilden kann.

Bei der Auswahl von R muss man so vorgehen, dass Λ_1 nicht zu klein und auch nicht zu gross ausfällt, sonst wird die Bestimmung von c ungenau. Man wähle für v_1 Werte etwa zwischen 1,5 und 6.

Sind nun die beiden Galvanometerkonstanten einmal bestimmt, so kann man sofort den Widerstand R_a des äusseren Stromkreises berechnen, für welchen das Galvanometer genau an der Grenze der Aperiodizität sich befinden wird.

Es muss in diesem Fall

$$\varepsilon_1 = n_1$$

sein, also

$$R_a = \frac{c}{n_1 - c_0} - \rho \dots \dots \dots (77)$$

Bei diesen Galvanometern von Hartmann und Braun erweist sich die Eigenperiode T_1 , resp. n_1 , als sehr konstant.

Erfahrungsgemäss werden die Konstanten c_0 und c sehr wenig von Temperaturänderungen beeinflusst. Wir können also die Grösse $\frac{c}{n_1 - c_0}$ als konstant betrachten.

Was nun den Widerstand von Kupferdrähten anbelangt, so wächst derselbe etwas mit dem Steigen der Temperatur, wobei der Temperaturkoeffizient für praktische Zwecke gleich 0,004 gesetzt werden kann. Also

$$R_t = R_0 [1 + 0,004t] \dots \dots \dots (78)$$

Beim Aufstellen des Seismographen muss man immer von der mittleren Temperatur des zu benutzenden Beobachtungsraumes Rechenschaft tragen und dafür sorgen, dass dieselbe möglichst kleinen Tages- und Jahresschwankungen ausgesetzt ist. Auf diese mittlere Temperatur müssen alle Widerstände reduziert werden. Dies wollen wir als erfüllt voraussetzen.

Nun sei R_s der Widerstand der Induktionsspulen beim Pendel und r der Widerstand der Verbindungsdrähte zwischen Pendel und Galvanometer.

R_s muss immer so gewählt werden, damit

$$R_s < R_a$$

sei, um einen Ueberschuss für die Verbindungsdrähte frei zu haben.

Die für diese mittlere Temperatur zutreffende Bedingung ist

$$R_s + r = R_a \dots \dots \dots (79)$$

Die Verbindungsdrähte müssen, wegen der gewöhnlich an seismischen Stationen herrschenden Feuchtigkeit, sehr gut isoliert werden. Solche Drähte sind kostspielig, aber man braucht nicht den ganzen Widerstand r aus einem solchen Draht zu nehmen. Man legt den zur Verbindung der Instrumente nötigen Draht an; sein Widerstand sei r_1 , und den fehlenden Anteil

$$r_2 = r - r_1$$

kann man sich schon aus einem dünnen und billigen Draht in der Form einer induktionsfrei gewickelten Spule anfertigen, die man vor dem Gebrauch mit Paraffin tränkt und überzieht.

Zur Erläuterung der Frage der Bestimmung der Galvanometerkonstanten c_0 und c werde ich jetzt ein vollständiges aus der Praxis entnommenes Beispiel anführen.

Es gehört dem Galvanometer № VI an, welches mit dem Pendel № IV auf der Sternwarte zu Paris neulich aufgestellt worden ist.

I) $R = \infty$.

m_k (korrigiert)	$m_k + m_{k+1}$	$\text{Log } \{m_k + m_{k+1}\}$	Δ_1
133,9 m/m	258,1 m/m	2,4118	
124,2	240,8	2,3817	0,0301
116,6	224,5	2,3512	0,0305
107,9	209,5	2,3212	0,0300
101,6	195,5	2,2912	0,0300
93,9	182,6	2,2615	0,0297
88,7	170,5	2,2317	0,0298
81,8	159,3	2,2022	0,0295
77,5	148,8	2,1726	0,0296
71,3	139,0	2,1430	0,0296
67,7			

Im Mittel $\Delta_1 = 0,0299$.

m_k	$m_k + m_{k+1}$	$\text{Log } \{m_k + m_{k+1}\}$	Λ_1
51,4 m/m	98,4 m/m	1,9930	
47,0	92,0	1,9638	0,0292
45,0	86,0	1,9345	0,0293
41,0	80,1	1,9036	0,0309
39,1	74,8	1,8739	0,0297
35,7	69,9	1,8445	0,0294
34,2	65,2	1,8142	0,0303
31,0	61,0	1,7853	0,0289
30,0	57,0	1,7559	0,0294
27,0	53,2	1,7259	0,0300
26,2			

Im Mittel $\Lambda_1 = 0,0297$.

Gesamtmittel $\Lambda_1 = 0,0298$, $v_1 = 1,07$.

Es ergab sich ausserdem $T_1' = 24,69$.

Dementsprechend wird also

$$T_1 = 24,68$$

$$n_1 = 0,2546$$

und

$$\epsilon_1 = c_0 = 0,00556^1).$$

1) Nach der Formel (75) berechnet.

II) $R = 160 \Omega$.

m_k (korrigiert)	$m_k + m_{k+1}$	$\text{Log } \{m_k + m_{k+1}\}$	Λ_1
207,7 m/m	327,2 m/m	2,5148	
119,5	188,3	2,2749	0,2399
68,8	108,6	2,0358	0,2391
39,8	62,7	1,7973	0,2385
22,9	36,0	1,5563	0,2410
13,1			
		Im Mittel	0,2396
222,5	350,9	2,5452	
128,4	202,2	2,3058	0,2394
73,8	116,65	2,0669	0,2389
42,85	67,20	1,8274	0,2395
24,35	38,55	1,5860	0,2414
14,2			
		Im Mittel	0,2398

Gesamtmittel $\Lambda_1 = 0,2397$, $v_1 = 1,74$.

$\epsilon_1 = 0,04406$.

III) $R = 80 \Omega$.

m_k (korrigiert)	$m_k + m_{k+1}$	$\text{Log } \{m_k + m_{k+1}\}$	Λ_1
134,2 m/m 48,0 16,0	182,2 m/m 64,0	2,2606 1,8062	0,4544
			0,4544
319,8 112,3 39,0 14,0	432,1 151,3 53,0	2,6356 2,1798 1,7243	0,4558 0,4555
		Im Mittel	0,4557
352,9 123,3 43,9 14,6	476,2 167,2 58,5	2,6778 2,2232 1,7672	0,4546 0,4560
		Im Mittel	0,4553

Gesamtmittel $\Lambda_1 = 0,4551$, $v_1 = 2,85$.

$\varepsilon_1 = 0,08056$.

IV) $R = 50 \Omega$.

m_k (korrigiert)	$m_k + m_{k+1}$	$\text{Log} \{m_k + m_{k+1}\}$	Λ_1
302,9 m/m 55,0 8,9	357,9 m/m 63,9	2,5538 1,8055	0,7488
332,2 58,3 11,9	390,5 70,2	2,5916 1,8463	0,7453
80,3 15,6 1,8 ¹⁾	95,9 17,4	1,9818 1,2405	0,7413
354,0 64,1 10,9	418,1 75,0	2,6213 1,8751	0,7462

Gesamtmittel $\Lambda_1 = 0,7453$, $v_1 = 5,56$.

$$\varepsilon_1 = 0,1220.$$

Für den Widerstand des Galvanometers ergab sich

$$\rho = 4,12 \Omega \quad (\text{bei } 19^\circ \text{C}).$$

Auf Grund der vorigen Zahlen lassen sich nach der Formel (76) folgende Werte von c berechnen.

1) Man darf eigentlich nicht solche kleinen Werte von m_k nehmen

$R + \rho$	Λ_1	ε_1	c
164,12 Ω	0,2397	0,04406	6,320
84,12	0,4551	0,08056	6,310
54,12	0,7453	0,1220	6,300

Im Mittel $c = 6,310$.

Da ausserdem

$$c_0 = 0,00556$$

und

$$n_1 = 0,2546$$

ist, so ergibt sich für den äusseren Widerstand R_a , bei welchem das Galvanometer genau an der Grenze der Aperiodizität sich befinden wird,

$$R_a = 21,22 \Omega \quad (\text{bei } 19^\circ \text{ C}).$$

Wäre das Galvanometer in sich selbst kurz geschlossen, so würde dasselbe schon stark aperiodisch sein.

Für $R = 0$ würde nämlich

$$\varepsilon_1 = 1,5371$$

und

$$h = \frac{\varepsilon_1}{n_1} = 6,037$$

sein.

Für ein anderes Galvanometer № VII ergaben sich z. B. folgende Werte:

$$c_0 = 0,00538$$

$$T_1 = 24,59$$

$$n_1 = 0,2556$$

$$\rho = 4,12 \Omega \quad (\text{bei } 19^\circ \text{ C}).$$

$R + \rho$	Λ_1	ε_1	c
164,12 Ω	0,2490	0,04589	6,648
114,12	0,3507	0,06362	6,647
84,12	0,4765	0,08423	6,638
54,12	0,7917	0,1283	6,653

Im Mittel $c = 6,647$.

Daraus ergibt sich

$$R_a = 22,44 \Omega \quad (\text{bei } 19^\circ \text{C}).$$

Die Bestimmung der Konstanten des Galvanometers bietet also keine Schwierigkeiten dar und lässt sich in sehr einfacher Weise durchführen.

Für die Praxis, bei Anwendung des Galvanometers für seismometrische Zwecke, kann man die Eigenperiode desselben (ohne Dämpfung) T_1 auf 0,1 Sekunde abrunden.

§ 4.

Bestimmung der Pendelkonstanten n und λ .

Die Bestimmung der Pendelkonstante n , die in der Grunddifferentialgleichung (4) der Pendelbewegung vorkommt, geschieht auf Grund der Formel (11)

$$n = \frac{2\pi}{T'} \sqrt{1 + 0,53720 \Lambda^2} \dots \dots \dots (11)$$

Zu dem Zweck muss man die Magnete so weit wie möglich auseinander-schieben und ausserdem noch die Pole mit einer Eisenplatte in sich schlies-sen, dem Pendel einen kleinen anfänglichen Anstoss erteilen¹⁾ und in der früher angegebenen Weise die Eigenperiode T' und das entsprechende loga-rithmische Dekrement Λ bestimmen.

Dazu benutzt man wieder ein Fernrohr mit Skala, die ebenfalls in 1 Meter Entfernung von dem kleinen Spiegel, der am Pendel in der Nähe seiner Drehungsaxe befestigt ist, aufgestellt sein muss. Da in diesem Fall die Dämpfung sehr schwach ist, so wird der Einfluss derselben auf die Pendelperiode eine ganz minimale sein.

Hat man nun n bestimmt (man benutze dazu die Tabelle IX), so be-kommt man nach der Formel (2) sofort die Eigenperiode des Pendels T ohne Dämpfung ($T = \frac{2\pi}{n}$).

Bei der endgültigen Aufstellung des Pendels für seismometrische Zwecke muss man durch Drehung einer der Fusschrauben am Pendelgestell ver-suchen, T möglichst gleich der Eigenperiode des Galvanometers (ohne Dämpfung) T_1 zu machen.

¹⁾ Man nimmt dazu ein Stückchen Papier.

Man wird jedoch nicht den so bestimmten Wert von T bei der Auswertung der Seismogramme zugrunde legen, sondern denjenigen, welcher sich ergibt, wenn die Magnete schon an einander geschoben sind und das Pendel fast aperiodisch ist. Dies ist unbedingt notwendig, da bei der Annäherung der Magnetenpole die Eigenperiode des Pendels (resp. die Konstante n) sich etwas ändern kann.

Wenn aber die Magnete schon nah an einander gebracht sind, so kann man die Eigenperiode des Pendels T (ohne Dämpfung) nicht mehr direkt bestimmen, da die Bewegung des Pendels, durch das Fernrohr gesehen, wirklich einem aperiodischen Gesetz zu folgen scheint.

Man muss sich dazu eines besonderen Verfahrens bedienen, welches erst im nächsten Paragraphen ausführlich besprochen wird.

Dieses Verfahren ist sehr empfindlich und gibt recht vertrauenswürdige Zahlen für die gesuchte Eigenperiode T .

Die Eigentümlichkeit dieser Methode besteht darin, dass sie ermöglicht, die Eigenperiode (ohne Dämpfung) des Pendels zu bestimmen, wenn dasselbe schon aperiodisch gemacht ist.

Die früher besprochene Bestimmung der Pendelperiode aus Schwingungsbeobachtungen dient nur dazu, eine vorläufige Synchronisation des Pendels und des Galvanometers zu erzielen. Man wird jedoch in der Praxis nie erreichen können, dass T ganz genau gleich T_1 wird. Dies ist aber auch gar nicht nötig, wenn nur die Differenz $T - T_1$ nicht einige Zehntel Sekunden übersteigt.

Man muss aber immer darnach streben $T - T_1$ möglichst klein zu machen, was für die richtige Bestimmung des Azimuts eines Epizentrums eine sehr wesentliche Bedingung ist.

Gehen wir jetzt zur Bestimmung der reduzierten Pendellänge l über. Dieselbe wird durch die Formel (3) gegeben

$$n^2 = \frac{g^i}{l}, \dots \dots \dots (3)$$

wo i die Neigung der Drehungsaxe des Pendels in bezug auf die Vertikale und g die Beschleunigung der Schwere bedeutet.

Es ist unmöglich i direkt zu bekommen, aber die Änderung von i , nämlich Δi , kann sehr genau ermittelt werden. Dazu verwendet man den festen Spiegel, der an einem kleinen Stift an der Grundplatte des Pendels angebracht ist. Demselben gegenüber stellt man in der Entfernung von einigen Metern (5—7 Meter) ein Fernrohr mit *vertikaler* Skala auf. Die entsprechende Entfernung (der Skala von dem Spiegel) sei D .

Man schiebe nun die Magnete weit auseinander und stelle durch Drehung der Fusschraube am Pendelgestell das Pendel auf eine lange Periode, etwa 30—35 Sekunden ein. Die entsprechende Ablesung an der vertikalen Skala sei h_0 und der Neigungswinkel i_0 .

Man beobachtet alsdann mit Hilfe des anderen Fernrohrs mit horizontaler Skala, welche in 1 Meter Entfernung von dem beweglichen Spiegel am Pendel aufgestellt ist, in der früher angegebenen Weise die Periode und das logarithmische Dekrement des Pendels. Daraus berechnet sich nach der Formel (11) der entsprechende Wert von n , den wir durch n_0 bezeichnen werden.

Man hat also die Gleichung

$$n_0^2 \cdot \frac{l}{g} = i_0 \dots \dots \dots (80)$$

Man verkürzt alsdann, durch Drehung der Fusschraube, die Periode des Pendels und bestimmt wiederum dieselbe, so wie auch das entsprechende logarithmische Dekrement. Der entsprechende Wert von n sei n_1 . In diesem Fall wird die Ablesung an der vertikalen Skala schon h_1 sein.

Die entsprechende Aenderung der Neigung der Drehungsaxe $\Delta_1 i$ ergibt sich aus der Formel

$$\Delta_1 i = \frac{h_1 - h_0}{2D} \dots \dots \dots (81)$$

Δi_1 ist bekannt.

Man hat also die Gleichung

$$n_1^2 \frac{l}{g} = i_0 + \Delta_1 i \dots \dots \dots (82)$$

Man hat folglich zwei Gleichungen (80) und (82), aus welchen man beide Unbekannten l und i_0 ermitteln kann.

Man wird aber in der Praxis sich nicht mit zwei Perioden begnügen, sondern eine Anzahl zugehöriger Werte von n^2 und Δi bestimmen und das so erhaltene Gleichungssystem nach der Methode der kleinsten Quadrate behandeln, die sofort auch den begangenen mittleren Fehler von l angibt. Man darf aber dabei die Periode des Pendels nicht unter 10 Sek. sinken lassen.

Eine weitere Detaillierung der Frage ist freilich überflüssig, aber der Bequemlichkeit halber werde ich doch, um alles, was die Anwendung dieser Art Pendel betrifft, in einer Abhandlung zusammenzufassen, die ent-

¹⁾ Da D gross ist, so sind keine Korrekturen nötig.

sprechenden Formeln zusammenstellen und ein aus der Praxis entnommenes Zahlenbeispiel anführen.

Führen wir folgende Bezeichnungen ein:

$$\left. \begin{aligned} x &= i_0 \\ y &= \frac{i}{g} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(83)$$

Dann erhalten wir folgendes Gleichungssystem

$$\left. \begin{aligned} n_0^2 y - x &= 0 \\ n_1^2 y - x &= \Delta_1 i \\ n_2^2 y - x &= \Delta_2 i \\ \dots\dots\dots \\ n_s^2 y - x &= \Delta_s i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(84)$$

Man nehme zwei von diesen Gleichungen, etwa die erste und letzte, und bestimme aus denselben die angenäherten Werte von x und y . Dieselben wollen wir durch x_0 und y_0 bezeichnen.

Dann können wir setzen

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 - \xi \\ y &= y_0 + \eta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(85)$$

ξ und η sind sehr kleine Grössen.

Führen wir noch folgende Bezeichnungen ein:

$$\left. \begin{aligned} a_k &= 1 \\ b_k &= n_k^2 \\ m_k &= \Delta_k i + x_0 - n_k^2 y_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(86)$$

Diese sind lauter bekannte Grössen. Dann ergibt sich folgendes endgültiges Gleichungssystem¹⁾

$$\left. \begin{aligned} a_0 \xi + b_0 \eta &= m_0 \\ a_1 \xi + b_1 \eta &= m_1 \\ a_2 \xi + b_2 \eta &= m_2 \\ \dots\dots\dots \\ a_s \xi + b_s \eta &= m_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(87)$$

¹⁾ Zwei von diesen m_k werden immer gleich Null sein.

aus welchem die beiden Unbekannten ξ und η nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen sind.

Bei Zugrundelegung der Gauss'schen Bezeichnungen

$$a_0 a_0 + a_1 a_1 + \dots + a_s a_s = (aa)$$

$$a_0 b_0 + a_1 b_1 + \dots + a_s b_s = (ab)$$

$$b_0 b_0 + b_1 b_1 + \dots + b_s b_s = (bb)$$

$$a_0 m_0 + a_1 m_1 + \dots + a_s m_s = (am)$$

$$b_0 m_0 + b_1 m_1 + \dots + b_s m_s = (bm),$$

bekommt man zur Bestimmung von ξ und η folgende zwei Normalgleichungen¹⁾

$$\left. \begin{aligned} (aa)\xi + (ab)\eta &= (am) \\ (ab)\xi + (bb)\eta &= (bm) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (88)$$

Daraus ergibt sich

$$\left[(aa) - \frac{(ab)(ab)}{(bb)} \right] \xi = \left[(am) - \frac{(bm)(ab)}{(bb)} \right]$$

$$\left[(bb) - \frac{(ab)(ab)}{(aa)} \right] \eta = \left[(bm) - \frac{(am)(ab)}{(aa)} \right].$$

Aus diesen Gleichungen lassen sich ξ und η , also x und y und folglich auch l und i_0 bestimmen.

Wenn diese Gleichungen in die obige Form gebracht sind, so stellen die Koeffizienten bei ξ und η die entsprechenden Gewichte g_ξ und g_η von ξ und η dar.

$$\left. \begin{aligned} g_\xi &= (aa) - \frac{(ab)(ab)}{(bb)} \\ g_\eta &= (bb) - \frac{(ab)(ab)}{(aa)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (89)$$

¹⁾ Im jetzigen Fall wird

$$(aa) = s + 1$$

$$(ab) = \sum_{k=0}^{k=s} b_k$$

$$(am) = \sum_{k=0}^{k=s} m_k.$$

Bringen wir nun die so gefundenen Werte von ξ und η in das Gleichungssystem (87) ein und bestimmen die folgenden Grössen ν :

$$\left. \begin{aligned} a_0 \xi + b_0 \eta - m_0 &= \nu_0 \\ a_1 \xi + b_1 \eta - m_1 &= \nu_1 \\ a_2 \xi + b_2 \eta - m_2 &= \nu_2 \\ \dots & \dots \\ a_s \xi + b_s \eta - m_s &= \nu_s \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (90)$$

Bilden wir nun die Summe

$$\sum_{k=0}^{k=s} \nu_k^2,$$

dividieren dieselbe durch die Anzahl der Gleichungen minus die Anzahl der Unbekannten (2), also durch $s - 1$ und ziehen die Quadratwurzel aus. Die entsprechende Grösse sei ε_ν .

$$\varepsilon_\nu = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{k=s} \nu_k^2}{s - 1}} \dots \dots \dots (91)$$

Dann werden die mittleren Fehler der zu bestimmenden Grössen ξ und η , resp. x und y , durch folgende Formeln gegeben:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_\xi &= \frac{\varepsilon_\nu}{\sqrt{g_\xi}} \\ \varepsilon_\eta &= \frac{\varepsilon_\nu}{\sqrt{g_\eta}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (92)$$

Diese Methode zur Bestimmung von l hat sich in der Praxis sehr gut bewährt, da der prozentische Fehler im Werte von l gewöhnlich recht klein ausfällt¹⁾.

Ist nun l einmal bekannt, so kann man für jede Eigenperiode des Pendels $T = \frac{2\pi}{n}$ die entsprechende Neigung i der Drehungsaxe in bezug auf die Vertikale nach der Formel (3) berechnen.

Ist aber i bekannt, so kann man auch sofort den Winkel θ bestimmen, um welchen das Pendel von seiner Ruhelage abgelenkt wird, wenn die Unterlage des Pendels um den Winkel ψ in bezug auf eine horizontale Ebene um eine zum Pendelarm parallele Axe geneigt wird.

¹⁾ Man vergleiche z. B. auch Orloff «Sur la détermination d'une constante du pendule horizontal d'après la méthode du prince B. Galitzine». Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente T. III. Livr. 3, 1910.

Aus der Theorie des Horizontalpendels ergibt sich für kleine Winkel¹⁾

$$\theta = \frac{\psi}{i} \dots \dots \dots (93)$$

Ist i klein, also die Eigenperiode des Pendels gross, so wird in dieser Hinsicht ein Horizontalpendel ein äusserst empfindliches Instrument sein.

Zum Schluss werde ich folgendes Zahlenbeispiel anführen. Die Beobachtungen wurden mit dem Pendel № VI ausgeführt. Dasselbe steht auf der seismischen Station in Eskdalemuir in Schottland.

Ich werde jedoch hier nicht die einzelnen Werte der Pendelausschläge, die zur Bestimmung von Λ gedient haben, angeben, da die Frage nach der Bestimmung des logarithmischen Dekrements schon genügend ausführlich im vorigen Paragraphen besprochen wurde.

Ich werde also in der beigefügten Tabelle nur folgende Werte angeben, nämlich:

- die beobachtete Periode T' ,
- das entsprechende logarithmische Dekrement Λ ,
- die daraus nach der Formel (11) berechnete Konstante n ,
- die Eigenperiode des Pendels ohne Dämpfung T ,
- die Ablesung an der Vertikalskala h und
- den daraus nach der Formel (81) berechneten Wert von Δi .

Bei der grössten Periode (n_0 resp. i_0) war die Ablesung an der Skala

$$h_0 = 200,0 \text{ m/m}.$$

Die Entfernung der Skala vom Spiegel betrug 7672 m/m .

k	T'	Λ	n	T	h	Δi
0	31,100	0,0867	0,2024	31,04	200,00 m/m	0,000000
1	25,347	0,0691	0,2483	25,31	196,13	0,000252
2	21,889	0,0600	0,2873	21,87	192,25	0,000505
3	19,101	0,0498	0,3292	19,09	187,7	0,000802
4	16,904	0,0433	0,3719	16,90	182,0	0,001173
5	14,313	0,0363	0,4392	14,31	172,0	0,001825
6	13,216	0,0331	0,4756	13,21	165,8	0,002229

¹⁾ Man sehe z. B. «Ueber die Methoden zur Beobachtung von Neigungswellen». L. c.

Auf Grund dieser Zahlen ergibt sich folgendes Gleichungssystem (84).

k	
0	$0,0410y - x = 0,000000$
1	$0,0616y - x = 0,000252$
2	$0,0826y - x = 0,000505$
3	$0,1083y - x = 0,000802$
4	$0,1383y - x = 0,001173$
5	$0,1929y - x = 0,001825$
6	$0,2262y - x = 0,002229$

Kombiniert man die erste und siebente dieser Gleichungen, so ergibt sich

$$x_0 = 0,000493$$

$$y_0 = 0,01204.$$

Setzen wir

$$x = x_0 - \xi$$

$$y = y_0 + \eta,$$

so erhält man folgendes Gleichungssystem (87)

k	
0	$\xi + 0,0410\eta = 0,000000$
1	$\xi + 0,0616\eta = + 0,000003$
2	$\xi + 0,0826\eta = + 0,000004$
3	$\xi + 0,1083\eta = - 0,000009$
4	$\xi + 0,1383\eta = + 0,000001$
5	$\xi + 0,1929\eta = - 0,000004$
6	$\xi + 0,2262\eta = 0,000000.$

enormalen Gleichungen (88) lauten

$$7\xi + 0,85089\eta = - 0,000005$$

$$0,85089\xi + 0,13153\eta = - 0,000001093.$$

Daraus ergibt sich

$$\xi = 0,000001338$$

$$\eta = -0,000017$$

und nach den Formeln (89)

$$g_{\xi} = 1,4945$$

$$g_{\eta} = 0,02809.$$

Folglich wird

$$x = i_0 = 0,00049195 = 0^{\circ} 1' 41,47''$$

und

$$y = \frac{l}{g} = 0,012020.$$

Die Beschleunigung der Schwere g in Petersburg, wo dieses Pendel untersucht wurde, beträgt $9818,5 \text{ m/m}$.

Auf diese Weise erhält man

$$l = 118,02 \text{ m/m}.$$

Um die mittleren Fehler dieser Werte zu bestimmen, wollen wir die Werte von v nach den Gleichungen (90) ausrechnen.

Es wird

k	v
0	0,000000
1	- 0,000003
2	- 0,000004
3	+ 0,000008
4	- 0,000002
5	+ 0,000002
6	- 0,000003.

Also

$$\epsilon_v = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{k=6} v^2}{s-1}} = 0,0000046$$

und nach den Formeln (92)

$$\epsilon_{\xi} = \pm 0,0000037 = \pm 0,77''$$

$$\epsilon_{\eta} = \pm 0,000027.$$

Nun ist

$$\epsilon_i = g \epsilon_{\eta}$$

Es ergibt sich also schliesslich

$$i_0 = 0^\circ 1' 41'' 47 \pm 0'' 77$$

und

$$l = 118,02 \text{ m/m} \pm 0,27 \text{ m/m}$$

Dieses Beispiel zeigt, wie genau man nach dieser Methode i_0 und l bestimmen kann.

Für die grösste Periode $T = 31,04$ ist der Neigungswinkel i_0 der Drehungsaxe recht klein.

Setzen wir diesen Wert von i in die Formel (93) ein, so ergibt sich

$$\theta = 2033 \psi$$

Beobachtet man θ mittelst Fernrohrs und Skala in einer Entfernung von 4 Metern vom Pendel und setzt man die Genauigkeitsgrenze der Able- sung auf der Skala für diese Entfernung gleich $0,2 \text{ m/m}$, so kann man bei dieser Periode noch langsame Neigungen des Bodens von nur $\frac{1}{400}''$ wahr- nehmen.

§ 5.

**Bestimmung der Dämpfungskonstante μ^2 und des Uebertragungsfaktors k .
Einstellung auf die Aperiodizitätsgrenze.**

Die im § 2 angegebenen Formeln verlangen die Kenntnis der Grösse der Dämpfung des betreffenden Pendels. Sie enthalten nicht direkt das Dämpfungsverhältnis $v = \frac{\theta_k}{\theta_{k+1}}$, sondern die Konstante $\mu^2 = 1 - \left(\frac{\epsilon}{n}\right)^2$ (siehe die Formeln (12) und (13)), die auf Grund der Beziehungen (15) und (17) mit dem Dämpfungsverhältnis v durch folgende Gleichung ver- knüpft ist

$$v = e^{\frac{\pi \sqrt{1-\mu^2}}{\mu}}, \dots \dots \dots (94)$$

oder

$$\mu^2 = \frac{\pi^2}{\pi^2 + \left(\frac{\text{Log}_{10} v}{\text{Log}_{10} e}\right)^2} \dots \dots \dots (95)$$

Durch die Einführung der Grösse μ^2 erhalten die Formeln eine elegantere Gestalt. Ausserdem ist dies insofern bequem, dass für sehr stark gedämpfte Pendel μ^2 eine kleine Grösse ist und für die Grenze der Aperiodizität sogar gleich Null wird.

Wir werden also μ^2 als die maassgebende Grösse für das Verhalten des Pendels inbezug auf die Grösse seiner Dämpfung betrachten.

Im Nachtrag, in der früher erwähnten Tabelle I, sind die den verschiedenen Werten von μ^2 zugehörigen Dämpfungsverhältnisse v angegeben.

Wenn die Dämpfung nicht sehr stark ist, lässt sich das Dämpfungsverhältnis, resp. μ^2 , direkt aus Schwingungsbeobachtungen aus der Abnahme der Maximalamplituden ermitteln.

Wenn aber v etwa 40 oder vielleicht 50 übersteigt, so lässt sich diese Methode nicht mehr anwenden.

Ich habe in einer neulich von mir veröffentlichten Abhandlung «Ueber die Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses stark gedämpfter Horizontalpendel»¹⁾ zwei Methoden angegeben, die die Konstante μ^2 bei jedem Wert des Dämpfungsverhältnisses v zu bestimmen gestatten. Dieselben haben sich in der Praxis, bei Anwendung der optischen Registrierungsart sehr gut bewährt, allein erfordern sie die Aufnahme der Kurve der Eigenbewegung des Pendels und in dieser Hinsicht sind sie etwas umständlich.

Wenn aber μ^2 klein ist, also etwa nicht 0,20 übersteigt, v also grösser als 536 wird (siehe die Tabelle I), so lässt sich μ^2 auf eine andere Art und äusserst einfach bestimmen. Keine Kurvenaufnahmen sind dabei mehr nötig. Alles, was man zu tun hat, ist die Grösse zweier nach einander folgender Ausschläge eines aperiodischen Galvanometers zu bestimmen, welches mit dem Pendel in der früher erwähnten Weise gekoppelt ist, wenn man demselben einen kleinen Anstoss erteilt. Die Eigenperiode des Pendels T (ohne Dämpfung) soll sich dabei wenig von der Eigenperiode T_1 des entsprechenden Galvanometers unterscheiden.

Diese Methode ist auch anwendbar für negative Werte von μ^2 , wenn dieselben ihrer absoluten Grösse nach nicht 0,20 übersteigen. Indem man noch dabei den Winkelausschlag des Pendels beobachtet und ausserdem die Zeit t_0 misst, welche vom Anfang der Bewegung des Galvanometers bis zum erstmaligen Hindurchgang durch seine Ruhelage verfliesst, so kann man nicht nur μ^2 , sondern auch den Uebertragungsfaktor k (siehe die Gleichung (31))

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

und die Eigenperiode des Pendels ohne Dämpfung, also

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

bestimmen.

Diese Methode ist in meinem Aufsatz «Ueber die Bestimmung der Konstanten von stark gedämpften Horizontalpendeln»¹⁾ ausführlich beschrieben. Sie ist ausserordentlich einfach und bequem, hat sich in der Praxis sehr gut bewährt und führt sehr rasch zum Ziel. Dies ist die Methode, die an der Pulkowaer seismischen Station schon lange bei der Bestimmung der Pendelkonstanten angewandt wird.

Diese Methode werde ich hier nochmals kurz beschreiben und zeigen, wie die drei Seismographenkonstanten μ^2 , T und k sich, so zu sagen, mit einem Schläge bestimmen lassen.

Ein weiter anzuführendes, aus der Praxis entnommenes Zahlenbeispiel wird die Anwendung dieser Methode veranschaulichen und zugleich zeigen, wie die entsprechenden Rechnungen anzustellen sind.

Setzen wir also voraus, dass wir ein Horizontalpendel der früher beschriebenen Art haben, welches stark gedämpft ($\mu^2 \leq 0,20$) und mit einem Galvanometer leitend verbunden ist. Der Widerstand des Stromkreises sei so gewählt, dass das Galvanometer genau an der Grenze der Aperiodizität sich befindet²⁾.

Die Bewegung des Pendels und Galvanometers wollen wir mittelst Fernrohre und Skalen verfolgen.

Die Entfernung der Skala vom Spiegel am Pendelarm D wollen wir gross wählen (etwa 4—6 Meter), und die der Skala vom Spiegel am Galvanometer D_1 genau gleich 1 Meter nehmen.

Wollen wir nun dem Pendel einen kleinen anfänglichen Anstoss mittelst des früher beschriebenen am Pendelgerüst befestigten kleinen Elektromagneten erteilen³⁾. Man muss dabei diesen Elektromagneten so einstellen, damit, wenn der Stift desselben auf das Pendelgewicht schlägt, der Pendelarm möglichst kleine oder sogar keine sekundären Schwingungen ausführt. Die entsprechende Stelle ist durch Ausprobieren zu finden. Die Grösse des Ausschlages kann mittelst einer besonderen am Electromagneten selbst angebrachten Schraube reguliert werden.

Bezeichnen wir die Grösse dieses Winkelausschlages des Pendels durch

¹⁾ Bulletin de l'Académie Impériale des sciences de St-Petersbourg. № 9. p. 743 (1908).

²⁾ Siehe die Formel (77).

³⁾ Man bringe dazu in den betreffenden Stromkreis ein oder zwei Trockenelemente und einen Schlüssel.

θ_m . Die entsprechende Ablesung an der Skala sei m . Es ist dabei vorausgesetzt, dass der Nullpunkt bei der Ruhelage des Pendels richtig auf Null eingestellt ist.

Dann wird

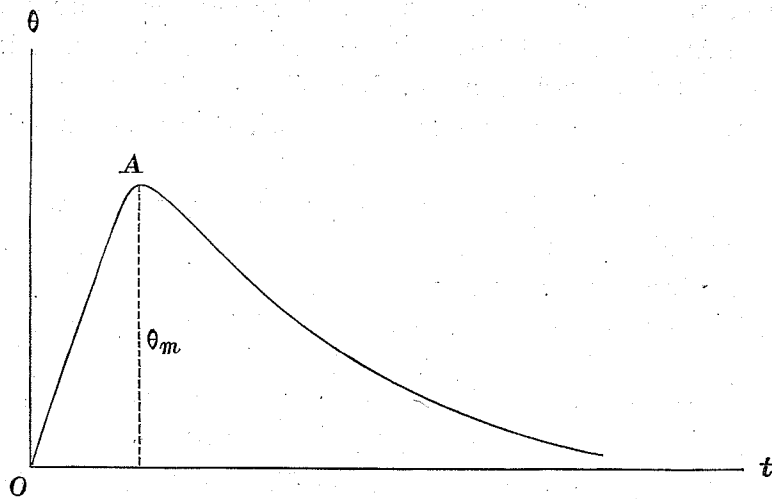
$$\theta_m = \frac{m}{2D} \dots \dots \dots (96)$$

μ^2 ist nicht bekannt, wenn es aber klein ist, so scheint die Bewegung des Pendels wirklich eine aperiodische zu sein.

Diese Bewegung kann etwa durch die Kurve auf der folgenden Fig. 19 dargestellt werden, wo für die Abszissen die Zeiten und für die Ordinaten die entsprechenden Ausschläge des Pendels genommen werden.

Wenn das Pendel eine solche Kurve beschreibt mit einem Maximum in A , so beschreibt das Galvanometer eine kompliziertere Linie, wie die auf der Fig. 20, mit einem Maximum in A_1 und einem Minimum in B_1 .

Fig. 19.



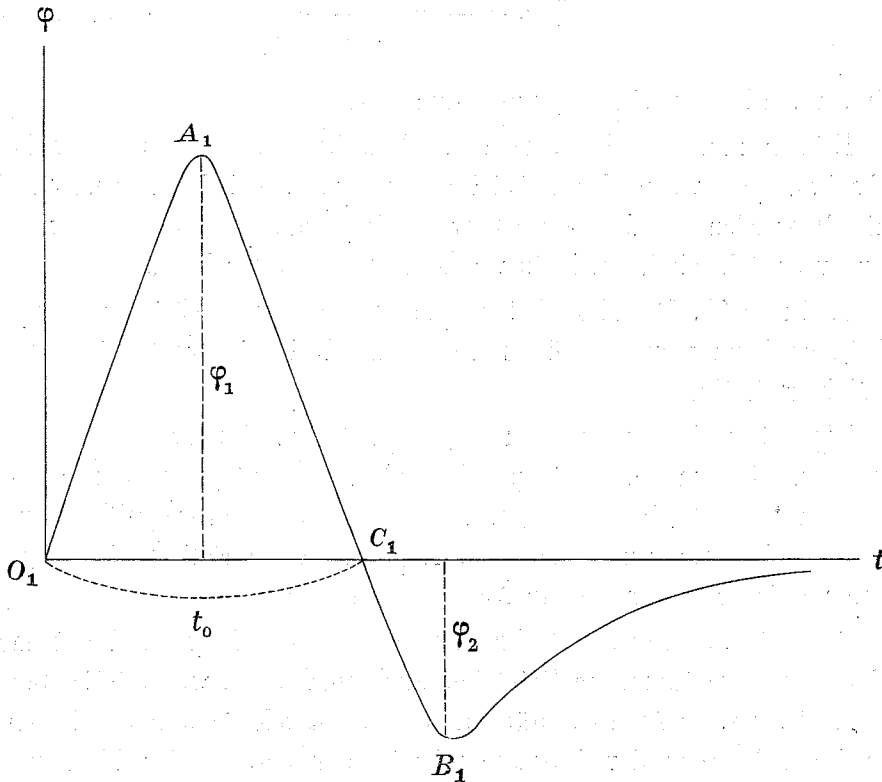
Die entsprechenden Winkelausschläge des Galvanometers seien φ_1 und φ_2 und die Ablesungen an der betreffenden Skala m_1 und m_2 . Wir werden alle diese Grössen als positiv annehmen.

Mit Bezugnahme auf die Formel (71) können wir schreiben

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{m_1 - \Delta m_1}{2D_1} \\ \varphi_2 &= \frac{m_2 - \Delta m_2}{2D_1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (97)$$

1) Es ist keine Korrektion für m nötig, da m klein und D gross ist.

Fig. 20.



wo die Korrekturen Δm_1 und Δm_2 aus der Tabelle VIII im Nachtrag zu entnehmen sind.

Nach dem Durchgang durch den Punkt B_1 nähert sich die Kurve scheinbar asymptotisch der Zeitachse.

Ausser φ_1 und φ_2 muss man noch mit einem guten Sekundenzähler die Zeit t_0 bestimmen von dem Anfang der Galvanometerbewegung (Punkt O_1) bis zum Punkte C_1 , wo das Galvanometer das erste Mal durch seine Ruhelage hindurchgeht.

Es müssen für diese Bestimmungen zwei Beobachter da sein; der eine verfolgt das Pendel und merkt sich m und der andere das Galvanometer und notiert m_1 , m_2 und t_0 . Alle diese vier Grössen bestimmen sich auf ein Mal und zwar in wenigen Sekunden.

Die Eigenperiode des Galvanometers T_1 ohne Dämpfung soll aus früheren Beobachtungen entnommen werden.

Das Pendel muss vorher so eingestellt werden, dass seine Eigenperiode ohne Dämpfung T (aus Schwingungsbeobachtungen ermittelt, siehe § 4) sich wenig von T_1 unterscheidet.

Es soll also die Grösse

$$\xi = \frac{n_1 - n}{n} = \frac{T - T_1}{T_1} \dots \dots \dots (98)$$

klein sein. ξ kann positiv oder negativ ausfallen.

Es soll nun die Eigenperiode des Pendels ohne Dämpfung aus diesen Beobachtungen, wenn das Pendel schon fast aperiodisch gemacht ist, ermittelt werden, da T (resp. n), wenn die Magnetenpole schon nah an einander gerückt sind, ein klein wenig anders ausfallen kann.

Sind also T_1 , D und D_1 bekannt und misst man die Grössen m , m_1 , m_2 und t_0 , so kann man aus diesen sofort die drei unbekanntenen Grössen μ^2 , T und k ermitteln.

Dies lässt sich ungemein rasch durchführen. Man wird jedoch in der Praxis sich nicht mit einer Gruppe dieser Werte begnügen, sondern mehrere Mal (etwa 10 Mal) die Messungen ausführen, um sicherere Werte der unbekanntenen Konstanten zu bekommen. Auch in diesem Fall werden gewöhnlich nur einige Minuten Zeit in Anspruch genommen.

Diese Beobachtungen liefern zugleich auch, ehe man die genauen Rechnungen durchführt, ein Kriterium zur Beurteilung, wie weit das Pendel von der Grenze der Aperiodizität entfernt ist. Man kann dann durch Aenderung der Poldistanz der Magnete mittelst der betreffenden Mikrometerschrauben¹⁾ das Pendel ziemlich genau an die Grenze der Aperiodizität einstellen, also μ^2 recht klein machen.

Wollen wir nun die Theorie dieser Methode kurz besprechen.

Es ist dabei vorausgesetzt, dass μ^2 und ξ beide kleine Grössen sind.

Es wird erstens aus den Beobachtungen das Verhältnis der beiden Galvanometeraus schläge entnommen. Diese Grösse wollen wir mit α bezeichnen.

Also

$$\alpha = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{m_1 - \Delta m_1}{m_2 - \Delta m_2} \dots \dots \dots (99)$$

Die Beziehung zwischen μ^2 und α wird durch die folgende Formel gegeben:

$$\mu^2 = \frac{\beta - \alpha}{\alpha\psi_2 - \beta\psi_1} \dots \dots \dots (100)$$

¹⁾ Man muss die Magnete symmetrisch verschieben, damit die dämpfende Kupferplatte immer in der Mitte zwischen den einander gegenüberstehenden Polen der Magnete sich befinde.

β , ψ_1 und ψ_2 sind gewisse Funktionen von ξ , welche folgende Form haben:

$$\beta = (7 - 4\sqrt{3}) e^{2\sqrt{3}} \left[1 + \frac{1}{10} \sqrt{3} \cdot \xi^2 \right] = 2,2937 [1 + 0,1732 \xi^2] \dots (101)$$

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \frac{1}{30} (5 - 3\sqrt{3}) \left[1 + \frac{3}{2} (2 + \sqrt{3}) \xi + \frac{1}{280} (129 + 177\sqrt{3}) \xi^2 \right] \\ &= -0,0065377 [1 + 5,5981 \xi + 1,5556 \xi^2] \dots \dots \dots (102) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_2 &= \frac{1}{30} (5 + 3\sqrt{3}) \left[1 + \frac{3}{2} (2 - \sqrt{3}) \xi + \frac{1}{280} (129 - 177\sqrt{3}) \xi^2 \right] \\ &= 0,33988 [1 + 0,40192 \xi - 0,63417 \xi^2] \dots \dots \dots (103) \end{aligned}$$

ψ_1 ist seiner absoluten Grösse nach viel kleiner als ψ_2 und für die in der Praxis vorkommenden Werte von ξ immer *negativ*.

In der Tabelle X im Nachtrag sind die Werte von β und $\beta\psi_1$ und in der Tabelle XI die von $\text{Log } \psi_1$ und $\text{Log } \psi_2$ zusammengestellt und zwar für verschiedene Werte von ξ , von $\xi = -0,15$ bis $\xi = +0,15$. Diese Tabellen erleichtern ausserordentlich die Bestimmung der Konstanten des Seismographen.

β schwankt dabei nur etwa zwischen 2,294 und 2,303.

Ist $\alpha < \beta$, so wird μ^2 positiv und die Grenze der Aperiodizität ist noch nicht erreicht; ist aber $\alpha > \beta$ so wird die Grenze der Aperiodizität schon überschritten.

In erster Annäherung kann man am Anfang $\xi = 0$ setzen, also $\beta = 2,294$ annehmen und aus dem erhaltenen Wert von α sofort beurteilen, ob man nah oder weit von der Grenze der Aperiodizität sich befindet. Dieses Verfahren ist ausserordentlich empfindlich und gibt sofort ein Mittel an die Hand, dass betreffende Pendel sehr nah an die Grenze der Aperiodizität einzustellen.

Es ist sehr interessant, dass dieser kritische Wert

$$\beta = (7 - 4\sqrt{3}) e^{2\sqrt{3}} = 2,2937,$$

wenn nur die Eigenperioden des Pendels und Galvanometers zusammenfallen ($T = T_1$, also $\xi = 0$), vollkommen *unabhängig* von den konstruktiven Eigenschaften der betreffenden Instrumente ist. Er ist für alle Arten von Seismographen gültig, wenn dieselben mit einem Galvanometer, welches genau an der Grenze der Aperiodizität sich befindet, in der früher beschriebenen Weise gekoppelt sind. Die einzige Bedingung dabei ist, dass die Seismographen sehr stark gedämpft sein sollen, also μ^2 klein sei.

Es ist eine bekannte Tatsache, dass es überhaupt sehr schwer ist das Dämpfungsverhältnis eines sehr stark gedämpften Horizontalpendels genau

zu bestimmen. Durch die hier beschriebene Methode lässt sich jedoch diese Aufgabe in sehr einfacher Weise lösen.

Man wird in der Praxis in folgender Weise vorgehen müssen.

Man entnimmt zuerst aus den Beobachtungen den Wert von $\alpha = \frac{\varphi_1}{\varphi_2}$. Ist derselbe sehr von β verschieden, so ändere man in zweckentsprechender Weise die Poldistanz der dämpfenden Magnete (bei der Kupferplatte) und bestimme wiederum das Verhältnis $\frac{\varphi_1}{\varphi_2}$.

Wenn nun α annäherungsweise gleich β gemacht wird, kann man schon zur genauen Ermittlung von μ^2 übergehen.

μ^2 darf seiner absoluten Grösse nach 0,20 nicht überschreiten, aber es ist auch wünschenswert, μ^2 nicht unter — 0,1 sinken zu lassen, sonst wird die Empfindlichkeit der Registrierung ganz unnütz einbüßen.

Zur besseren Orientierung in der Auswahl des betreffenden Wertes von α kann man sich der folgenden kleinen Tabelle bedienen, wo die den verschiedenen Werten von μ^2 entsprechenden Werte von α gegeben sind und zwar für 3 verschiedene Werte von ξ , nämlich — 0,10; 0 und + 0,10.

Dieselben lassen sich aus der folgenden Formel berechnen, die sich unmittelbar aus der Formel (100) ergibt:

$$\alpha = \beta \frac{1 + \mu^2 \psi_1}{1 + \mu^2 \psi_2} \dots \dots \dots (104)$$

Für μ^2 sind folgende 7 Werte genommen worden:

— 0,10 — 0,05 0 + 0,05 + 0,10 + 0,15 + 0,20.

Die Werte von α sind dabei auf 0,01 abgerundet gegeben.

Werte von $\alpha = \frac{\varphi_1}{\varphi_2}$.

μ^2	$\xi = - 0,10$	$\xi = 0$	$\xi = + 0,10$
— 0,10	2,38	2,38	2,38
— 0,05	2,34	2,33	2,34
0	2,30	2,29	2,30
+ 0,05	2,26	2,25	2,26
+ 0,10	2,23	2,22	2,22
+ 0,15	2,19	2,18	2,18
+ 0,20	2,16	2,14	2,14

Diese Tabelle zeigt, dass für ein und dasselbe μ^2 der Wert von α recht wenig durch ξ beeinflusst wird. Man kann also das betreffende Pendel ziemlich genau auf die Grenze der Aperiodizität einstellen, ohne die genaue Eigenperiode des Pendels zu kennen.

Hat man nun durch passende Auswahl von α das Pendel möglichst nah an die Grenze der Aperiodizität gebracht, so kann man schon zur genauen Ermittlung der Dämpfungskonstante μ^2 und der Pendelperiode T übergehen.

Man bestimmt aus den Beobachtungen eine Reihe von Werten von α (etwa 10) und die zugehörige Zeit t_0 . Aus diesen Zahlen nimmt man das Mittel.

Es besteht nun zwischen der Zeit t_0 und der Pendelkonstante $n = \frac{2\pi}{T}$ folgende Beziehung

$$n = \frac{u_0}{t_0}, \dots \dots \dots (105)$$

wo u_0 die Bedeutung hat:

$$u_0 = B_0 - B_2 \mu^2 \dots \dots \dots (106)$$

B_0 und B_2 sind gewisse Funktionen von ξ , die folgendermaassen lauten:

$$B_0 = 3 \left[1 - \frac{1}{2} \xi + \frac{2}{5} \xi^2 \right] \dots \dots \dots (107)$$

$$B_2 = \frac{3}{20} \left[1 - \frac{5}{2} \xi + \frac{183}{70} \xi^2 \right] \dots \dots \dots (108)$$

In der Tabelle XII des Nachtrags sind die Werte von B_0 und $\text{Log } B_2$ für verschiedene Werte von ξ (zwischen $-0,15$ und $+0,15$) zusammengestellt.

Aus der Beziehung (98) ergibt sich

$$n = \frac{n_1}{1 + \xi} \dots \dots \dots (109)$$

Bringen wir nun diese Grösse in die Formel (105) ein, so folgt mit Bezugnahme auf die Formeln (106), (107) und (108)

$$\frac{n_1 t_0}{1 + \xi} = 3 \left[1 - \frac{1}{2} \xi + \frac{2}{5} \xi^2 \right] - \frac{3}{20} \left[1 - \frac{5}{2} \xi + \frac{183}{70} \xi^2 \right] \mu^2 \dots (110)$$

$n_1 = \frac{2\pi}{T_1}$ ist eine bekannte Grösse; beobachtet werden α und t_0 . Man kann also aus den Gleichungen (100) und (110) die beiden Unbekannten μ^2 und ξ bestimmen.

Ist nun ξ bekannt, so ergibt sich nach der Formel (109) sofort n und folglich auch (nach der Formel (2)) T .

Obgleich diese beiden Gleichungen eine etwas unbequeme Gestalt haben, lassen sich jedoch die Rechnungen in sehr einfacher Weise durch sukzessive Annäherungen durchführen.

Zu dem Zweck wollen wir die Gleichung (110) in eine andere Form bringen.

Unter Beibehaltung der Glieder von der Ordnung ξ^2 , mit welcher Genauigkeit diese Methode überhaupt ausgearbeitet worden ist, ergibt sich

$$n_1 t_0 = 3 \left[1 + \frac{1}{2} \xi - \frac{1}{10} \xi^2 \right] - \frac{3}{20} \left[1 - \frac{3}{2} \xi + \frac{8}{70} \xi^2 \right] \mu^2.$$

Hieraus kann man ξ als Funktion von $n_1 t_0$ und μ^2 bestimmen.

Es lohnt sich aber nicht, diese quadratische Gleichung direkt zu lösen. Es ist viel bequemer ein Näherungsverfahren anzuwenden.

Aus derselben ergibt sich, wenn wir folgende Bezeichnungen einführen:

$$\left. \begin{aligned} a &= 3 - 0,15\mu^2 \\ b &= 1,5 + 0,225\mu^2 \\ c &= 0,3 + 0,0171\mu^2, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (111)$$

einfach

$$\xi = \frac{n_1 t_0 - a + c\xi^2}{b} \dots\dots\dots (112)$$

Dieses Gleichungssystem zusammen mit der Gleichung (100), nach welcher

$$\mu^2 = \frac{\beta - \alpha}{\alpha\psi_2 - \beta\psi_1} \dots\dots\dots (100)$$

wird, bilden die Grundlage der Bestimmung der Konstanten μ^2 und ξ .

Man verfährt dabei in folgender Weise.

Man setzt zuerst $\xi = 0$ und bestimmt alsdann nach der Formel (100), unter Benutzung der Tabellen X und XI, den ersten Wert von μ^2 .

Mit demselben berechnet man alsdann die Konstanten a , b , und c , die nur Funktionen von μ^2 sind, und bestimmt nach der Formel (112) den nächsten Wert von ξ .

Dabei vernachlässigt man zuerst $c\xi^2$, welches immer eine sehr kleine Grösse ist, und findet zuerst einen Näherungswert von ξ , nämlich

$$\xi = \frac{n_1 t_0 - a}{b}.$$

Mit demselben berechnet man $c\xi^2$ und ermittelt alsdann nach der Formel (112) den genauen Wert ξ .

Man legt jetzt diesen neuen Wert von ξ zugrunde und berechnet in derselben Weise wie früher nach der Formel (100) den zweiten Wert von μ^2 .

Mit Hilfe dieses zweiten Wertes von μ^2 berechnet man weiter in der eben besprochenen Weise den zweiten Wert von ξ u. s. w.

Da in der Praxis μ^2 und ξ kleine Grössen sind, so werden die vorigen Ausdrücke sehr stark konvergent und man braucht gewöhnlich diese Operationen nur zweimal durchzuführen. Die zweiten Werte von μ^2 und ξ werden gewöhnlich die endgültigen sein.

Zur Erleichterung dieser Rechnungen sind im Nachtrag die drei Tabellen XIII, XIV und XV beigegeben.

In der Tabelle XIII sind die Werte von a und in der Tabelle XIV die von $\text{Log } \frac{1}{b}$ gegeben für verschiedene μ^2 , von $\mu^2 = -0,100$ bis $\mu^2 = +0,200$.

Die Tabelle XV enthält die Werte von $c\xi^2$. Für $\mu^2 = -0,10$ wird $c = 0,2983$ und für $\mu^2 = +0,20$ $c = 0,3034$. Da ξ nur zwischen 0,00 und $\pm 0,15$ sich ändern soll, so kann $c\xi^2$ für die gegebene Genauigkeitsgrenze zwischen diesen Werten von ξ als unabhängig von μ^2 betrachtet werden.

Ist nun ξ einmal bestimmt, so ergibt sich sofort nach der Formel (109) der gesuchte Wert von n , resp. die Eigenperiode des Pendels ohne Dämpfung $T = \frac{2\pi}{n}$.

Man kann noch zur Kontrolle den Wert von T aus den Formeln (105) und (106) berechnen. Mit Hilfe von ξ und μ^2 berechnet man unter Benutzung der Tabelle XII u_0 und findet alsdann nach der Formel (105) n , resp. T .

Wollen wir jetzt noch sehen, welche Beziehung zwischen der Eigenperiode des Pendels T und t_0 besteht.

Auf Grund der Gleichung (105) ergibt sich

$$T = \frac{2\pi}{u_0} \cdot t_0, \dots \dots \dots (113)$$

wo u_0 aus der Formel (106) zu entnehmen ist.

Wollen wir nun die Werte dieses Faktors $\frac{2\pi}{u_0}$ für einige ausgewählte μ^2 und ξ tabellarisch zusammenstellen.

Werte von $\frac{2\pi}{u_0}$.

μ^2	$\xi = -0,10$	$\xi = 0$	$\xi = +0,10$
-0,10	1,975	2,084	2,187
-0,05	1,981	2,089	2,191
0	1,987	2,094	2,195
+0,05	1,993	2,100	2,200
+0,10	1,999	2,105	2,204
+0,15	2,005	2,110	2,209
+0,20	2,011	2,116	2,213

Wir sehen also, dass T rund etwa zweimal grösser als t_0 ist. Der Wert dieses Faktors $\frac{2\pi}{u_0}$ schwankt für die gegebenen Werte von μ^2 und ξ zwischen den Grenzen 1,975 und 2,213.

Wollen wir jetzt zu der Bestimmung des Uebertragungsfaktors k übergehen.

Bei der Bestimmung des Verhältnisses $\alpha = \frac{\varphi_1}{\varphi_2}$ werden zu gleicher Zeit die entsprechenden maximalen Ausschläge m am Pendel beobachtet.

Es muss nun jetzt das Verhältnis $\frac{\varphi_1}{\theta_m}$ und $\frac{\varphi_2}{\theta_m}$ gebildet werden.

Auf Grund der Beziehungen (96) und (97) folgt

$$\frac{\varphi_1}{\theta_m} = \frac{D}{D_1} \cdot \frac{m_1 - \Delta m_1}{m} \dots \dots \dots (114)$$

$$\frac{\varphi_2}{\theta_m} = \frac{D}{D_1} \cdot \frac{m_2 - \Delta m_2}{m} \dots \dots \dots (115)$$

Die Beobachtungen liefern eine Anzahl von Werten der Verhältnisse

$$\frac{m_1 - \Delta m_1}{m} \quad \text{und} \quad \frac{m_2 - \Delta m_2}{m},$$

aus welchen man das Mittel bildet und alsdann in die Gleichungen (114) und (115) einsetzt. Diese Werte sind immer als positiv zu betrachten.

Wollen wir nun zwei Funktionen k_1 und k_2 einführen, die folgende Bedeutung haben sollen:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= n \frac{\varphi_1}{\theta_m} \cdot F_1 \\ k_2 &= n \frac{\varphi_2}{\theta_m} \cdot F_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (116)$$

F_1 und F_2 sind gewisse Funktionen von ξ , die folgendermaassen lauten:

$$F_1 = \frac{e^{2-\sqrt{3}}}{2\sqrt{3}-3} \left[1 + \xi + \frac{5-\sqrt{3}}{20} \xi^2 \right] = 2,8168 [1 + \xi + 0,16340 \xi^2] \dots (117)$$

und

$$F_2 = \frac{e^{2+\sqrt{3}}}{2\sqrt{3}+3} \left[1 + \xi + \frac{5+\sqrt{3}}{20} \xi^2 \right] = 6,4610 [1 + \xi + 0,33660 \xi^2] \dots (118)$$

In der Tabelle XVI im Nachtrag sind die Werte von $\text{Log } F_1$ und $\text{Log } F_2$ gegeben und zwar für verschiedene ξ , von $\xi = -0,15$ bis $\xi = +0,15$.

Wäre das Pendel genau an der Grenze der Aperiodizität eingestellt ($\mu^2 = 0$), so wäre $k_1 = k_2$ und gleich dem Wert des gesuchten Uebertragungsfaktors k .

Ist aber μ^2 von Null verschieden, so ergibt sich k aus einer der folgenden beiden Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} k &= \frac{k_1}{1 + \mu^2 \psi_1} \\ k &= \frac{k_2}{1 + \mu^2 \psi_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (119)$$

k_1 und k_2 berechnen sich dabei aus den Formeln (116), da ξ und folglich auch n bekannt sind.

Zur Berechnung von k nach den Formeln (119) benutzt man die früher erwähnte Tabelle XI, wo die Werte von $\text{Log } \psi_1$ und $\text{Log } \psi_2$ gegeben sind.

Da ψ_1 immer sehr klein ist, so ändert sich k_1 recht wenig mit μ^2 .

Wenn $\mu^2 > 0$ ist, also die Grenze der Aperiodizität noch nicht erreicht ist, wird $k_2 > k_1$ sein, ist aber die Grenze der Aperiodizität schon überschritten, also $\mu^2 < 0$, so wird schon $k_2 < k_1$ ausfallen.

Eine von den beiden Formeln (119) würde zur Bestimmung von k vollständig ausreichen, man kann aber zur Kontrolle zugleich auch die zweite Formel verwenden.

Der Wert von k hängt unmittelbar von der Entfernung H_1 der Pole der Magnete bei den Induktionsspulen ab. Man kann also durch Aenderung

von H_1 die Empfindlichkeit der Registrierung zwischen gewissen Grenzen variieren. Man muss aber dabei im Auge behalten, dass bei der Aenderung von H_1 der Wert von μ^2 , welcher die Stärke der Dämpfung charakterisiert, etwas anders ausfallen wird, da die Induktionsspulen ebenfalls etwas zur Dämpfung beitragen. Man muss also in der Praxis zuerst die Magnete bei den Spulen auf die gewünschte Entfernung bringen und alsdann schon, durch Aenderung der Distanz H der Magnetpole bei der dämpfenden Kupferplatte, das Pendel auf die Grenze der Aperiodizität einstellen. Die Aenderung von H beeinflusst fast gar nicht den Wert von k .

Das weiter anzuführende Zahlenbeispiel wird alle diese Einzelheiten am besten erläutern.

Wir sehen also, dass die Bestimmung der drei Pendelkonstanten μ^2 , T und k sich nach dieser Methode in sehr einfacher Weise durchführen lässt. Es brauchen aus den Beobachtungen nur vier Grössen, nämlich m , m_1 , m_2 und t_0 entnommen zu werden, die auf einmal sich bestimmen lassen.

Bei praktischen Anwendungen für seismometrische Zwecke kann man die Pendelperiode T , so wie die Galvanometerperiode T_1 auf ein Zehntel Sekunde, k auf eine Einheit der ersten Dezimale und μ^2 auf eine Einheit der zweiten, höchstens dritten Dezimale abrunden.

Das folgende Zahlenbeispiel bezieht sich auf das Pendel IV und Galvanometer VI, welche auf der Sternwarte zu Paris aufgestellt sind.

Entfernung der Magnetpole bei den Spulen	$H_1 = 10,0^m/m$
» » » »	der dämpfenden Kupferplatte $H = 15,0^m/m$

Eigenperiode des Galvanometers ohne Dämpfung

$$T_1 = 24,68 \quad n_1 = 0,2546$$

$$D = 7,777 \text{ Meter.}$$

$$D_1 = 1 \text{ Meter.}$$

Ich werde in der folgenden Tabelle nicht die direkt beobachteten Werte m_1 und m_2 , sondern die um Δm_1 und Δm_2 (siehe die Tabelle VIII) korrigierten angeben.

$m_1 - \Delta m_1$	$m_2 - \Delta m_2$	m	Log ($m_1 - \Delta m_1$)	Log ($m_2 - \Delta m_2$)	Log m	Log α 1)	Log $\frac{m_1 - \Delta m_1}{m}$	Log $\frac{m_2 - \Delta m_2}{m}$
223,1 ^m / _m	96,1 ^m / _m	27,8 ^m / _m	2,3485	1,9827	1,4440	0,3658	0,9045	0,5387
274,0	116,7	33,8	2,4378	2,0671	1,5289	0,3707	0,9089	0,5382
195,4	78,8	23,7	2,2909	1,8965	1,3747	0,3944	0,9162	0,5218
283,0	123,4	34,5	2,4518	2,0913	1,5378	0,3605	0,9140	0,5335
270,8	112,5	33,5	2,4327	2,0512	1,5250	0,3815	0,9077	0,5262
315,4	136,2	39,0	2,4989	2,1342	1,5911	0,3647	0,9078	0,5431
256,3	110,5	31,7	2,4088	2,0434	1,5011	0,3654	0,9077	0,5423
169,3	71,2	21,3	2,2287	1,8525	1,3284	0,3762	0,9003	0,5241
298,5	127,3	37,0	2,4749	2,1048	1,5632	0,3701	0,9067	0,5366
245,9	104,4	30,5	2,3908	2,0187	1,4843	0,3721	0,9065	0,5344

α	$\frac{m_1 - \Delta m_1}{m}$	$\frac{m_2 - \Delta m_2}{m}$	(t_0)	
2,32	8,03	3,46	12 ^s 22	
2,35	8,11	3,45	12,36	
2,48 (!)	8,25	3,33	12,28	
2,29	8,20	3,58	12,36	
2,41	8,09	3,36	12,32	
2,32	8,09	3,49	12,27	
2,32	8,09	3,49	12,22	
2,33	7,95	3,34	12,34	
2,34	8,07	3,44	12,38	
2,36	8,06	3,42	12,28	
Mittelwerte 2)	2,357	8,094	3,436	12 ^s 303

1)

$$\alpha = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{m_1 - \Delta m_1}{m_2 - \Delta m_2}$$

(siehe Formel (99)).

2) Diese Beobachtungen wurden im Physikalischen Laboratorium der Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg ausgeführt, welches zu sehr allen möglichen Erschütterungen vom Strassenverkehr ausgesetzt ist. Wenn man die Beobachtungen an einem ganz ruhigen Ort ausführt und die Drahtisolation eine gute ist, so wird die Uebereinstimmung zwischen den einzelnen Werten der zu bestimmenden Grössen eine viel bessere werden.

$\text{Lg } \frac{m_1 - \Delta m_1}{m} = 0,9082$	$\text{Lg } \frac{m_2 - \Delta m_2}{m} = 0,5361$	} Siehe die Formeln (114) und (115).
$\text{Lg } \frac{D}{D_1} = 0,8908$	$\text{Lg } \frac{D}{D_1} = 0,8908$	
$\text{Lg } \frac{\varphi_1}{\theta_m} = 1,7990$	$\text{Lg } \frac{\varphi_2}{\theta_m} = 1,4269$	

$$(t_0) = 12^s 303$$

Korrektion für den Gang des Sekundenzählers — 0,140

$$t_0 = 12^s 163$$

$$\underline{n_1 t_0 = 3,097}$$

$$\underline{\alpha = 2,357.}$$

Jetzt kann man zu der Bestimmung von μ^2 , ξ (resp. T) und k übergehen.

I) $\xi = 0$

$$\beta = 2,294 \text{ aus der Tab. X} \quad \text{Lg } \alpha = 0,3724$$

$$\alpha = 2,357$$

$$\text{Lg } \psi_2 = \bar{1},5313 \text{ aus der Tab. XI}$$

$$\beta - \alpha = -0,063$$

$$\text{Lg } \alpha \psi_2 = \bar{1},9037$$

$$\text{Lg } (\beta - \alpha) = \bar{2},7993(n)$$

$$\alpha \psi_2 = 0,8011$$

$$\text{Lg}' (\alpha \psi_2 - \beta \psi_1) = 0,0883$$

$$\beta \psi_1 = -0,0150 \text{ aus der Tab. X}$$

$$\text{Lg } \mu^2 = \bar{2},8876(n)$$

$$\alpha \psi_2 - \beta \psi_1 = 0,8161$$

$$\underline{\mu^2 = -0,077.}$$

$$n_1 t_0 = 3,097$$

$$a = 3,012 \text{ aus der Tab. XIII}$$

$$n_1 t_0 - a = +0,085$$

$$\text{Lg } (n_1 t_0 - a) = \bar{2},9294$$

$$\text{Lg } \frac{1}{b} = \bar{1},8290 \text{ aus der Tab. XIV}$$

$$\text{Lg } \xi = \bar{2},7584$$

$$\xi = +0,057$$

$$n_1 t_0 - a = +0,085$$

$$\underline{c \xi^2 = 0,001 \text{ aus der Tab. XV}}$$

$$n_1 t_0 - a + c\xi^2 = +0,086$$

$$\text{Lg}(n_1 t_0 - a + c\xi^2) = \overline{2},9345$$

$$\text{Lg} \frac{1}{b} = \overline{1},8290$$

$$\text{Lg} \xi = \overline{2},7635$$

$$\underline{\underline{\xi = +0,058.}}$$

II) $\underline{\underline{\xi = +0,058.}}$

$$\beta = 2,295$$

$$\text{Lg} \alpha = 0,3724$$

$$\alpha = 2,357$$

$$\text{Lg} \psi_2 = \overline{1},5404$$

$$\beta - \alpha = -0,062$$

$$\text{Lg} \alpha \psi_2 = \overline{1},9128$$

$$\text{Lg}(\beta - \alpha) = \overline{2},7924(n)$$

$$\alpha \psi_2 = 0,8181$$

$$\text{Lg}'(\alpha \psi_2 - \beta \psi_1) = 0,0768$$

$$\beta \psi_1 = -0,0199$$

$$\text{Lg} \mu^2 = \overline{2},8692(n)$$

$$\alpha \psi_2 - \beta \psi_1 = 0,8380$$

$$\underline{\underline{\mu^2 = -0,074.}}$$

$$n_1 t_0 = 3,097$$

$$a = 3,011$$

$$\underline{\underline{c\xi^2 = 0,001}}$$

$$n_1 t_0 - a + c\xi^2 = +0,087$$

$$\text{Lg}(n_1 t_0 - a + c\xi^2) = \overline{2},9395$$

$$\text{Lg} \frac{1}{b} = \overline{1},8288$$

$$\text{Lg} \xi = \overline{2},7683$$

$$\underline{\underline{\xi = +0,059.}}$$

Mit diesem Wert von ξ ergibt sich der vorige Wert von μ^2 .

Die endgültigen Grössen sind also

$$\underline{\underline{\mu^2 = -0,074}}$$

$$\underline{\underline{\xi = +0,059.}}$$

$$1 + \xi = 1,059$$

$$n_1 = 0,2546$$

$$\text{Lg}'(1 + \xi) = \bar{1},97510$$

$$\text{Lg } n_1 = \bar{1},40586$$

$$\text{Lg } n = \bar{1},38096 \quad \text{Formel (109)}$$

$$\text{Lg}' n = 0,61904$$

$$\text{Lg } 2\pi = 0,79818$$

$$\text{Lg } T = 1,41722$$

$$\underline{T = 26^s 1.}$$

Kontrolle nach den Formeln (105) und (106)

$$\mu^2 = -0,074$$

$$\xi = +0,059$$

$$\text{Lg } \mu^2 = \bar{2},8692(n)$$

$$\text{Lg } B_2 = \bar{1},1114 \quad \text{aus der Tab. XII}$$

$$\text{Lg } B_2 \mu^2 = \bar{3},9806(n)$$

$$B_2 \mu^2 = -0,0096$$

$$B_0 = 2,9157 \quad \text{aus der Tab. XII}$$

$$u_0 = 2,9253$$

$$\text{Lg } u_0 = 0,46617$$

$$t_0 = 12^s 163$$

$$\text{Lg}' t_0 = \bar{2},91496$$

$$\text{Lg } n = \bar{1},38113$$

$$\text{Lg}' n = 0,61887$$

$$\text{Lg } 2\pi = 0,79818$$

$$\text{Lg } T = 1,41705$$

$$\underline{T = 26^s 1.}$$

Bestimmung von k .

$$\text{Lg } n = \bar{1},3810$$

$$\text{Lg } \frac{\varphi_1}{\theta_m} = 1,7990$$

$$\xi = +0,059 \quad \text{Lg } F_1 = 0,4749$$

$$\text{Lg } k_1 = 1,6549$$

$$k_1 = 45,2$$

$$\text{Lg } n = \bar{1},3810$$

$$\text{Lg } \frac{\varphi_2}{\theta_m} = 1,4269$$

$$\text{Lg } F_2 = 0,8357 \quad \text{aus der Tab. XVI}$$

$$\text{Lg } k_2 = 1,6436 \quad \text{Formeln (116)}$$

$$k_2 = 44,0$$

$$\begin{array}{lll}
 \mu^2 = -0,074 & \text{Lg } \mu^2 = \bar{2},8692(n) & \text{Lg } \mu^2 = \bar{2},8692(n) \\
 \xi = +0,059 & \text{Lg } \psi_1 = \bar{3},9411(n) & \text{Lg } \psi_2 = \bar{1},5406 \text{ aus der Tab. XI} \\
 \hline
 \text{Lg } \mu^2 \psi_1 = \bar{4},8103 & & \text{Lg } \mu^2 \psi_2 = \bar{2},4098(n) \\
 \mu^2 \psi_1 = +0,0006 & & \mu^2 \psi_2 = -0,0257 \\
 1 + \mu^2 \psi_1 = 1,0006 & & 1 + \mu^2 \psi_2 = 0,9743
 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{ll}
 \text{Lg}'(1 + \mu^2 \psi_1) = \bar{1},9997 & \text{Lg}'(1 + \mu^2 \psi_2) = 0,0113 \\
 \text{Lg } k_1 = 1,6549 & \text{Lg } k_2 = 1,6436 \\
 \hline
 \text{Lg } k = 1,6546 & \text{Lg } k = 1,6549
 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Formeln} \\ (119) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 k = 45,14 & k = 45,18
 \end{array}$$

Im Mittel $k = 45,16,$

oder abgerundet

$$\underline{k = 45,2.}$$

Dieses Zahlenbeispiel lehrt also, dass die zur Bestimmung der Seismographenkonstanten μ^2 , T und k dienenden Rechnungen sehr einfacher Art sind und sich mit Hilfe der verschiedenen beigegebenen Tabellen sehr rasch durchführen lassen.

Der Wert von k bleibt, wenn nur die Entfernung der Pole der betreffenden Magnete unverändert gehalten wird, sehr konstant, wie dies aus den schon längere Zeit andauernden Beobachtungen in Pulkowa sich herausgestellt hat.

Die hier angegebenen Werte von μ^2 und k entsprechen folgenden Distanzen der Magnetpole.

Bei der dämpfenden Kupferplatte $H = 15,0 \text{ m/m}$

Bei den Induktionsspulen $H_1 = 10,0 \text{ m/m}.$

In der folgenden Tabelle sind μ^2 , T und k für andere Werte von H und H_1 angegeben, wie sie sich aus den Beobachtungen ergeben haben.

$H_1 \rightarrow$	15,0 ^m /m			$H_1 \rightarrow$	10,0 ^m /m		
H	μ^2	T	k	H	μ^2	T	k
16,0 ^m /m	+0,007	25,9	28,4	16,0 ^m /m	+0,132	26,2	45,1
15,0	-0,165	26,0	28,0	15,0	-0,074	26,1	45,2

Diese Tabelle zeigt, dass eine Verkleinerung der Poldistanz H_1 um 5^m/m den Wert von k schon sehr stark beeinflusst.

Man kann also durch Aenderung von H_1 die Empfindlichkeit der Registrierung zwischen ziemlich weiten Grenzen variieren. Will man das Pendel sehr empfindlich haben, so wähle man k etwa gleich 50—55.

Diese Tabelle zeigt ausserdem, dass bei $H = 16,0$ ^m/m die Grenze der Aperiodizität noch nicht erreicht, aber bei $H = 15,0$ dieselbe schon überschritten wird. Eine Verschiebung der dämpfenden Magnete um nur 1^m/m macht also in diesem Fall für die Stärke der Dämpfung sehr viel aus.

Durch Interpolation zwischen benachbarten Werten von H kann man den angenäherten Wert von H finden, für welchen die Bedingung $\mu^2 = 0$ (Grenze der Aperiodizität) zutrifft.

Bei $H_1 = 10,0$ ^m/m findet dies etwa bei

$$H = 15,4 \text{ ^m/m}$$

statt.

Mit Hilfe der an den Magneten angebrachten Teilungen, die 0,1 Millimeter abzulesen gestatten, kann man also die Magnete auf die nötige Entfernung einstellen.

Da die Dicke der kupfernen Dämpfungsplatte nur 5,5^m/m beträgt, so bleibt bei der Aperiodizitätsgrenze auf jeder Seite der Platte noch ein etwa 5,0^m/m freier Spielraum übrig. Eine Berührung der Platte mit den Magnetenpolen ist also gar nicht zu befürchten. Dieses ist ein sehr wesentlicher Vorteil der magnetischen Dämpfungsart.

§ 6.

Direkte Bestimmung des Uebertragungsfaktors k .

Im vorigen Paragraphen wurde eine Methode zur Bestimmung des Uebertragungsfaktors k beschrieben, die jedoch nur dann zu verwenden ist, wenn μ^2 seinem absoluten Werte nach 0,20 nicht übersteigt.

Jetzt werde ich kurz eine andere Methode der Bestimmung von k anführen, die für alle Werte von μ^2 anwendbar ist. Dieselbe ist in meinem Aufsatz: «Zur Frage der Bestimmung des Uebertragungsfaktors bei Anwendung der galvanometrischen Registriermethode bei seismometrischen Beobachtungen» (l. c.) ausführlich beschrieben. Bei dieser Methode braucht man die Eigenperiode des Pendels T und die Dämpfungskonstante μ^2 nicht zu kennen. Für das Galvanometer werden wir jedoch, wie üblich, voraussetzen, dass es genau an der Grenze der Aperiodizität sich befindet ($\epsilon_1 = n_1$).

Man erteile dem Pendel eine kleine plötzliche Verschiebung und halte es alsdann fest. Man nehme dazu etwa zwei Stative, lehne den Pendelarm durch Drehung einer der Fusschrauben des Pendelgestells auf eine dieser Stative und verschiebe dann mit der Hand den Pendelarm rasch bis zum anderen Stativ und halte ihn dort fest. Die entsprechende Winkelverschiebung des Pendels sei θ_m , die man wiederum mit Hilfe von Fernrohr und Skala, wenn nötig, unter der Berücksichtigung der Korrektur Δm (siehe die Formel (72)) misst. Die Grösse des Ausschlages θ_m richte man je nach der Grösse des zu bestimmenden Uebertragungsfaktors k ein. Gewöhnlich wird θ_m sehr klein sein. Man muss also das entsprechende Fernrohr in einer passend grossen Entfernung aufstellen.

Das Pendel sei mit dem aperiodischen Galvanometer gekoppelt.

Durch diese plötzliche Verschiebung des Pendels wird dem Galvanometer eine anfängliche Winkelgeschwindigkeit φ'_0 erteilt, die sich unmittelbar aus der Differentialgleichung der Galvanometerbewegung (Formel (31)) ergibt.

$$\varphi'' + 2n_1 \varphi' + n_1^2 \varphi + k\theta' = 0 \dots\dots\dots(31)$$

Integriert man diese Gleichung Glied für Glied zwischen 0 und einer sehr kleinen Grösse τ , so ergibt sich

$$\varphi'_0 = -k\theta_m \dots\dots\dots(120)$$

Von diesem Moment ($t = 0$) an setzt sich das Galvanometer in Bewegung, die folgender Differentialgleichung

$$\varphi'' + 2n_1 \varphi' + n_1^2 \varphi = 0 \dots\dots\dots(121)$$

genügen muss.

Die Anfangsbedingungen der Bewegung sind

$$\varphi_0 = 0$$

und

$$\varphi'_0 = -k\theta_m,$$

daher lautet das Integral der Gleichung (121), wie folgt:

$$\varphi = -k\theta_m t e^{-n_1 t} \dots\dots\dots(122)$$

Das Maximum von φ trifft bei $t = \frac{1}{n_1}$ ein und wird gleich

$$\varphi_m = -k \frac{\theta_m}{n_1 c} \dots\dots\dots(123)$$

Man braucht also nur φ_m mittelst eines Fernrohrs mit Skala zu bestimmen, die man in 1 Meter Entfernung von dem Galvanometerspiegel aufstellt¹⁾.

Da es auf das Vorzeichen von φ_m nicht ankommt, so erhält man aus der Gleichung (123) einfach

$$k = n_1 e \frac{\varphi_m}{\theta_m} \dots\dots\dots(124)$$

n_1 ist eine bekannte Grösse gleich $\frac{2\pi}{T_1}$, wo T_1 die Eigenperiode des Galvanometers ohne Dämpfung bedeutet.

Nach der Formel (124) lässt sich also k in sehr einfacher Weise bestimmen.

Obleich diese Methode bei allen Werten von μ^2 sich anwenden lässt, wird man jedoch bei diesen Seismographen aus den früher angegebenen Gründen für seismometrische Zwecke μ^2 immer möglichst klein zu machen versuchen und k in der im vorigen Paragraphen angegebenen Weise bestimmen.

Man könnte aber eventuell sich dieser zweiten Methode zur Kontrolle bedienen.

§ 7.

Anwendung von Shuntvorrichtungen.

Wir haben früher gesehen, dass man durch Vermehrung der Distanz zwischen den Polen der Magnete bei den Induktionsspulen den Wert des Uebertragungsfaktors k herabsetzen kann. Zu weit darf man aber dabei

¹⁾ $\varphi_m = \frac{1}{2} \frac{m_1 - \Delta m_1}{D_1}$ Siehe die Formel (71) und die Tabelle VIII.

$D_1 = 1000 \text{ m/m.}$

nicht gehen, sonst wird das magnetische Feld zwischen den einander gegenüberliegenden Polen nicht genügend homogen sein.

Will man die Empfindlichkeit der Registrierung noch weiter reduzieren, so kann man sich spezieller Shuntvorrichtungen bedienen, deren Theorie im § 6 meines Aufsatzes «Die elektromagnetische Registriermethode» (l. c.) ausführlich beschrieben ist.

Auf der folgenden Fig. 21 bedeuten G das Galvanometer, vom inneren Widerstand ρ , und S die Induktionsspulen.

Der äussere Widerstand zwischen den Klemmen K_1 und K_2 sei so gewählt, dass das Galvanometer genau an der Grenze der Aperiodizität sich befinde. Dieselbe Bedingung soll auch für das Pendel gelten, also $\mu^2 = 0$ sein.

In diesem Fall muss der äussere Widerstand, d. h. Induktionsspulen + Zuleitungsdrähte, gleich R_a sein, wo R_a durch die Formel (77) gegeben wird.

$$R_a = \frac{c}{n_1 - c_0} - \rho \dots \dots (77)$$

Dieser Widerstand entspricht der Strecke CSB , wobei bei Abwesenheit der Shuntvorrichtungen die Punkte C mit K_1 und B mit K_2 zusammenfallen.

Wir wollen jetzt einen speziellen Shunt anbringen, welcher den durch die Bewegung der Spulen im Magnetfelde induzierten und durch das Galvanometer hindurchgehenden Strom im Verhältnis von σ zu 1 herabsetzt.

Der neue Uebertragungsfaktor k_σ wird ebenfalls in demselben Verhältnis verkleinert, also

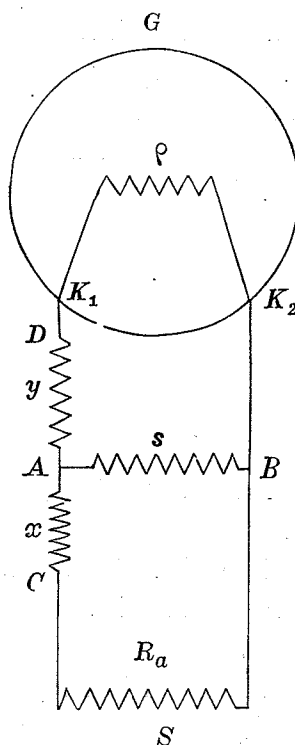
$$k_\sigma = \sigma k \dots \dots \dots (125)$$

σ habe ich *Reduktionsfaktor* genannt.

Bei Herstellung dieses Shunts müssen aber folgende zwei Bedingungen erfüllt werden.

Erstens muss der äussere Widerstand zwischen den Klemmen K_1 und K_2

Fig. 21.



(auf dem Wege der Induktionsspulen) gleich R_a bleiben, um die Bedingung der Aperiodizitätsgrenze für das Galvanometer aufrecht zu erhalten.

Zweitens muss der Widerstand zwischen den Punkten C und B (auf dem Wege des Galvanometers) ebenfalls unverändert und gleich ρ bleiben, sonst werden die Dämpfungsbedingungen für das Pendel etwas geändert, da nicht nur die dämpfende Kupferplatte, sondern auch die Induktionsspulen etwas zur Dämpfung beitragen.

Diese Bedingungen werden erfüllt mittelst einer Shuntvorrichtung, die aus drei Widerständen AC , AD und AB besteht, die alle einen gemeinsamen Punkt in A haben. Die Verbindung derselben mit dem Galvanometer und den Induktionsspulen ist aus der Fig. 21 zu ersehen. Diese Widerstände wollen wir respektive durch x , y und s bezeichnen. Der Widerstand der Drahtstrecke K_2B soll so klein werden, dass man ihn vernachlässigen kann. Man kann aber auch einfach B mit K_2 zusammenfallen lassen.

Nun bestehen zwischen allen diesen Widerständen und σ , wenn die beiden oben erwähnten Bedingungen erfüllt sind, folgende Beziehungen:

$$\sigma = \frac{\rho - x}{R_a + x} \dots\dots\dots (126)$$

$$y = R_a - \rho + x \dots\dots\dots (127)$$

$$s = \frac{(R_a + x)(\rho - x)}{R_a - \rho + 2x} \dots\dots\dots (128)$$

x kann beliebig gewählt werden, aber es muss immer kleiner als ρ sein.

Dann berechnen sich aus der Formel (126) der entsprechende Wert von σ und aus den Formeln (127) und (128) die Werte der Widerstände y und s .

Die Formel (126) zeigt ausserdem, dass σ immer beliebig klein gemacht werden kann, aber es kann nicht den Grenzwert (für $x = 0$)

$$\sigma_m = \frac{\rho}{R_a} \dots\dots\dots (129)$$

überschreiten.

Zum Beispiel für das Galvanometer № VI hatten wir im Paragraphen 3

$$\rho = 4,12 \Omega$$

und

$$R_a = 21,22 \Omega,$$

also

$$\sigma_m = \frac{\rho}{R_a} = 0,194.$$

Wir sehen also, dass man mittelst dieser Shuntvorrichtungen die Empfindlichkeit der Registrierung etwa auf $\frac{1}{5}$ reduzieren und k_σ noch weiter herabsetzen kann, aber σ kann keinen Wert zwischen 0,2 und 1 annehmen. Will man z. B. k etwa auf die Hälfte reduzieren, so muss man schon die entsprechenden Magnete auf die passende Entfernung einstellen; durch diese Shuntvorrichtungen ist dies nicht mehr zu erzielen.

Zur Herstellung aller drei Widerstände des Shunts nehme man einen dünnen besponnenen Draht, dessen Widerstand pro Meter aus Messungen mit der Wheatstone'schen Brücke bekannt ist¹⁾, und schneide die passenden Längen für x , y und s ab. Man lege alsdann jedes Drahtstück in zwei zusammen und wickele dieselben um einander herum, um eine induktionsfreie Wickelung zu erzielen. Alsdann rolle man jeden Widerstand zu einer Spule und löte die drei Enden derselben in A zusammen. Dann lege man die drei Spulen in einen kleinen Kasten, sodass die drei Drahtenden B , C und D aus demselben herausragen und giesse in denselben geschmolzenes Paraffin.

Den so angefertigten Shunt muss man immer in der unmittelbaren Nähe des betreffenden Galvanometers anbringen.

In der Praxis für seismometrische Zwecke wird man kaum solche Shuntvorrichtungen anwenden, da es äusserst selten vorkommt, dass man die Empfindlichkeit der Registrierung so stark herabzusetzen braucht. Aber bei der Bestimmung des wahren Wertes des Uebertragungsfaktors k können solche Shuntvorrichtungen von Nutzen sein.

Man bringe einen solchen Shunt an und ermittle in der im § 5 beschriebenen Weise den Wert von k_σ . In diesem Fall kann man schon viel grössere Ausschläge θ_m dem Pendel erteilen und, da man jetzt das entsprechende Fernrohr näher aufstellen kann, so kann man θ_m viel genauer bestimmen. In dieser Hinsicht ist die Anwendung einer solchen Shuntvorrichtung vorteilhaft.

Da der Reduktionsfaktor σ bekannt ist, so kann man aus k_σ sofort k nach der Formel (125) ermitteln.

1) Man muss dabei den entsprechenden Widerstand auf die mittlere Temperatur des Beobachtungsraumes, wo die Galvanometer stehen, reduzieren.

§ 8.

Verarbeitung von Erdbebendiagrammen. Bestimmung der Lage eines Epizentrums. Allgemeines Integrationsverfahren.

Die zur Verarbeitung von Seismogrammen dienenden Formeln sind im § 2, wo die allgemeine Theorie des Seismographen dargelegt ist, angegeben. Zur Erläuterung derselben werde ich sie auf einige aus der Praxis entnommene Beispiele anwenden.

Ich werde mit der Bestimmung der angenäherten Lage des Epizentrums eines Bebens aus den Angaben einer *einzelnen* seismischen Station beginnen. Als Beispiel werde ich das grosse Isländische Beben vom 22. Januar 1910 nehmen.

Auf der Fig. 22 findet sich die Reproduktion einer Kopie der ersten Vorphase dieses Bebens *in natürlicher Grösse*. Beide Galvanometer registrierten dabei auf einer und derselben Trommel.

Die Originalkurve, welche der *NS*-Komponente entspricht, hat kurze Unterbrechungen, welche vollen Minuten der zugehörigen Kontaktuhr entsprechen.

Auf dieser Kopie sind diese Unterbrechungen nicht gezeichnet und die entsprechende Kurve schwarz gezogen.

Die *EW*-Komponente ist zur Anschaulichkeit in roter Farbe wiedergegeben.

Die *EW*-Komponente wurde vom Pendel № II — Galvanometer № IV, und die *NS*-Komponente vom Pendel № III — Galvanometer № V gezeichnet.

Die entsprechenden Seismographenkonstanten an diesem Tage waren die folgenden:

	<i>EW-Komponente.</i>	<i>NS-Komponente.</i>
	<i>Pendel II.</i>	<i>Pendel III.</i>
Pendelperiode	$T = 23,2$	$T = 23,2$
Galvanometerperiode	$T_1 = 23,0$	$T_1 = 23,2$
Dämpfungskonstante	$\mu^2 = 0,010$	$\mu^2 = 0,00$
Uebertragungsfaktor	$k = 47,6$	$k = 55,5$
Reduzierte Pendellänge	$l = 186,2 \text{ m/m}$	$l = 185,8 \text{ m/m}$
Entfernung der Trommel vom Galvanometerspiegel	$A_1 = 1116 \text{ m/m}$	$A_1 = 1127 \text{ m/m}$

Auf Grund der Formel (38), nach welcher die Konstante

$$C_1 = \frac{\pi l}{kA_1}$$

wird, ergibt sich

$$\text{Lg } C_E = 2,0419 \qquad \text{Lg } C_N = 3,9700,$$

also

$$\text{Lg } \frac{C_E}{C_N} = 0,0719.$$

Wir sehen also, dass die Bedingungen der Aperiodizität ($\mu^2 = 0$) der Pendel und die Gleichheit aller Pendel- und Galvanometerperioden fast ganz genau erfüllt waren.

Die Fig. 22 zeigt, dass der Einsatz der ersten Vorläufer *P* auf diesem Galvanometerseismogramm ungemein stark und ausgeprägt war. Auch der Einsatz der zweiten Vorläufer *S*, wo ein neuer heftiger Wellenzug eingetreten war; lässt sich sehr gut erkennen.

Die entsprechenden Momente sind:

$$\left. \begin{array}{l} P - 8^h 53^m 19^s \\ S - 8 57 14 \end{array} \right\} \text{M. G. Z.}$$

Also

$$S - P = 235 \text{ Sek.}$$

Nach den Wiechert-Zöppritz'schen Laufzeitkurven ergibt sich also für die Epizentralentfernung

$$\underline{\Delta = 2400 \text{ Klm.}}$$

Im Winkelmaass ist also

$$\Delta^\circ = 21,6.$$

Nun ersieht man aus dem Seismogramm, dass die erste Verrückung (bei *P*) für die *EW*-Komponente nach oben und die für die *NS*-Komponente nach unten erfolgte. Dies entspricht bei der getroffenen Verbindung der Pendel mit den entsprechenden Galvanometern einer Bodenverrückung nach *SE*. Das bedeutet, dass die ersten longitudinalen seismischen Wellen aus *NW* herstammten.

Der entsprechende Azimut ergibt sich nach der Formel (43).

$$\text{tg } \alpha = \frac{C_E}{C_N} \cdot \frac{y_E}{y_N}, \dots \dots \dots (43)$$

wo y_E und y_N auf dem Galvanometerseismogramm die entsprechenden ersten maximalen Ablenkungen der Lichtpunkte von ihren Ruhelagen bedeuten.

Es wurden nun y_E und y_N mit Hilfe eines Wanschaff'schen Koordinatenmessers unter einem Mikroskop gemessen.

Vor dem eigentlichen ersten Maximum befindet sich auf dem Galvanometerseismogramm ein kleiner Knick auf der Kurve. Die Entfernung desselben von der Nulllinie wurde ebenfalls ausgemessen und aus den so erhaltenen Azimuten das Mittel genommen.

Es ergab sich für das Originalseismogramm nun folgendes:

<i>Knick.</i>	<i>Grösste Ablenkung.</i>
$y_E = 8,61 \text{ m/m}$	$y_E = 10,03 \text{ m/m}$
$y_N = 8,77$	$y_N = 9,99$
$\text{Lg } y_E = 0,9350$	$\text{Lg } y_E = 1,0013$
$\text{Lg}' y_N = 1,0570$	$\text{Lg}' y_N = 1,0004$
$\text{Lg } \frac{C_E}{C_N} = 0,0719$	$\text{Lg } \frac{C_E}{C_N} = 0,0719$
$\text{Lg tg } \alpha = 0,0639$	$\text{Lg tg } \alpha = 0,0736$
$\alpha = 49,2$	$\alpha = 49,8$

Im Mittel $\alpha = NW 49,5.$

Die Polarkoordinaten des Epizentrums inbezug auf Pulkowa sind also

$$\Delta^\circ = 21,6$$

und

$$\alpha = NW 49,5.$$

Die geographischen Koordinaten von Pulkowa sind

$$\varphi_0 = 59,8 \text{ N}$$

und

$$\lambda_0 = 30,3 \text{ E.}$$

Auf Grund dieser Zahlen berechnen sich nach den Formeln (47), (48) und (49)

$$\chi = 14,4$$

$$\theta_e = 22,5$$

$$\gamma = 46,9.$$

Daraus ergibt sich für die geographischen Koordinaten φ_e und λ_e des Epizentrums

$$\varphi_e = 90 - \theta_e = 67,5$$

und

$$\lambda_e = \lambda_0 - \gamma = -16,6,$$

also abgerundet

$$\underline{\varphi_e = 68^\circ N}$$

$$\underline{\lambda_e = 17^\circ W.}$$

Dies ist das Resultat, welches sich aus den Angaben der Pulkowaer seismischen Station *allein* ergeben hat.

Indessen hat auch Dr. Tams die Lage dieses Epizentrums festgestellt, durch Kombinieren der Epizentralentfernungen Δ für 6 verschiedene Stationen, nämlich Hamburg, Strassburg, Pulkowa, Parc St.-Maur, Wien und Ottawa¹⁾. Er hat diese Daten nach der Methode der kleinsten Quadrate behandelt und gelangte zu genau denselben Werten von φ_e und λ_e ($\varphi_e = 68^\circ N$, $\lambda_e = 17^\circ W$).

Auch Prof. Klotz in Ottawa hat, unabhängig von Dr. Tams, die Lage dieses Epizentrums aus den Epizentralentfernungen für verschiedene Stationen bestimmt, aber, anstatt eine rechnerische Methode anzuwenden, hat er die stereographische Projektion benutzt. Er fand für φ_e und λ_e ebenfalls dieselben Werte wie ich und Dr. Tams.

Wir sehen also, dass man mit den hier beschriebenen Seismographen wirklich imstande ist, die angenäherte Lage eines Epizentrums aus den Angaben einer *einzelnen* Station in ganz zuverlässiger Weise zu bestimmen.

Um dies zu erzielen, müssen aber die betreffenden Seismographen folgenden Bedingungen genügen:

- 1) Sie müssen eine sehr hohe Empfindlichkeit besitzen (galvanometrische Registrierungsart);
- 2) sehr stark gedämpft sein (magnetische Dämpfung bis zur Aperiodizitätsgrenze);
- 3) jede Komponente muss vorzugsweise von einem besonderen Apparat aufgezeichnet werden (Anwendung von zwei Horizontalpendeln).

Das nächste Beispiel bezieht sich auf die Bestimmung der wahren Amplituden der Bodenbewegung für harmonische Bebenwellen während der

¹⁾ Siehe die «Mitteilungen der Hauptstation für Erdbebenforschung am Physikalischen Staatslaboratorium zu Hamburg». № 7^a 1910.

Maximalphase. Dazu werde ich das charakteristische Beben vom 9. Februar 1909 wählen¹⁾.

Ich werde die entsprechenden Rechnungen alle hier durchführen, um zugleich ein Schema zu geben, wie diese Rechnungen am bequemsten anzustellen sind. Mit Hilfe der beigegebenen Tabellen lässt sich dieses sehr schnell und leicht bewerkstelligen.

Auf der Fig. 23 ist eine Kopie eines Teiles der Aufzeichnungen des Seismographen für die *NS*-Komponente *in natürlicher Grösse* wiedergegeben.

Aus derselben erkennt man zunächst, dass der Einsatz der ersten und zweiten Vorläufer (*P* und *S*) ungemein scharf und ausgeprägt war.

Es ergab sich

$$\left. \begin{array}{l} P = 11^h 28^m 35^s \\ S = 11 \ 32 \ 24 \end{array} \right\} \text{M. G. Z.}$$

Also

$$S - P = 229^s$$

und

$$\Delta = 2350 \text{ Klm.}^2).$$

Auch der Anfang der langen Wellen lässt sich sehr gut erkennen.

Es ist

$$L = 11^h 33^m 47^s.$$

Jetzt gehen wir zu der Auswertung der verschiedenen Maximen über.

Die entsprechenden Formeln lauten:

$$x_m = C_1 (1 + u_1^2) \cdot (1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)} \cdot \frac{y_m}{T_p}, \dots \dots \dots (37)$$

$$C_1 = \frac{\pi l}{k A_1}, \dots \dots \dots (38)$$

$$U = (1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)}, \dots \dots \dots (25)$$

$$f(u) = \left[\frac{2u}{1 + u^2} \right]^2 \dots \dots \dots (20)$$

$$u = \frac{T_p}{T}$$

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

¹⁾ Erstes Beben an diesem Tage.

²⁾ Nach der neulich von Prof. Zeissig zusammengestellten Tabelle würde diese Entfernung Δ 2310 Klm. betragen.

Die Bedeutung dieser Buchstaben wollen wir nochmals ins Gedächtnis zurückrufen.

Es ist

T_p — die Periode der Bebenwelle,
 T — die Periode des Pendels
 T_1 — die Periode des Galvanometers } (ohne Dämpfung),

μ^2 — die Dämpfungskonstante,

C_1 — eine zusammengesetzte Seismographenkonstante,

y_m — die gemessene Amplitude am Galvanometerseismogramm

und

x_m — die gesuchte Amplitude der wahren Bodenbewegung.

Im folgenden sollen bedeuten:

t_m — den Moment eines Maximums auf dem Galvanometerseismogramm (Umkehrpunkt der Kurve, dort wo die Buchstaben M stehen),

t_{x_m} — den wahren Moment des entsprechenden Maximums der Bodenbewegung (x_m)

und

$\tau + \tau_1 = t_m - t_{x_m}$ — die entsprechende Zeitverspätung in dem Auftreten dieses Maximums auf der Galvanometerkurve (siehe die Formeln (21) und (34)).

Bezüglich der Ausmessung von y_m und T_p muss folgendes bemerkt werden.

Man wähle zuerst auf dem Seismogramm einige Punkte M , dort, wo die Kurve einen möglichst regelmässigen, sinusartigen Charakter aufweist und messe alsdann mit Hilfe des früher erwähnten auf Glas aufgetragenen Koordinatennetzes oder mit Hilfe eines Koordinatenmessers die Differenz der Ordinaten von M und zwei benachbarten Kurvenscheiteln (auf der anderen Seite der Nulllinie), und aus den so erhaltenen Zahlen bilde man das Mittel. Wäre die Kurve eine echte Sinusoide, so würden selbstverständlich beide Zahlen einander gleich sein. Der so erhaltene Mittelwert soll als die doppelte Amplitude $2y_m$ aufgefasst werden. Zur Bestimmung der entsprechenden Periode T_p misst man die lineare Entfernung zwischen denselben zwei zu M benachbarten Scheiteln der Kurve und, da die Länge einer Minute aus den kurzen Kurvenunterbrechungen, die jedoch auf dieser Kopie nicht wiedergegeben sind, bekannt ist, so kann man T_p sofort ermitteln.

Dabei muss man sich noch merken, auf welcher Seite der Zeitaxe das

entsprechende Maximum M liegt, oben oder unten, um zu wissen, ob die diesem Maximum entsprechende Bodenverschiebung x_m nach Norden oder Süden erfolgte.

Die auf der Fig. 23 wiedergegebene Kurve wurde vom Pendel III, welches mit dem Galvanometer V gekoppelt war, aufgezeichnet.

Maxima →	M_1 (oben)	M_2 (unten)	M_3 (oben)	M_4 (unten)	
t_m	11 ^h 38 ^m 4 ^s	11 ^h 38 ^m 48 ^s	11 ^h 40 ^m 9 ^s	11 ^h 40 ^m 52 ^s	} Aus dem Originalseis- mogramm entnommen.
T_p	18 ^s 3	16 ^s 4	12 ^s 2	13 ^s 1	
$2y_m$	+ 89,25 m/m	− 88,6 m/m	+ 50,5 m/m	− 49,25 m/m	
u	0,828	0,742	0,552	0,593	} Aus der Tabelle II.
u_1	0,772	0,692	0,515	0,553	
$\text{Lg}(1 + u_1^2)$	0,2030	0,1699	0,1022	0,1159	Aus der Tab. III.
$\text{Lg } U$	0,1878	0,1538	0,0873	0,1004	Aus der Tab. V.
$\text{Lg } 2y_m$	1,9506	1,9474(n)	1,7033	1,6924(n)	
$\text{Lg } \frac{1}{T_p}$	$\bar{2},7375$	$\bar{2},7852$	$\bar{2},9136$	$\bar{2},8827$	
$\text{Lg } C_1$	$\bar{3},9958$	$\bar{3},9958$	$\bar{3},9958$	$\bar{3},9958$	
$\text{Lg } 2x_m$	$\bar{1},0747$	$\bar{1},0521(n)$	$\bar{2},8022$	$\bar{2},7872(n)$	
$2x_m$	+ 0,1188	− 0,1127	+ 0,0634	− 0,0613	
$\frac{\tau}{T_p}$	0,283	0,301	0,347	0,337	Aus der Tab. VI.
$\frac{\tau_1}{T_p}$	0,541	0,558	0,598	0,589	Aus der Tab. VII.
$\frac{\tau + \tau_1}{T_p}$	0,824	0,859	0,945	0,926	
$\tau + \tau_1$	15 ^s 1	14 ^s 1	11 ^s 5	12 ^s 1	
t_{x_m}	11 ^h 37 ^m 49 ^s	11 ^h 38 ^m 34 ^s	11 ^h 39 ^m 57 ^s	11 ^h 40 ^m 40 ^s	} Endgültiges Resultat.
T_p	18 ^s 3	16 ^s 4	12 ^s 2	13 ^s 1	
x_m	+ 59 ^μ	− 56 ^μ	+ 32 ^μ	− 31 ^μ	
in Mikronen					

Seine Konstanten zu dieser Zeit waren die folgenden:

$$T = 22,1$$

$$T_1 = 23,7$$

$$\mu^2 = + 0,17$$

$$\text{Lg } C_1 = \bar{3},9958.$$

Es wurden 4 Maxima ausgemessen, die in folgender Weise verarbeitet wurden. Dabei wollen wir einer Bodenverschiebung nach Norden das Vorzeichen + beilegen. (Siehe die Tabelle auf Seite 109).

Das Ende F dieses Bebens fand etwa bei 13,3 statt.

Es müssen in den seismischen Berichten für die verschiedenen Maximen die wahren Momente t_{x_m} und nicht die t_m angegeben werden. Nur dann ist ein rationeller Vergleich zwischen den Angaben verschiedener Stationen möglich.

Das dritte Beispiel bezieht sich auf die Bestimmung eines Maximums y_m auf einem Seismogramm, wo die Ausschläge schon so gross geworden sind, dass der betreffende Umkehrpunkt der Kurve auf dem Papierbogen nicht mehr vorliegt: Extrapolation auf Grund der Formel (50) (siehe auch die Fig. 16).

$$y_m = \frac{c}{\text{Sin} \left\{ \frac{b-a}{b} \cdot \frac{\pi}{2} \right\}} \dots \dots \dots (50)$$

Diese Extrapolation ist nur dann zulässig, wenn die Kurve an der betreffenden Stelle wirklich einen sinusartigen Charakter aufweist.

Die folgenden Zahlen beziehen sich auf 6 verschiedene Maximen. Für jedes derselben wurden immer drei Paar zusammengehöriger Werte von $b - a$ und c (siehe die Fig. 16) ausgemessen und für jedes Paar der entsprechende Wert von y_m nach der Formel (50) abgeleitet.

Die Uebereinstimmung zwischen den einzelnen so erhaltenen y_m gibt einen Aufschluss über die Genauigkeit dieser Art Extrapolation.

Diese Zahlen beziehen sich auf das grosse Mexicanische Beben vom 26/27 III 1908.

Diese Beispiele zeigen, dass mit Hilfe dieser Extrapolation y_m gewöhnlich mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden kann.

a	b	c	$b - a$	y_m	Mittelwerte von y_m
3,76 m/m 3,47 3,15	} 5,14 m/m {	50 m/m 60 70	1,38 m/m 1,67 1,99	122,1 m/m 122,8 122,5	} 122,5 m/m {
2,84 2,27 1,56	} 5,10 {	50 60 70	2,26 2,83 3,54	78,0 78,4 78,9	} 78,4 {
3,29 2,96 2,57	} 5,39 {	70 80 90	2,10 2,43 2,82	121,8 123,0 122,9	} 122,6 {
3,66 3,44 3,14	} 5,24 {	70 80 90	1,58 1,60 2,10	153,5 155,7 152,9	} 154,0 {
3,32 2,99 2,54	} 5,41 {	70 80 90	2,09 2,42 2,87	122,8 123,8 121,6	} 122,7 {
3,55 3,15 2,78	} 5,80 {	70 80 90	2,25 2,65 3,02	122,3 121,6 123,3	} 122,4 {

Zur Zeit begnügt man sich gewöhnlich bei der Auswertung von Seismogrammen, ausser der Bestimmung der Eintrittsmomente verschiedener Bebenphasen, nur mit dem Studium einzelner, recht ausgeprägter Maximen.

Es wäre aber eine sehr wichtige Aufgabe der Seismometrie, nicht nur die einzelnen harmonischen Wellen zu studieren, sondern auch die Superposition verschiedener Wellenarten näher zu erforschen.

Ein noch allgemeineres Problem wäre es, den Gang der betreffenden Komponente der Bodenbewegung als Funktion der Zeit während der ganzen

Dauer eines Bebens, oder wenigstens für ein bestimmtes Zeitintervall, zu verfolgen. Dieses Problem ist, wie ich es schon früher erwähnt habe, von einigen Autoren angegriffen worden, allein bietet dasselbe zur Zeit noch grosse Schwierigkeiten dar und ist mit einem sehr grossen Zeitaufwand verknüpft.

Ich möchte aber, der Vollständigkeit halber, diese Frage hier doch etwas näher besprechen, da sie von grosser Wichtigkeit ist.

Ich werde dabei mit dem einfachsten Fall anfangen, wo die Pendelbewegungen direkt optisch registriert werden und dann schon zu der galvanometrischen Registrierungsart übergehen.

Die mechanische Registrierungsart schliesse ich von vornherein aus, da dieselbe infolge der verschiedenen Reibungsverhältnisse so viel Unbestimmtes und Unsicheres, speziell für kleine Amplituden, in sich enthält, dass man kaum bei dieser Registriermethode diese recht schwere und delikate Aufgabe angreifen kann.

Die Differentialgleichung der Bewegung des Horizontalpendels wird durch die Formel (4) gegeben

$$\theta'' + 2\varepsilon\theta' + n^2\theta + \frac{1}{l}x'' = 0 \dots\dots\dots(4)$$

Man befestige zur Registrierung einen kleinen Spiegel in der Nähe der Drehungsaxe des Pendels und es sei A die Entfernung dieses Spiegels von der Oberfläche der Trommel des Registrierapparates in der Richtung des normal einfallenden Strahles. Die dem Winkelausschlag θ entsprechende Ablenkung des Lichtpunktes sei y . Dann ist

$$y = 2A \cdot \theta^1) \dots\dots\dots(130)$$

Multiplizieren wir die Gleichung (4) mit $2A$ und beachten dabei, dass $\frac{2A}{l}$ das normale Vergrösserungsverhältnis \mathfrak{B}_0 für unendlich kleine Wellenperioden bedeutet (siehe die Formeln (22) und (26)), so wird

$$y'' + 2\varepsilon y' + n^2 y + \mathfrak{B}_0 x'' = 0 \dots\dots\dots(131)$$

Die Konstanten ε , n^2 und \mathfrak{B}_0 sollen als bekannt angesehen werden.

Nun sei x eine unbekannte Funktion der Zeit t , etwa

$$x = f(t), \dots\dots\dots(1)$$

die ermittelt werden muss.

¹⁾ Siehe die Formel (22).

y als Funktion von t ist bekannt, da diese Funktion durch das entsprechende Seismogramm gegeben wird.

Es sei also

$$y = F(t) \dots\dots\dots(132)$$

eine bekannte Funktion.

Das Hauptproblem der Seismometrie besteht darin, aus der bekannten Funktion $F(t)$ die unbekannte $f(t)$ abzuleiten und zwar für die ganze Dauer eines Bebens und für jede Komponente der Bodenbewegung besonders.

Wollen wir mit dem einfachsten Fall anfangen.

Es sei bis zum Zeitmoment $t = 0$ alles in Ruhe, also $x_0 = 0$ und $y_0 = 0$. In diesem Moment fängt eine Bodenbewegung an. Die entsprechenden anfänglichen Geschwindigkeiten seien x'_0 und y'_0 .

y'_0 kann aus der Gleichung (131) bestimmt werden.

Integriert man dieselbe Gleichung für y zwischen $t = 0$ und $t = \tau$, wo τ ein sehr kleines Zeitintervall bedeutet, so wird

$$y'_0 = -\mathfrak{B}_0 x'_0 \dots\dots\dots(133)$$

sein.

Um nun x als Funktion von t zu bestimmen, integrieren wir die Gleichung (131) Glied für Glied zwischen 0 und t .

Es ergibt sich

$$y' - y'_0 + 2\varepsilon(y - y_0) + n^2 \int_0^t y dt + \mathfrak{B}_0(x' - x'_0) = 0,$$

oder, mit Rücksicht darauf, dass $y_0 = 0$ ist und y'_0 durch die Formel (133) gegeben wird,

$$y' + 2\varepsilon y + n^2 \int_0^t y dt + \mathfrak{B}_0 x' = 0 \dots\dots\dots(134)$$

Integrieren wir jetzt in derselben Weise wie früher diese Gleichung noch einmal zwischen 0 und t , so folgt, da y_0 und x_0 beide gleich Null sind,

$$y + 2\varepsilon \int_0^t y dt + n^2 \int_0^t dt \int_0^t y dt + \mathfrak{B}_0 x = 0,$$

oder

$$x = -\frac{1}{\mathfrak{B}_0} \left[y + 2\varepsilon \int_0^t y dt + n^2 \int_0^t dt \int_0^t y dt \right] \dots\dots\dots(135)$$

Die in dieser Formel vorkommenden Integrale können durch einfache Quadraturen, etwa durch Ausmessung einer Anzahl aequidistanter Ordinaten, bestimmt werden.

x lässt sich also als Funktion von t berechnen.

Diese Formel setzt aber voraus, dass wir wirklich aus dem Ruhezustand des Bodens und des Instrumentes ausgingen und dass die erste Derivierte von x nach der Zeit eine *stetige* Funktion von t ist. Diese letzte Bedingung trifft aber keineswegs im Allgemeinen zu; höchstens wird sie für eine kurze Strecke des anfänglichen Teils der ersten Vorphase erfüllt. Gewöhnlich hat man es mit einer Superposition gedämpfter Wellen zu tun, die zu dem Beobachtungsort zu *verschiedenen* Zeiten gelangen, infolgedessen wird die Funktion $x = f(t)$ eine Anzahl singulärer Punkte haben, wo die erste Derivierte dieser Funktion unstetig wird. (Points angulaires).

Setzen wir nun einen allgemeinen Fall voraus, nämlich dass zum Zeitmoment $t = t_1$, $x = x_1$, $x' = x_1'$, $y = y_1$ und $y' = y_1'$ wird.

In diesem Moment soll nun ein neuer Wellenzug eintreten, welcher einem Bodenteilchen eine neue *resultierende* Geschwindigkeit x_2' erteilt. Auf dem entsprechenden Seismogramm wird dann ein kleiner Knick vorhanden sein und die neue Geschwindigkeit wird etwa y_2' sein.

Um y_2' zu bestimmen, integrieren wir die Gleichung (131) Glied für Glied zwischen $t = t_1$ und $t = t_1 + \tau$, wo τ eine sehr kleine Grösse ist.

Dann wird

$$y_2' - y_1' + \mathfrak{B}_0(x_2' - x_1') = 0,$$

oder

$$y_2' = y_1' - \mathfrak{B}_0(x_2' - x_1') \dots \dots \dots (136)$$

Wollen wir nun den Moment $t = t_1$ für den neuen Anfangspunkt der Zeitzählung wählen und alsdann die Gleichung (131) Glied für Glied zwischen 0 und t integrieren. Zwischen diesen Grenzen soll die Funktion $f(t)$ keine singulären Punkte haben.

Die neuen Anfangsbedingungen für $t = 0$ sind jetzt

$$\begin{aligned} x_0 &= x_1 & y_0 &= y_1 \\ x_0' &= x_2' & y_0' &= y_2' = y_1' - \mathfrak{B}_0(x_2' - x_1'). \end{aligned}$$

Es ergibt sich dann

$$y' - \{y_1' - \mathfrak{B}_0(x_2' - x_1')\} + 2\varepsilon(y - y_1) + n^2 \int_0^t y dt + \mathfrak{B}_0(x' - x_2') = 0,$$

oder

$$y' + 2\varepsilon y + n^2 \int_0^t y dt + \mathfrak{B}_0 x' = [y_1' + 2\varepsilon y_1 + \mathfrak{B}_0 x_1'] \dots (137)$$

Das auf der rechten Seite dieser Gleichung stehende Glied ist eine konstante Grösse.

Wollen wir nun die Gleichung (137) nochmals zwischen 0 und t integrieren.

Dann folgt

$$y - y_1 + 2\varepsilon \int_0^t y dt + n^2 \int_0^t dt \int_0^t y dt + \mathfrak{B}_0 (x - x_1) = [y_1' + 2\varepsilon y_1 + \mathfrak{B}_0 x_1'] \cdot t,$$

oder

$$x = x_1 - \frac{1}{\mathfrak{B}_0} \left[\left\{ y + 2\varepsilon \int_0^t y dt + n^2 \int_0^t dt \int_0^t y dt \right\} - y_1 - \{y_1' + 2\varepsilon y_1 + \mathfrak{B}_0 x_1'\} t \right] \dots (138)$$

Wären die anfänglichen Bedingungen x_1, y_1, x_1' und y_1' bekannt, so könnte x als Funktion von t ausgerechnet werden.

Die allgemeine Formel (138) behält ihre Gültigkeit bis zum Einsetzen eines neuen Wellenzuges.

Wir haben bisjetzt vorausgesetzt, dass die auf dem Seismogramm gemessenen Ordinaten y ganz richtig sind, mit anderen Worten, dass wir die genaue Lage der Nulllinie der Kurve kennen. Es können aber alle gemessenen y mit einem konstanten Fehler α behaftet werden, sodass in der Formel (138) zu allen y eine konstante Grösse α hinzuaddiert werden muss.

Es ist aber auch denkbar, dass die Linie, von welcher aus wir die Ordinaten messen, etwas gegen die richtige Nulllinie geneigt ist; dann wird noch eine zweite, veränderliche, der Zeit proportionale Korrektur für die verschiedenen y nötig sein.

Diese Neigung kann auf jeden Fall nur sehr klein sein, da sie sich sonst sofort bemerkbar machen würde.

Wollen wir also dementsprechend in der Formel (138) zu allen gemessenen y die Korrektur

$$\alpha + \beta t$$

hinzufügen, wo α und β entweder positiv oder negativ ausfallen können.

Dann folgt

$$\begin{aligned}
 x = x_1 - \frac{1}{\mathfrak{B}_0} & \left[\{y + \alpha + \beta t\} + 2\varepsilon \left\{ \int_0^t y dt + \alpha t + \frac{1}{2} \beta t^2 \right\} \right. \\
 & + n^2 \left\{ \int_0^t dt \int_0^t y dt + \frac{1}{2} \alpha t^2 + \frac{1}{6} \beta t^3 \right\} - \{y_1 + \alpha\} \\
 & \left. - \{y_1' + \beta + 2\varepsilon y_1 + 2\varepsilon \alpha + \mathfrak{B}_0 x_1' \} t \right].
 \end{aligned}$$

Es hebt sich in diesem Ausdruck eine Anzahl Glieder gegenseitig auf und wir bekommen schliesslich die folgende allgemeine, endgiltige Formel:

$$x = x_1 - \frac{1}{\mathfrak{B}_0} \left[y + 2\varepsilon \int_0^t y dt + n^2 \int_0^t dt \int_0^t y dt - \{A + Bt + Ct^2 + Dt^3\} \right], \quad (139)$$

wo die Konstanten A , B , C und D folgende Bedeutung haben:

$$\left. \begin{aligned}
 A &= + y_1 \\
 B &= + [y_1' + 2\varepsilon y_1 + \mathfrak{B}_0 x_1'] \\
 C &= - \frac{1}{2} [n^2 \alpha + 2\varepsilon \beta] \\
 D &= - \frac{1}{6} n^2 \beta
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (140)$$

Wir haben bei diesen Rechnungen angenommen, dass im Momente $t = 0$ ein neuer Wellenzug eingetroffen ist. Diese Voraussetzung können wir aber fallen lassen, da x_2' in dem Ausdrucke (139) für x gar nicht enthalten ist, und nur x_1 , x_1' , y_1 und y_1' vom Belang sind. Der gewählte Punkt der Zeitzählung kann also ein ganz *beliebiger* Punkt des Seismogrammes sein.

Wollen wir nun folgende Bezeichnungen einführen:

$$\dots \dots \dots I = y + 2\varepsilon \int_0^t y dt + n^2 \int_0^t dt \int_0^t y dt \dots \dots \dots (141)$$

$$P = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 \dots \dots \dots (142)$$

Dann wird

$$x = x_1 - \frac{1}{\mathfrak{B}_0} [I - P] \dots \dots \dots (143)$$

P ist ein Polynom dritten Grades.

Wollen wir jetzt voraussetzen, dass α und β beide gleich Null sind, dass also alle Ordinaten richtig gemessen sind.

x kann der Natur der Sache nach nicht stetig mit t wachsen, somit muss unbedingt in dem Ausdruck von I ein polynomisches Glied enthalten sein.

Nun haben diejenigen Autoren, welche sich mit dieser Frage befasst haben, gefunden, dass man bei Anwendung dieser Integrationsmethode mit Quadraturen eine Kurve für x bekommt, die mit der Zeit immer weiter und weiter von der Zeitaxe sich entfernt.

Sie haben auch die Vermutung ausgesprochen, dass dieses anomale Verhalten der Kurve auf gewissen Fehlern in der Bestimmung von y beruht (Einfluss von α und β).

Meines Erachtens liegt der Hauptgrund dafür garnicht in der fehlerhaften Bestimmung der Ordinaten, da bei einer sorgfältigen Ausmessung der Kurven α und β nur sehr klein sein können und ausserdem in den Konstanten A und B garnicht auftreten, sondern hauptsächlich darin, dass die Integrierung der Kurve vorgenommen wurde, ohne genügende Rücksicht auf die Anfangsbedingungen der Bewegungen zu nehmen, welche ausserdem beim Auftreten von neuen Wellenzügen sich fortwährend ändern.

Diese Anfangsbedingungen müssen *unbedingt* in Betracht gezogen werden und eine durchlaufende Integration der Kurve, wenn man auch von dem Moment des ersten Auftretens von P anfängt, ist *ganz und gar unzulässig*.

Das folgende kleine Beispiel wird diese Sache erläutern.

Wollen wir der Einfachheit wegen voraussetzen, dass das betreffende Pendel ganz und gar ungedämpft sei ($\varepsilon = 0$).

Dann haben wir die Gleichung¹⁾

$$y'' + n^2 y + \mathfrak{B}_0 x'' = 0 \dots\dots\dots(144)$$

Für x nehmen wir eine einfache Sinuswelle an

$$x = x_m \sin pt \dots\dots\dots(145)$$

Die Anfangsbedingungen der Bewegung für $t = 0$ werden die fol-

¹⁾ Siehe die Formel (131).

genden sein:

$$\begin{aligned} x_0 &= 0 & x'_0 &= p x_m, \\ y_0 &= 0 & y'_0 &= -\mathfrak{B}_0 p x_m. \end{aligned}$$

Durch Integrierung der Gleichung (144) unter diesen Voraussetzungen bekommt man folgenden Ausdruck für y :

$$y = \mathfrak{B}_0 x_m \frac{p}{n^2 - p^2} [p \sin pt - n \sin nt] \dots \dots \dots (146)$$

In diesem Fall, da wir aus dem Ruhezustand ausgingen, kann man schon zur Bestimmung von x als Funktion von t sich der Formel (135) bedienen.

Führt man in der Tat, bei Zugrundelegung der Formel (146), die Integrationen aus, so wird man auf die Formel (145) zurückgeführt.

Nun nehmen wir an, dass im Moment $t = 0$ der Boden und der Seismograph schon in Bewegung waren und seien die Anfangsbedingungen der Bewegung die folgenden:

$$x_1, \quad x'_1, \quad y_1 \quad \text{und} \quad y'_1.$$

Von diesem Moment an soll die Bodenbewegung eine einfache harmonische mit der Periode $T_p = \frac{2\pi}{p}$ und Amplitude x_m werden.

Also

$$x = x_1 + x_m \sin pt \dots \dots \dots (147)$$

Dann werden die neuen Anfangsbedingungen der Bewegungen die folgenden sein:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= x_1 & x'_0 &= p x_m, \\ y_0 &= y_1 & y'_0 &= y'_1 - \mathfrak{B}_0 (x'_0 - x'_1) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (148)$$

Das allgemeine Integral der Gleichung (144) lautet, wie folgt:

$$y = \Gamma_1 \cos nt + \Gamma_2 \sin nt + \mathfrak{B}_0 x_m \frac{p^2}{n^2 - p^2} \sin pt \dots \dots \dots (149)$$

Γ_1 und Γ_2 sind zwei Integrationskonstanten, welche aus den Anfangsbedingungen sich unmittelbar ergeben.

¹⁾ Siehe die Formel (136).

Es wird nämlich

$$\text{und } \left. \begin{aligned} \Gamma_1 &= y_1 \\ \Gamma_2 &= \frac{1}{n} \left[y_0' - \mathfrak{B}_0 x_m \frac{p^3}{n^2 - p^2} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (150)$$

Die Kurve $y = F(t)$ (Formel (149)) stellt eine Superposition von zwei Sinusoiden dar.

Aus dieser Kurve soll nun die einfache Bodenbewegung

$$x = x_1 + x_m \sin pt$$

nach der Integrationsformel (143) abgeleitet werden.

Nun ist

$$\int_0^t \cos ntdt = \frac{1}{n} \sin nt$$

$$\int_0^t dt \int_0^t \cos ntdt = \frac{1}{n^2} [1 - \cos nt]$$

$$\int_0^t \sin ntdt = -\frac{1}{n} [\cos nt - 1]$$

$$\int_0^t dt \int_0^t \sin ntdt = \frac{1}{n} \left[t - \frac{\sin nt}{n} \right],$$

also nach den Formeln (141) und (149) ist

$$I = -\mathfrak{B}_0 x_m \sin pt + \Gamma_1 + n \left\{ \Gamma_2 + \mathfrak{B}_0 x_m \frac{pn}{n^2 - p^2} \right\} t \dots\dots (151)$$

Diese Formel zeigt, dass I wirklich einen linearen Ausdruck in t enthält.

Wollen wir in der Formel (151) Γ_1 und Γ_2 durch ihre Werte aus den Formeln (150) ersetzen.

Dann folgt

$$I = -\mathfrak{B}_0 x_m \sin pt + y_1 + [y_0' + \mathfrak{B}_0 p x_m] t.$$

Nun ist nach den Formeln (148)

$$y_0' = y_1' - \mathfrak{B}_0 (px_m - x_1'),$$

also

$$I = -\mathfrak{B}_0 x_m \sin pt + y_1 + [y_1' + \mathfrak{B}_0 x_1'] t \dots \dots \dots (152)$$

Das Polynom P wird nach den Formeln (142) und (140), da α , β und ε gleich Null angenommen wurden,

$$P = y_1 + [y_1' + \mathfrak{B}_0 x_1'] t \dots \dots \dots (153)$$

Setzen wir nun in die Formel (143) die Werte von I und P aus den Formeln (152) und (153) ein, so ergibt sich

$$x = x_1 + x_m \sin pt,$$

was mit der Formel (147), von der wir ausgingen, vollständig identisch ist.

Dieses Beispiel zeigt in sehr anschaulicher Weise, dass dieses Integrationsverfahren zur Bestimmung der wahren Bodenbewegung *nur* unter Berücksichtigung der Anfangsbedingungen der Bewegung angewandt werden kann; sonst kann man zu ganz falschen Schlüssen gelangen.

Nun sind aber diese Anfangsbedingungen teilweise unbekannt. Ausserdem ändern sie sich mit dem Auftreten jedes neuen Wellenzuges.

Wie kann man aber unter diesen Bedingungen die wahre Bodenbewegung ableiten?

Die Sache ist doch nicht so hoffnungslos, wie sie beim ersten Blick erscheinen könnte.

Man nehme einen *beliebigen* Punkt des Seismogramms für den Anfang der Zeitzählung an, bestimme mittelst Quadraturen nach der Formel (141) I als Funktion der Zeit t und trage die entsprechende Kurve auf Koordinatenpapier auf. Diese Kurve, welche im allgemeinen Fall polynomische Glieder enthält, wird sich immer weiter und weiter von der Zeitaxe entfernen, aber in der Weise, dass sie um eine gewisse Mittelkurve fortwährend schwankt. Diese Mittelkurve entspricht eben dem Polynom P , welches von I abgezogen werden muss. P ist freilich unbekannt, aber man kann diese mittlere Kurve immer annähernd durch die Kurve I durchziehen. P wird aus verschiedenen Aesten bestehen. Dort, wo zwei Aeste zusammenlaufen, befindet sich ein singulärer Punkt der Kurve P . Jeder solcher Punkt entspricht dem Auftreten eines neuen Wellenzuges.

Hat man also auf diese Weise P als Funktion von t ermittelt, so braucht man nur P von I abzuziehen und man bekommt dann nach der Formel (143) die gesuchte Funktion $x = f(t)$.

Die Konstante x_1 für den Anfang der Zeitzählung ist dabei freilich

noch unbekannt, aber das ist kein Hindernis, da man immer so weit integrieren kann, etwa bis $t = t_f$, bis die Bodenbewegung schon aufgehört hat; dann wird $x_f = 0$ und x_1 ergibt sich einfach nach der Formel (143) aus der Beziehung

$$x_1 = \frac{1}{\mathfrak{B}_0} [I_f - P_f] \dots\dots\dots(154)$$

Man kann aber für den Anfang der Zeitzählung den Moment des Eintreffens der ersten Vorläufer nehmen; dann wird schon $x_1 = 0$ sein.

Bei diesem Verfahren ist eine etwas fehlerhafte Bestimmung der Ordinaten y von keiner Bedeutung, da die entsprechenden Korrektionsglieder, welche von α und β abhängen, schon im Ausdrucke von P mitenthalten sind.

Wir sehen also, dass die Bestimmung von x als Funktion von t für die ganze Dauer eines Bebens eine recht schwere und mühsame Sache ist. Ausserdem kann diese Integrationsmethode auf keine sehr grosse Genauigkeit Anspruch erheben, da das Durchziehen der mittleren Kurve P immer mit einer gewissen Willkür verknüpft ist.

Trotzdem ist für einige charakteristische Beben eine solche Untersuchung wohl ganz lohnend und wünschenswert.

Wollen wir nun sehen, wie dieses Integrationsverfahren sich anwenden lässt, wenn die Registrierung auf galvanometrische Weise erfolgt.

Wir gehen dabei von zwei Grunddifferentialgleichungen (4) und (31) aus, nämlich

$$\theta'' + 2\varepsilon\theta' + n^2\theta + \frac{1}{l}x'' = 0 \dots\dots\dots(4)$$

und

$$\varphi'' + 2n_1\varphi' + n_1^2\varphi + k\theta' = 0 \dots\dots\dots(31)$$

Die Registrierung der Galvanometerbewegung erfolgt auf optischem Wege. Bedeute also A_1 die Entfernung des Spiegels am Galvanometer von der Trommeloberfläche in der Richtung des normal einfallenden Strahles und y_1 die dem Winkel φ entsprechende Ablenkung des Lichtpunktes von seiner Ruhelage, so wird nach der Formel (35)

$$\varphi = \frac{y_1}{2A_1}$$

sein.

Dann ergibt sich für die zu messenden Grössen y_1 folgende Gleichung:

$$y_1'' + 2n_1y_1' + n_1^2y_1 + 2A_1k\theta' = 0 \dots\dots\dots(155)$$

Aus den Gleichungen (4) und (155) kann man nun θ eliminieren.

Man wird dabei auf eine Differentialgleichung 4-ter Ordnung in y_1 geführt.

Man findet ohne Schwierigkeit folgende Beziehung:

$$y_1'''' + ay_1''' + by_1'' + cy_1' + \delta y_1 = \frac{2A_1}{t} kx''', \dots \dots \dots (156)$$

wo die Konstanten a, b, c und δ folgende Bedeutung haben:

$$\left. \begin{aligned} a &= 2(\varepsilon + n_1) \\ b &= (n^2 + n_1^2 + 4\varepsilon n_1) \\ c &= 2(\varepsilon n_1^2 + n_1 n^2) \\ \delta &= n^2 n_1^2. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (157)$$

Im Falle, dass das betreffende Pendel, ebenfalls wie das Galvanometer, an der Grenze der Aperiodizität sich befindet ($\mu^2 = 0$) und die Eigenperioden des Pendels und Galvanometers (ohne Dämpfung) einander gleich sind ($T = T_1$)¹⁾, nehmen diese Konstanten die folgende einfache Form an:

$$\left. \begin{aligned} a &= 4n \\ b &= 6n^2 \\ c &= 4n^3 \\ \delta &= n^4 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (158)$$

Wollen wir nun den allgemeinen Fall ins Auge fassen und voraussetzen, dass im Moment $t=0$, welchen wir für den Anfang der Zeitzählung nehmen, folgende Anfangsbedingungen gültig sind:

$$\begin{aligned} x &= x_1 & x' &= x_1' \\ y_1 &= (y_1)_1 & y_1' &= (y_1)_1'. \end{aligned}$$

Ausserdem muss noch der anfängliche Wert von x'' bekannt sein.

Es soll nun in diesem Moment ein neuer Wellenzug auftreten, sodass die *resultierenden* Werte von x' und x''

$$x' = x_2'$$

¹⁾ Es wird zum Zweck der Azimutbestimmung des Epizentrums immer nach einer möglichst genauen Erfüllung dieser Bedingungen gestrebt.

und $x'' = x_2''$

werden.

Wollen wir nun die entsprechenden Anfangsbedingungen für y_1 und seine Derivierten aufsuchen. Dieselben seien durch

$$(y_1)_2, (y_1')_2, (y_1'')_2 \text{ und } (y_1''')_2$$

bezeichnet.

Sei θ_1 die Ablenkung des Pendels und θ_1' die entsprechende Winkelgeschwindigkeit im Momente $t = 0$ vor dem Auftreten des neuen Wellenzuges und θ_2 und θ_2' nach Auftreten desselben. Dann ergibt sich aus den Gleichungen (4) und (155) durch gliedweise Integration zwischen $t = 0$ und $t = \tau$, wo τ ein äusserst kleines Zeitintervall bedeutet, und unter Berücksichtigung, dass

$$\theta_2 = \theta_1$$

ist,

$$\theta_2' = \theta_1' - \frac{1}{l}(x_2' - x_1') \dots \dots \dots (159)$$

und

$$(y_1')_2 = (y_1')_1 \dots \dots \dots (160)$$

Ausserdem ist

$$(y_1)_2 = (y_1)_1 \dots \dots \dots (161)$$

$(y_1'')_2$ bekommt man direkt aus der Gleichung (155) und $(y_1''')_2$, wenn man dieselbe einmal nach t differentiirt.

Es wird nämlich

$$(y_1'')_2 = -2n_1(y_1')_2 - n_1^2(y_1)_2 - 2A_1 k \theta_2',$$

oder, mit Rücksicht auf die Beziehungen (160), (161) und (159),

$$(y_1'')_2 = -2n_1(y_1')_1 - n_1^2(y_1)_1 - 2A_1 k \left\{ \theta_1' - \frac{1}{l}(x_2' - x_1') \right\} \dots (162)$$

und

$$(y_1''')_2 = -2n_1(y_1'')_2 - n_1^2(y_1')_2 - 2A_1 k \theta_2''.$$

$(y_1')_2$ ergibt sich dabei aus der Formel (160) und $(y_1'')_2$ aus der Formel (162).

Was nun θ_2'' anbelangt, so muss man schon zu der Formel (4) zurückgreifen.

Aus derselben folgt

$$\theta_2'' = -2\epsilon\theta_2' - n^2\theta_2 - \frac{1}{l}x_2'',$$

oder, da $\theta_2 = \theta_1$ ist, und unter Berücksichtigung der Beziehung (159),

$$\theta_2'' = -2\varepsilon \left\{ \theta_1' - \frac{1}{l}(x_2' - x_1') \right\} - n^2 \theta_1 - \frac{1}{l} x_2''.$$

Dann ergibt sich für $(y_1''')_2$ folgender Ausdruck:

$$(y_1''')_2 = 2n_1 \left[2n_1 (y_1')_1 + n_1^2 (y_1)_1 + 2A_1 k \left\{ \theta_1' - \frac{1}{l}(x_2' - x_1') \right\} \right] \\ - n_1^2 (y_1')_1 + 2A_1 k \left[2\varepsilon \left\{ \theta_1' - \frac{1}{l}(x_2' - x_1') \right\} + n^2 \theta_1 + \frac{1}{l} x_2'' \right],$$

oder

$$(y_1''')_2 = 3n_1^2 (y_1')_1 + 2n_1^3 (y_1)_1 \\ + 2A_1 k \left[2(n_1 + \varepsilon) \left\{ \theta_1' - \frac{1}{l}(x_2' - x_1') \right\} + n^2 \theta_1 + \frac{1}{l} x_2'' \right]. \quad (163)$$

Die neuen Anfangsbedingungen der Bewegung sind also die folgenden:

$$x_0 = x_1, \quad x_0' = x_2', \quad x_0'' = x_2'',$$

$$(y_1)_0 = (y_1)_2, \quad (y_1')_0 = (y_1')_2, \quad (y_1'')_0 = (y_1'')_2 \quad \text{und} \quad (y_1''')_0 = (y_1''')_2,$$

wo die entsprechenden Werte von (y_1) etc. mit dem Index 2 aus den Formeln (161), (160), (162) und (163) zu entnehmen sind.

Im Falle, dass im Moment $t=0$ kein neuer Wellenzug auftritt, werden

$$x_2' = x_1',$$

$$x_2'' = x_1'',$$

und die vorigen Formeln (162) und (163) erfahren eine entsprechende Vereinfachung.

Nach Feststellung dieser Anfangsbedingungen wollen wir zur gliedweisen Integration der Gleichung (156) zwischen 0 und t übergehen.

Es ergibt sich nun folgendes.

$$\frac{2A_1}{l} k \{ x'' - x_2'' \} = \{ y_1''' - (y_1''')_2 \}$$

$$+ a \{ y_1'' - (y_1'')_2 \} + b \{ y_1' - (y_1')_2 \} + c \{ y_1 - (y_1)_2 \} + \int_0^t y_1 dt,$$

oder

$$\frac{2A_1}{l} k x'' = y_1''' + a y_1'' + b y_1' + c y_1 + \int_0^t y_1 dt$$

$$- \left[(y_1''')_2 + a (y_1'')_2 + b (y_1')_2 + c (y_1)_2 - \frac{2A_1}{l} k x_2'' \right].$$

Weiter wird

$$\begin{aligned} \frac{2A_1}{l} kx' &= y_1'' + ay_1' + by_1 + c \int_0^t y_1 dt + \partial \int_0^t dt \int_0^t y_1 dt \\ &- \left[(y_1''')_2 + a(y_1'')_2 + b(y_1')_2 + c(y_1)_2 - \frac{2A_1}{l} kx_2'' \right] t \\ &- \left[(y_1'')_2 + a(y_1')_2 + b(y_1)_2 - \frac{2A_1}{l} kx_2' \right]. \end{aligned}$$

Integrieren wir noch einmal, dann erhalten wir für das gesuchte x

$$\begin{aligned} \frac{2A_1}{l} kx &= y_1' + ay_1 + b \int_0^t y_1 dt + c \int_0^t dt \int_0^t y_1 dt + \partial \int_0^t dt \int_0^t dt \int_0^t y_1 dt \\ &- \frac{1}{2} \left[(y_1''')_2 + a(y_1'')_2 + b(y_1')_2 + c(y_1)_2 - \frac{2A_1}{l} kx_2'' \right] t^2 \\ &- \left[(y_1'')_2 + a(y_1')_2 + b(y_1)_2 - \frac{2A_1}{l} kx_2' \right] t \\ &- \left[(y_1')_2 + a(y_1)_2 - \frac{2A_1}{l} kx_2 \right] \dots \dots \dots (164) \end{aligned}$$

Wollen wir nun in dieser Gleichung $(y_1)_2$, $(y_1')_2$, $(y_1'')_2$ und $(y_1''')_2$ durch ihre Werte aus den früheren Formeln ersetzen.

Dann folgt unter Berücksichtigung der Beziehungen (157), da mehrere Glieder sich gegenseitig aufheben,

$$\begin{aligned} x &= x_1 + \frac{l}{2A_1 k} \left[\left\{ y_1' + ay_1 + b \int_0^t y_1 dt + c \int_0^t dt \int_0^t y_1 dt + \partial \int_0^t dt \int_0^t dt \int_0^t y_1 dt \right\} \right. \\ &- \frac{n^2}{2} \left\{ (y_1')_1 + 2n_1 (y_1)_1 + 2A_1 k \theta_1 \right\} t^2 \\ &- \left\{ 2\varepsilon (y_1')_1 + (n^2 + 4\varepsilon n_1) (y_1)_1 - 2A_1 k \left(\theta_1' + \frac{1}{l} x_1' \right) \right\} t \\ &- \left. \left\{ (y_1')_1 + a(y_1)_1 \right\} \right] \dots \dots \dots (165) \end{aligned}$$

Wir sehen also, dass der allgemeine Ausdruck von x ein Polynom zweiten Grades enthält.

Wir haben bei dieser Untersuchung vorausgesetzt, dass im Moment $t=0$ ein neuer Wellenzug eingetreten ist. Diese Voraussetzung können wir aber fallen lassen und einen ganz beliebigen Punkt des Seismogrammes für den Anfang der Zeitzählung wählen, da im Ausdrucke (165) für x die

Anfangsgrößen (nach dem neuen Anstoss) x_2' und x_2'' gar nicht vorkommen und nur $x_1, x_1', \theta_1, \theta_1', (y_1)_1$ und $(y_1')_1$ von Belang sind.

Wollen wir jetzt wie früher der Allgemeinheit halber voraussetzen, dass die gemessenen Ordinaten y_1 , infolge der unrichtigen Lage der angenommenen Zeitaxe, mit einem kleinen Fehler behaftet sind.

Denselben können wir gleich

$$\alpha + \beta t$$

setzen.

Addieren wir diese Grösse zu allen y_1 in der früheren Gleichung (165), so bekommen wir schliesslich die folgende verallgemeinerte Formel zur Berechnung von x .

Es wird nämlich

$$x = x_1 + \frac{l}{2A_1 k} [I - P], \dots \dots \dots (166)$$

wo I und P folgendermaassen lauten:

$$I = y_1' + a y_1 + b \int_0^t y_1 dt + c \int_0^t dt \int_0^t y_1 dt + d \int_0^t dt \int_0^t dt \int_0^t y_1 dt \dots (167)$$

und

$$P = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 + Et^4.$$

Die Konstanten A, B, C, D und E haben dabei folgende Bedeutung:

$$\left. \begin{aligned} A &= (y_1')_1 + a (y_1)_1 \\ B &= 2\varepsilon (y_1')_1 + (n^2 + 4\varepsilon n_1) (y_1)_1 - 2A_1 k \left(\theta_1' + \frac{1}{l} x_1' \right) - n_1^2 \alpha - 2n_1 \beta \\ C &= \frac{1}{2} [n^2 (y_1')_1 + 2n_1 n^2 (y_1)_1 + 2n^2 A_1 k \theta_1 - 2\varepsilon n_1^2 \alpha - (n_1^2 + 4\varepsilon n_1) \beta] \\ D &= -\frac{1}{6} [d\alpha + c\beta] \\ E &= -\frac{1}{24} d\beta. \end{aligned} \right\} (168)$$

Wir sehen also aus der Formel (166), dass der Integralausdruck I unbedingt polynomische Glieder enthalten muss, damit x nicht ins Unbegrenzte mit t wachse.

Die Behandlung einer Galvanometerkurve erfolgt auf genau dieselbe Weise, wie bei der direkten optischen Registrierung. Man braucht garnicht die Konstanten A, B, C, D und E auszurechnen, sondern man bestimme

durch Quadraturen die Funktion I und ziehe dann durch die entsprechende Kurve eine mittlere aus mehreren Aesten bestehende Kurve durch, welche das Polynom P darstellen soll. Durch Abziehen von P von I erhält man die gesuchte Funktion $x = f(t)$.

Die Behandlung eines Galvanometerseismogramms erfordert eine nochmalige Quadratur; ausserdem tritt im Ausdrucke von I die erste Derivierte von y_1 nach der Zeit ein. Dieser letzte Umstand ist von keiner grossen Bedeutung, da man bekanntlich, unter Anwendung eines besonderen Ausgleichungsverfahrens, immer eine empirische Kurve differenzieren kann. Man braucht es aber nicht zu tun. Man kann nämlich für die verschiedenen Momente t , bis zu welchen man integriert, diejenigen Momente wählen, welche den Umkehrpunkten des Seismogramms entsprechen (Maximen oder Minimen), für welche also $y_1' = 0$ wird.

Für diese Zeitmomente kann man den Wert von x nach der Formel (166) ausrechnen. Dann erhält man eine Anzahl nicht weit von einander stehender Werte von x , nach welchen man alsdann die Kurve $x = f(t)$ mit einer gewissen Annäherung rekonstruieren kann.

Die Bearbeitung eines solchen Galvanometerseismogramms fällt in dieser Beziehung etwas umständlicher aus, aber, infolge der ausserordentlich grossen Empfindlichkeit der galvanometrischen Registriermethode, sind die Galvanometerseismogramme bedeutend klarer und übersichtlicher, was zur Folge hat, dass der prozentische Fehler in der Bestimmung der verschiedenen Ordinaten viel kleiner wird. Diese Seismogramme werden sich zum Zweck der Anwendung dieses Integrationsverfahrens wahrscheinlich eben so gut eignen, wie die auf direktem optischem Wege erhaltenen; allein in beiden Fällen ist dieses Problem eine ziemlich mühsame und recht delikate Sache.

§ 9.

Schlussfolgerungen.

In dieser Abhandlung habe ich eine ausführliche Beschreibung dieses neuen Horizontalseismographen und zugleich auch seine Theorie gegeben.

Da eine sorgfältige Auswertung von Seismogrammen zum Zweck der Bestimmung der Elemente der *wahren* Bodenbewegung eine genaue Kenntnis der verschiedenen Pendel- und Galvanometerkonstanten erfordert, so ist dieser Frage der Konstantenbestimmung ein gebührender Platz eingeräumt worden.

Die im § 5 beschriebene Methode gestattet mit einem Schlage die charakteristischen Seismographenkonstanten μ^2 , k und die Eigenperiode ohne Dämpfung T (wenn die Magnete schon nah an einander gerückt sind) zu ermitteln und liefert zugleich auch die Möglichkeit, das betreffende Pendel genau auf die Grenze der Aperiodizität ($\mu^2 = 0$) einzustellen.

Zur besseren Erläuterung der Einzelheiten der Bestimmung der verschiedenen Konstanten, so wie auch der Auswertung von Seismogrammen, sind aus der Praxis entnommene Zahlenbeispiele und zugleich auch Rechnungsschemen angeführt worden.

Zur Erleichterung der verschiedenen dazu nötigen Rechnungen sind in dem zu dieser Abhandlung gehörigen Nachtrag «Seismometrische Tabellen» 17 Tabellen beigegeben, die die Ausführung der Rechnungen in sehr erheblicher Weise vereinfachen. Für die Auswertung von Seismogrammen genügt es zur Zeit vierstellige Logarithmen zu gebrauchen.

Die grosse Leistungsfähigkeit dieser Art Seismographen kann durch die schon jahrelang andauernden seismometrischen Beobachtungen in Pulkowa als völlig bewiesen betrachtet werden. Meine früher angestellten und schon längst veröffentlichten Vergleichsbeobachtungen haben in der Tat gezeigt, dass man mit diesem Horizontalseismographen sehr zuverlässige Werte für die wahren Amplituden der Bodenbewegung erhält, und dass verschiedene Seismographen dieser Art, wenn sie nur genügend stark gedämpft sind, vollkommen identisch verlaufende Kurven ergeben.

Die Vorteile dieser Art Seismographen bestehen der Hauptsache nach im Folgenden.

Erstens sind sie verhältnismässig sehr leicht und kompakt und nehmen sehr wenig Platz ein.

Zweitens werden sie mit Hilfe von hufeisenförmigen permanenten Magneten sehr stark, sogar bis zur Aperiodizitätsgrenze gedämpft, wodurch der Einfluss der Eigenbewegung des Apparates auf das Minimum reduziert wird.

Diese magnetische Dämpfung erweist sich in der Praxis als sehr einfach und bequem. Sie erfordert keine feinen Einstellungen, wie bei der Luftdämpfung, da auch bei einem aperiodischen Pendel ein genügend breiter Spielraum zwischen der Oberfläche der dämpfenden Kupferplatte und den Magnetenpolen frei bleibt. Dann steht diese Dämpfung ganz offen und kann zu jeder Zeit leicht kontrolliert werden, wobei man die Stärke derselben in recht einfacher Weise variieren kann. Ausserdem erweist sich diese Art Dämpfung als sehr konstant und fast vollständig von Temperatureinflüssen, soweit dieselben bei seismometrischen Beobachtungen vorkommen, unabhängig. Schliesslich entspricht die magnetische Dämpfung der Anforderung

der Theorie, wonach das Moment der dämpfenden Kräfte wirklich proportional der Winkelgeschwindigkeit des Pendels sein soll.

Trotz der sehr starken Dämpfung, sogar bis zur Aperiodizitätsgrenze, besitzen diese Seismographen, infolge der Anwendung der galvanometrischen Registrierungsart, eine sehr hohe Empfindlichkeit, da das Vergrößerungsverhältnis derselben für gewisse Perioden der Bebenwellen sehr leicht über 800—1000 getrieben werden kann und dies nur bei *einem Meter* Entfernung zwischen Registriertrommel und Galvanometerspiegel. Für sehr starke Beben ist dieses Instrument sogar zu empfindlich. So z. B. würde in Pulkowa bei dem grossen Mexicanischen Beben am 26/27 III 1908 der totale Ausschlag des Lichtpunktes auf der Registriertrommel (doppelte Amplitude $2y_m$) schon $301,1 \text{ m/m}$ und bei dem grossen Messina Beben vom 28/XII 1908 — 894 m/m , also fast 0,9 Meter betragen haben.

Dies ist allerdings eine sehr hohe Empfindlichkeit, die sich jedoch mit den allereinfachsten Hilfsmitteln erzielen lässt.

Ein anderer sehr wesentlicher Vorteil der galvanometrischen Registrierungsart besteht darin, dass sie unmittelbar eine Fernregistrierung gestattet.

Der registrierende Teil des Seismographen kann nämlich in einer beliebigen Entfernung vom Pendel selbst aufgestellt werden, somit braucht man beim Papierwechsel den Raum, wo die Pendel selbst aufgestellt sind, gar nicht zu betreten. Ausserdem genügt es dabei das Galvanometer nur in 1 Meter Entfernung von dem Registrierapparat aufzustellen, was zur Folge hat, dass man auf diese Weise recht schöne und feine Aufzeichnungen erhält und auch bei grossen Ausschlägen des Galvanometers noch immer völlig genügend lichtstarke Kurven bekommt. Die Galvanometerseismogramme, wie dies aus den hier angeführten Beispielen zu ersehen ist (Fig. 22 und 23), zeichnen sich durch eine besondere Schärfe und Präzision aus; die verschiedenen Phasen sind gewöhnlich sehr ausgeprägt, wobei diese Galvanometerseismogramme sich besonders gut zur Bestimmung der wahren Amplituden und Perioden der harmonischen Bodenbewegungen eignen. Durch Anwendung von zweien getrennten, aperiodischen Pendeln für die beiden Komponenten der Bodenbewegung kann man, nach dem ersten grössten Ausschlag beim Eintreffen der ersten Vorläufer, den Azimut des Epizentrums eines Bebens mit ziemlich grosser Genauigkeit bestimmen und, da die Epizentralentfernung aus der Zeitdifferenz zwischen den Momenten des Eintreffens der ersten und zweiten Vorläufer aus den Laufzeitkurven als bekannt angesehen werden darf, so kann man die angenäherte Lage des Epizentrums eines Bebens aus den Angaben einer *einzelnen* seismischen Station bestimmen.

Bei der galvanometrischen, wie bei der reinen optischen Registrierung,

findet keine Verzerrung der Kurven, wie bei der mechanischen Registrierung infolge der Kreisbewegung des Schreibstiftes, statt; ausserdem, da das Galvanometer seine Nulllage in vorzüglicher Weise beibehält, ist ein Zusammenrutschen der Linien nie bemerkt worden, was aber bei der mechanischen Registrierungsart, infolge von Temperaturänderungen, zuweilen so lästig wird.

Die galvanometrische Registrierungsart besitzt noch den Vorteil, dass man gewissermaassen unabhängig ist von der etwaigen Ruhelage des Pendels selbst, da nicht direkt die Pendelausschläge, sondern die entsprechenden Winkelgeschwindigkeiten registriert werden, was für schnell verlaufende seismische Erscheinungen eine sehr schätzbare Eigenschaft ist.

Bei Anwendung des Galvanometers zu Registrierungszwecken kann man die Empfindlichkeit der Registrierung in sehr einfacher Weise durch Änderung der Distanz zwischen den Polen der betreffenden Magnete variieren. Will man aber die Empfindlichkeit bedeutend herabsetzen, so kann man sich einer sehr einfachen Shuntvorrichtung bedienen.

Das neue Modell des zu diesem Seismographen gehörigen Registrierapparates zeichnet sich durch seinen sehr präzisen Gang aus, wobei die Drehgeschwindigkeit der Trommel eine dermaassen grosse ist ($30^m/m$ pro Minute), dass eine Erforschung der sehr kurzen seismischen Wellen vollkommen möglich wird. Es sei dabei nochmals betont, dass man bei der Feststellung der Momente gewisser Maximen der Bodenbewegung immer auf die Zeitverspätung zwischen dem Auftreten eines Maximums auf dem Seismogramm und dem Momente des entsprechenden Maximums der wahren Bodenbewegung Rücksicht nehmen muss¹⁾.

¹⁾ Diese Seismographen werden vom Mechaniker an dem Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St-Petersburg Herrn Masing geliefert.

Der Preis derselben beträgt für eine vollständige Station:

2 Pendel à 330 Rubel	660 Rubel.
2 Galvanometer (von Hartmann & Braun)	230 »
1 Registrierapparat	400 »
1 Laterne	50 »
2 Zylinderlinsen	9 »
1 Tischchen mit 2 Spiegeln	21 »
Kisten und Verpackung	30 »

Im Ganzen: 1400 Rubel.

Die jährlichen Betriebskosten für das photographische Papier, von der Firma Warnercke in St-Petersburg (Vosnesensky Prospekt № 31) bezogen, betragen etwa 328 Rubel.

Es sind zur Zeit (Oktober 1910) 22 von diesen Pendeln von Herrn Masing teils schon fertig gestellt, teils noch in Arbeit. Dieselben sind für verschiedene seismische Stationen in Russland und im Auslande bestimmt.

Es werden bei diesen Seismographen die Aufzeichnungen von zwei Pendeln für beide Komponenten auf einem und demselben Papierbogen aufgenommen. Die entsprechenden Kurven liegen neben einander, was in gewisser Hinsicht zweckmässig ist, da man sofort sehen kann, welche Komponente in der betreffenden Bodenbewegung praedominiert. Zum Zweck der Azimutbestimmung ist das auch vorteilhaft. Allein für starke Beben gehen zuweilen die Kurven sehr durch einander, was die Entzifferung der Seismogramme etwas erschwert. Es wäre eigentlich viel besser, wenn die zur Verfügung stehenden Geldmittel es gestatteten, jede Komponente auf einem getrennten Registrierapparat aufzuschreiben und dabei zwei Komplekte von Horizontalpendeln zu benutzen. Das eine Paar soll hoch empfindlich und das andere Paar weniger empfindlich sein, wobei beide Pendel für dieselbe Komponente auf einer und derselben Trommel schreiben sollen. Für schwache Beben würde man dann die Aufzeichnungen des empfindlicheren Paares und für starke die des weniger empfindlichen verwerten. Man hätte dabei zugleich auch eine sehr wünschenswerte Kontrolle.

Zum Schluss muss ich noch bemerken, dass das Umgehen mit diesen Instrumenten in der Praxis sich als sehr einfach und bequem erwiesen hat. Dieselben arbeiten äusserst regelmässig und sicher, wobei nur in den seltensten Fällen irgend welche Betriebsstörungen vorkommen.

Ich erlaube mir deshalb die Meinung auszusprechen, dass dieser neue Horizontalseismograph mit galvanometrischer Fernregistrierung, der als ein Apparat der Präzisionsseismometrie aufgefasst werden muss, imstande wäre an denjenigen Orten, wo nicht auf die Billigkeit der Instrumente, sondern auf die Zuverlässigkeit der erhaltenen Beobachtungsdaten das Hauptgewicht gelegt wird, wohl ganz gute Dienste zu leisten.

Fürst. B. Galitzin.

