Académie impériale des sciences. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. Tome 5, 1912-1913, Saint-Pétersbourg.

SOMMAIRE

Livraison I, 1912

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

*Séance du 8 janvier 1911 I
Rapport financier de l'Association Internationale Sismologique pour la période du 1-er avril 1909 jusqu'au 31 mars 1910 XIII
Projet de Budget intérimaire de l'Association Sismologique pour la période du 1-er avril au 31 août 1911 XVIII
*Séance du 25 février 1911 XX
* » » 13 mai 1911 XXXI
*Rapport concernant la station sismique de 2-me ordre à Ekaterinburg durant l'année 1910 XLI
*Séance du 28 octobre 1911 XLV
*Résumé du rapport de M. K. Bogdanovic : « Sur le tremblement de terre de Tien-Chan le 22 déc. 1910 (4 janv. 1911) LII
*Rapport concernant la station sismique de 1-er ordre à l'Observatoire physique de Tiflis durant l'année 1910 LVII
*Rapport concernant la station sismique de 1-er ordre à l'Observatoire météorologique d'Irkutsk durant l'année 1010 LVIII
*Séance du 16 decembre 1911 LX

Fr. Moldenhauer. Seismische Einwirkungen auf den Charakter der Lebenstätigkeit intermittierender Quellen 1
Fürst B. Galitzin (Golicyn). Zur Theorie der mechanischen Registrierung. 35
*A. Gerasimov. Note concernante l'article: « Sur le tremblement de terre du 22 déc. 1910 et du I janv.1911 dans la province de Semirecie » par M. S. Veleckij 85
*G. Levickij. La deuxième assamblée générale de l'Association Internationale de Sismologie et la quatrième réunion de la Commission Permanente de la dite Association à Manchester le 18-22 juillet 1911 87

Livraison II, 1912

*A. Orlov. Sur l'élaboration des sismogrammes du pendule apériodique à l'enregistrement galvanométrique 95
*P. Nikiforov. Instruction pour l'installation des pendules horizontaux lourds, système du Prince B. Galitzine, et pour les observations à l'aide de ceux-ci..... 105
J. Wilip. Die Zentrale Seismische Station in Pulkovo..... 133
*Prince B. Galitzine (Golicyn). Sur les appareils pour les observations sur les sources intermittentes..... 171
*Prince B. Galitzine (Golicyn). Sur la longeur reduite du pendule horizontal à suspension Zöllner..... 195

Livraison III, 1913

*M. Rosental. Sur la détermination de la profondeur du foyer d'un tremblement de terre..... 237
Prince B. Galitzin (Golicyn). The principles of instrumental seismology 329
Fürst B. Galitzin (Golicyn). Zur Frage der Bestimmung der Herdtiefe eines Bebens und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen in den oberen Erdschichten. 359
*M. Büss. Une méthode graphique pour déterminer les quantités x_m et (δ+δ1) dans le cas de l'enrégistremment galvanométrique 431

Le titre désigné par un asterisque * présente la traduction du titre original.

ИМПЕРАТОРСКАЯ АКАДЕМІЯ НАУКЪ.

ИЗВѢСТІЯ ПОСТОЯННОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ КОМИССІИ.

Томъ 5.

Выпускъ II.

ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES.

COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE LA COMMISSION SISMIQUE PERMANENTE.

Tome 5.

Livraison II.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1912. ST.-PÉTERSBOURG.

Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.
Октябрь 1912 г. Непремѣнный Секретарь, Академикъ *С. Ольденбургъ.*

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

Оглавленіе. — Sommaire.

	Стр.
А. Я. Орловъ. Объ обработкѣ сейсмограммъ апериодическаго маятника съ гальванометрической регистраціей . .	95
П. М. Никифоровъ. Инструкція для установки тяжелыхъ горизонтальныхъ маятниковъ системы князя Б. Б. Голицына и для производства наблюденій съ ними	105
*И. И. Вилипъ. Центральная Сейсмическая станція въ Пулковѣ	133
Князь Б. Б. Голицынъ. Приборы для наблюденій надъ пульсирующими источниками	171
Князь Б. Б. Голицынъ. О приведенной длинѣ горизонтальнаго маятника съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ . . .	195

	Pag.
*A. Orlov. Sur l'élaboration des sismogrammes du pendule apériodique à l'enregistrement galvanométrique. . .	95
*P. Nikiforov. Instruction pour l'installation des pendules horizontaux lourds, système du Prince B. Galitzine, et pour les observations à l'aide de ceux-ci	105
J. Wilip. Die Zentrale Seismische Station in Pulkovo.	133
*Prince B. Galitzine (Golicyn). Sur les appareils pour les observations sur les sources intermittentes	171
*Prince B. Galitzine (Golicyn). Sur la longeur reduite du pendule horizontal à suspension Zöllner	195

Заглавіе, отмѣченное звѣздочкой *, является переводомъ заглавія оригинала.

Le titre désigné par un asterisque * présente la traduction du titre original.

Объ обработкѣ сейсмограммъ апериодическаго маятника съ гальванометрической регистраціей.

А. Я. Орловъ.

§ 1. На русскихъ сейсмическихъ станціяхъ вводятся теперь маятники съ сильнымъ затуханіемъ и съ гальванометрической регистраціей по системѣ кн. Б. Б. Голицына. Эти приборы обладаютъ тѣмъ выгоднымъ свойствомъ, что, если на сейсмограммѣ появилась синусоидальная кривая съ періодомъ T_p и амплитудой y_m, то это значитъ, что почва совершала періодическое колебаніе съ тѣмъ же періодомъ T_p и амплитудой x_m. Фазы колебаній маятника и почвы не совпадаютъ; разность фазъ обозначимъ черезъ $\tau + \tau_1$. Для вычисленія x_m и $\tau + \tau_1$ кн. Б. Б. Голицынъ даетъ такія формулы:

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

$$\tau = \frac{T_p}{2\pi} \operatorname{arctg}\left(h \frac{2u}{u^2 - 1}\right)$$

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

Здѣсь

$$u = \frac{T_p}{T} \quad \text{и} \quad u_1 = \frac{T_p}{T_1}$$

$$h = \sqrt{1 - \mu^2}, \qquad f(u) = \left(\frac{2u}{1 + u^2}\right)^2.$$

Величины C_1, μ, T и T_1 суть постоянныя для даннаго прибора, причемъ установка производится такъ, что μ весьма мало, а T_1 по возможности близко къ T (Кн. Б. Б. Голицынъ: «Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel»). Этимъ обстоятельствомъ можно воспользоваться для упрощенія только что выписанныхъ формулъ.

§ 2. Пусть

$$T_0 = \frac{T + T_1}{2}, \qquad u_0 = \frac{T_p}{T_0},$$

$$\sigma = \frac{T - T_1}{2}, \qquad \alpha = \frac{\sigma}{T_0},$$

тогда

$$T = T_0 + \sigma = T_0(1 + \alpha),$$

$$T_1 = T_0 - \sigma = T_0(1 - \alpha);$$

$$u = \frac{T_p}{T_0}(1 + \alpha)^{-1} = u_0(1 - \alpha + \alpha^2 + \ldots),$$

$$u_1 = \frac{T_p}{T_0}(1 - \alpha)^{-1} = u_0(1 + \alpha + \alpha^2 + \ldots).$$

Отсюда

$$(1 + u^2)(1 + u_1^2) = (1 + u_0^2)^2 \left[1 + \frac{2\alpha^2 u_0^2 (3 + u_0^2)}{(1 + u_0^2)^2} + \ldots\right].$$

Наибольшее значеніе члена съ α^2 будетъ при $u_0^2 = 3$; въ этомъ случаѣ онъ равенъ

$$\frac{9}{4}\alpha^2,$$

послѣдней же величиной можно уже пренебречь по сравненію съ единицей. Дѣйствительно, для пулковскихъ, напримѣръ, приборовъ, $\sigma < 0.2$; при наименьшемъ значеніи T_0, т. е. при $T_0 = 13$, мы имѣемъ

$$\alpha < \frac{2}{130} \quad \text{и} \quad \frac{9}{4}\alpha^2 < 0.001;$$

пренебрегая этой величиной по сравненію съ единицей, мы можемъ положить

$$(1 + u)(1 + u_1^2) = (1 + u_0^2)^2.$$

На основаніи этой формулы, мы имѣемъ:

$$x_m = C_1(1 + u_0^2)^2 \sqrt{1 - \mu^2 f(u)}\,\frac{y_m}{T_p}.$$

Но

$$T_p = \frac{T_p}{T_0} T_0 = u_0 T_0.$$

Слѣдовательно,

$$x_m = C_1 \frac{(1 + u_0^2)^2}{u_0} \sqrt{1 - \mu^2 f(u)}\,\frac{y_m}{T_0}$$

или

$$x_m = \frac{4C_1}{T_0} \cdot \frac{u_0(1+u_0^2)^2}{4u_0^2} \sqrt{1-\mu^2 f(u)}\, y_m.$$

Полагая здѣсь

$$C = \frac{4C_1}{T_0}$$

мы находимъ

$$x_m = C \frac{u\sqrt{1-\mu^2 f(u)}}{f(u)} y_m = CV y_m \ldots\ldots\ldots\ldots (A)$$

Для вычисленія x_m можно составить таблицу съ двумя входами, въ которой по аргументамъ u и μ^2 давалась бы величина

$$V = \frac{u}{f(u)} \sqrt{1-\mu^2 f(u).}$$

§ 3. Вычисленіе суммы $\tau + \tau_1$ еще проще. Мы имѣемъ:

$$h \frac{2u}{u^2-1} = \operatorname{tg} 2\pi \frac{\tau}{T_p}.$$

Пусть

$$u = \operatorname{tg} \frac{v}{2},$$

тогда

$$\frac{2u}{u^2-1} = \operatorname{tg}(\pi - v),$$

слѣдовательно,

$$h \operatorname{tg}(\pi - v) = \operatorname{tg} 2\pi \frac{\tau}{T_p}.$$

Примѣняя здѣсь извѣстное разложеніе, мы имѣемъ

$$\frac{2\pi\tau}{T_p} = \pi - v + \frac{h-1}{h+1} \sin 2(\pi - v) + \ldots.$$

Пусть

$$\frac{h-1}{h+1} \sin 2(\pi - v) = \varepsilon,$$

тогда

$$\frac{2\pi\tau}{T_p} = \pi - v + \varepsilon \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Съ другой стороны, полагая

$$u_1 = \operatorname{tg} \frac{v_1}{2},$$

мы находимъ, что

$$\frac{2u_1}{u_1^2-1} = \operatorname{tg}(\pi - v_1) = \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi\tau_1}{T_p} - \frac{\pi}{2}\right),$$

откуда

$$\frac{2\pi\tau_1}{T_p} = \frac{3\pi}{2} - v_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Складывая (1) и (2), находимъ:

$$\frac{2\pi}{T_p}(\tau + \tau_1) = \frac{5\pi}{2} - (v + v_1) + \varepsilon$$

и, слѣдовательно,

$$\tau + \tau_1 = T_p\left(\frac{5}{4} - \frac{v + v_1}{2\pi}\right) + \frac{\varepsilon T_p}{2\pi}.$$

Величиной $\frac{\varepsilon T_p}{2\pi}$ здѣсь можно пренебречь; дѣйствительно:

$$\varepsilon \leqq \frac{h-1}{h+1},$$

но

$$h = \sqrt{1-\mu^2} = 1 - \frac{\mu^2}{2} + \ldots\ldots$$

слѣдовательно,

$$\left|\frac{\varepsilon}{2\pi}\right| \leqq \frac{\mu^2}{8\pi}.$$

Если даже $\mu^2 = 0.2$, то и тогда

$$\frac{\varepsilon}{2\pi} < 0.008.$$

Возьмемъ крайній случай, когда $T_p = 40$, тогда при $\mu^2 = 0.2$

$$\frac{\varepsilon T_p}{2\pi} < 0^s.32.$$

На самомъ дѣлѣ ошибка будетъ еще меньше, такъ что безъ чувствительной погрѣшности величиной $\frac{\varepsilon T_p}{2\pi}$ можно пренебречь. Покажемъ теперь, что, если положить

$$u_0 = \operatorname{tg}\frac{v_0}{2},$$

то можно будетъ принять

$$\frac{v + v_1}{2} = v_0.$$

Мы имѣемъ:

$$\frac{v}{2} - \frac{v_0}{2} = \operatorname{arctg} u - \operatorname{arctg} u_0 = \cos^2\frac{v_0}{2}\Delta u - \cos^3\frac{v_0}{2}\sin\frac{v_0}{2}\Delta u^2 + \ldots\ldots$$

$$\frac{v_1}{2} - \frac{v_0}{2} = \operatorname{arctg} u_1 - \operatorname{arctg} u_0 = \cos^2\frac{v_0}{2}\Delta u_1 - \cos^3\frac{v_0}{2}\sin\frac{v_0}{2}\Delta u_1^2 + \ldots\ldots$$

Здѣсь

$$\Delta u = u - u_0 = u_0(-\alpha + \alpha^2) = \operatorname{tg}\frac{v_0}{2}(-\alpha + \alpha^2)$$

$$\Delta u_1 = u_1 - u_0 = u_0(\alpha + \alpha^2) = \operatorname{tg}\frac{v_0}{2}(\alpha + \alpha^2).$$

Складывая, находимъ

$$\frac{v + v_1}{2} = v_0 + \alpha^2 \sin v_0 \cos^2\frac{v_0}{2} + \ldots.$$

Наибольшее значеніе члена съ α^2 будетъ при $v_0 = 60°$, когда онъ равенъ $0.65\,\alpha^2$. Для пулковскихъ приборовъ

$$0.65\,\alpha^2 < 0.0002;$$

этой величиной можно пренебречь.

Принимая во вниманіе все только что сказанное, мы можемъ положить:

$$\tau + \tau_1 = T_p\left(\frac{5}{4} - \frac{v_0}{\pi}\right)$$

или

$$\tau + \tau_1 = T_0 u_0\left(\frac{5}{4} - \frac{v_0}{180}\right) = T_0 k, \ldots\ldots\ldots\ldots (B)$$

гдѣ

$$k = u_0\left(\frac{5}{4} - \frac{v_0}{180}\right)$$

и v_0 выражено въ градусахъ.

§ 4. Чтобы облегчить вычисленіе x_m и $\tau + \tau_1$ по формуламъ (A) и (B), мы прилагаемъ здѣсь три таблицы. Изъ нихъ первыя двѣ служатъ для вычисленія x_m и составлены слѣдующимъ образомъ: мы имѣемъ

$$V = \frac{u}{f(u)}\sqrt{1 - \mu^2 f(u)}$$

$$\lg V = \lg\frac{u}{f(u)} + \lg\sqrt{1 - \mu^2 f(u)}.$$

Таблица I даетъ $\lg\frac{u}{f(u)}$; таблица II даетъ $\lg\sqrt{1 - \mu^2 f(u)}$.

Таблица III по аргументу u даетъ $\lg k$. Такъ какъ T_0 есть величина постоянная, то для каждаго прибора можно составить маленькую таблицу, въ которой сразу бы давались значенія суммы $\tau + \tau_1$ по аргументу u. Что касается послѣдней величины (u), то она дается въ таблицахъ кн. Б. Б. Голицына.

Пояснимъ сказанное на примѣрѣ.

Положимъ, что мы желаемъ обработать длинный рядъ наблюденій, полученныхъ съ маятникомъ, постоянныя котораго имѣютъ слѣдующія значенія (кн. Б. Б. Голицынъ, l. c., стр. 110):

$$T = 22.1 \qquad T_1 = 23.7$$

$$\mu^2 = 0.17 \qquad \lg C_1 = 7.996$$

$$T_0 = 22.9 \qquad \lg C = 0.238.$$

Мы умножили здѣсь C на 1000, чтобы получить x_m въ микронахъ.

Пользуясь таблицами II и III мы составляемъ прежде всего табличку, въ которой для даннаго маятника по аргументу u даются $\lg C\sqrt{1-\mu^2 f(u)}$ и сумма $\tau + \tau_1$.

Для краткости письма пусть

$$m = C\sqrt{1-\mu^2 f(u)},$$

тогда

$$x_m = \frac{m\,u}{f(u)}\,y_m$$

и

$$\lg x_m = \lg m + \lg \frac{u}{f(u)} + \lg y_m.$$

Для $\lg m$ и $\tau + \tau_1 = T_0 k$ мы получили такую таблицу:

u	$\lg m$	$\tau + \tau_1$
0.2	0.232	5^s
0.3	.226	7
0.4	.220	9
0.5	.213	11
0.6	.207	12
0.7	.203	14
0.8	.200	15
0.9	.198	16
1.0	.198	17
1.1	.198	18
1.2	.199	19
1.3	.200	20
1.4	.202	21
1.5	.204	21
1.6	.206	22
1.7	.208	23
1.8	.210	24
1.9	.211	24
2.0	.213	25

Такъ какъ $\lg m$ и $\tau + \tau_1$ мѣняются медленно, то пользованіе этой таблицей очень удобно.

Далѣе мы располагаемъ вычисленія слѣдующимъ образомъ:

	M_1	M_2	M_3	M_4
t_m	11ʰ 38 4	11 38 48	11 40 9	11 40 52
T_p	18.3	16.4	12.2	13.1
y_m	44.6	— 44.3	25.2	— 24.6
u_0	0.799	0.716	0.533	0.572
Таблица I	9.924	9.902	9.889	9.886
$\lg m$	.200	.203	.211	.209
Сумма	0.124	0.105	0.100	0.095
$\lg y_m$	1.649	1.646	1.401	1.391
$\tau + \tau_1$	15	14	11	12
x_m	59	— 56	32	— 31
t_x	11 37 49	11 38 34	11 39 58	11 40 40

Таблица I.

(арг. u) $\lg \frac{u}{f(u)}$.

u	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0.2	0.131	0.113	0.097	0.081	0.066	0.053	0.040	0.028	0.016	0.006	0.2
0.3	9.996	9.986	9.977	9.969	9.962	9.954	9.948	9.941	9.935	9.930	0.3
0.4	9.925	9.920	9.916	9.912	9.908	9.905	9.902	9.899	9.897	9.895	0.4
0.5	9.893	9.891	9.890	9.889	9.888	9.887	9.887	9.886	9.886	9.887	0.5
0.6	9.887	9.887	9.888	9.889	9.890	9.891	9.892	9.894	9.896	9.897	0.6
0.7	9.899	9.901	9.903	9.906	9.908	9.911	9.913	9.916	9.919	9.922	0.7
0.8	9.924	9.928	9.931	9.934	9.937	9.941	9.944	9.948	9.952	9.955	0.8
0.9	9.959	9.963	9.967	9.971	9.975	9.979	9.983	9.987	9.991	9.996	0.9
1.0	0.000	0.004	0.009	0.013	0.018	0.022	0.027	0.031	0.036	0.041	1.0
1.1	0.045	0.050	0.055	0.060	0.064	0.069	0.074	0.079	0.084	0.089	1.1
1.2	0.094	0.098	0.104	0.108	0.113	0.118	0.123	0.128	0.133	0.138	1.2
1.3	0.144	0.149	0.154	0.159	0.164	0.169	0.174	0.179	0.184	0.189	1.3
1.4	0.194	0.199	0.205	0.210	0.215	0.220	0.225	0.230	0.235	0.240	1.4
1.5	0.246	0.251	0.256	0.261	0.266	0.271	0.276	0.281	0.287	0.292	1.5
1.6	0.297	0.302	0.307	0.312	0.317	0.322	0.327	0.332	0.337	0.342	1.6
1.7	0.347	0.352	0.357	0.362	0.367	0.373	0.377	0.383	0.387	0.392	1.7
1.8	0.397	0.402	0.407	0.412	0.417	0.422	0.427	0.432	0.437	0.442	1.8
1.9	0.447	0.451	0.456	0.461	0.466	0.471	0.476	0.480	0.485	0.490	1.9
2.0	0.495	0.500	0.504	0.509	0.514	0.519	0.523	0.528	0.533	0.537	2.0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Таблица II.

$\lg \sqrt{1-\mu^2 f(u)}$ (въ 0.001).

u \ μ^2	— 0.10	— 0.09	— 0.08	— 0.07	— 0.06	— 0.05	— 0.04	— 0.03	— 0.02	— 0.01
0.2	+ 3	+ 3	+ 3	+ 2	+ 2	+ 2	+ 1	+ 1	+ 1	+ 0
0.3	6	6	5	5	4	3	3	2	1	1
0.4	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
0.5	14	12	11	10	8	7	6	4	3	1
0.6	16	15	13	12	10	8	7	5	3	2
0.7	18	17	15	13	11	9	8	6	4	2
0.8	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
0.9	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
1.0	21	19	17	15	13	11	8	6	4	2
1.1	20	18	17	15	12	10	8	6	4	2
1.2	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
1.3	19	18	16	14	12	10	8	6	4	2
1.4	19	17	15	13	11	10	8	6	4	2
1.5	18	16	14	13	11	9	7	6	4	2
1.6	17	15	14	12	10	9	7	5	4	2
1.7	16	14	13	11	10	8	7	5	3	2
1.8	15	14	12	11	9	8	6	5	3	2
1.9	14	13	12	10	9	7	6	4	3	2
2.0	+ 13	+ 12	+ 11	+ 10	+ 8	+ 7	+ 6	+ 4	+ 3	+ 1

Таблица II (продолженіе).

u \ μ^2	+ 0.01	+ 0.02	+ 0.03	+ 0.04	+ 0.05	+ 0.06	+ 0.07	+ 0.08	+ 0.09	+ 0.10
0.2	— 0	— 1	— 1	— 1	— 2	— 2	— 2	— 3	— 3	— 3
0.3	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7
0.4	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
0.5	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14
0.6	2	3	5	7	9	10	12	14	16	17
0.7	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0.8	2	4	6	8	11	13	15	17	19	22
0.9	2	4	7	9	11	13	16	18	20	23
1.0	2	4	7	9	11	13	16	18	20	23
1.1	2	4	7	9	11	13	16	18	20	23
1.2	2	4	6	9	11	13	15	18	20	22
1.3	2	4	6	8	10	13	15	17	19	21
1.4	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1.5	2	4	6	8	10	11	13	15	17	19
1.6	2	4	5	7	9	11	13	14	16	18
1.7	2	3	5	7	8	10	12	14	15	17
1.8	2	3	5	6	8	10	11	13	15	16
1.9	2	3	4	6	8	9	11	12	14	15
2.0	— 1	— 3	— 4	— 6	— 7	— 8	— 10	— 11	— 13	— 14

u \ μ^2	+ 0.11	+ 0.12	+ 0.13	+ 0.14	+ 0.15	+ 0.16	+ 0.17	+ 0.18	+ 0.19	+ 0.20
0.2	— 3	— 4	— 4	— 4	— 5	— 5	— 6	— 6	— 6	— 6
0.3	7	8	9	9	10	11	12	12	13	14
0.4	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22
0.5	16	17	19	20	22	23	25	27	28	30
0.6	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37
0.7	22	24	26	29	31	33	35	38	40	42
0.8	24	26	28	31	33	36	38	41	43	46
0.9	25	28	30	32	35	37	40	42	45	48
1.0	25	28	30	33	35	38	40	43	46	48
1.1	25	28	30	32	35	38	40	43	45	48
1.2	24	27	29	31	34	36	39	42	44	47
1.3	23	26	28	30	33	35	38	40	42	45
1.4	22	25	27	29	31	34	36	38	40	43
1.5	21	24	26	28	30	32	34	36	38	41
1.6	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
1.7	19	21	23	24	26	28	30	32	34	36
1.8	18	20	21	23	25	27	28	30	32	34
1.9	17	18	20	22	23	25	27	28	30	32
2.0	— 16	— 18	— 19	— 20	— 22	— 24	— 25	— 27	— 28	— 30

(Числа таблицы II выражены въ 0.001).

Таблица III.

lg k.

u	lg k
0.2	9.352
0.3	9.504
0.4	9.605
0.5	9.679
0.6	9.735
0.7	9.780
0.8	9.817
0.9	9.848
1.0	9.875
1.1	9.899
1.2	9.920
1.3	9.938
1.4	9.956
1.5	9.971
1.6	9.986
1.7	0.000
1.8	0.013
1.9	0.026
2.0	0.038

ИНСТРУКЦІЯ

для установки тяжелыхъ горизонтальныхъ маятниковъ системы князя Б. Б. Голицына и для производства наблюденій съ ними.

Составлена Секретаремъ Сейсмической Комиссіи П. М. Никифоровымъ.

Предисловіе.

Въ настоящей инструкціи излагаются въ краткомъ видѣ всѣ необходимѣйшія свѣдѣнія относительно конструкціи и установки тяжелыхъ горизонтальныхъ маятниковъ князя Голицына, принятыхъ Сейсмическою Комиссіей при Императорской Академіи Наукъ для русскихъ сейсмическихъ станцій 2-го разряда. Описываются также тѣ операціи, изъ которыхъ слагается такъ называемый «пускъ» и «остановка» приборовъ, и, въ заключеніе, изложенъ телеграфный способъ повѣрки часовъ. Теорія инструмента, а, равнымъ образомъ, и способы вычисленія ряда физическихъ величинъ, характеризующихъ индивидуальныя особенности каждаго сейсмографа, совершенно опущены въ настоящемъ очеркѣ; лишь въ первыхъ двухъ §§-ахъ, для разъясненія встрѣчающихся въ дальнѣйшемъ терминовъ, дается элементарное понятіе о горизонтальномъ маятникѣ и о примѣненіи его въ сейсмометріи. Опущены также всѣ вопросы, связанные съ обработкой сейсмограммъ и съ тѣми научными заключеніями, которыя дѣлаетъ по сейсмограммамъ современная сейсмометрія.

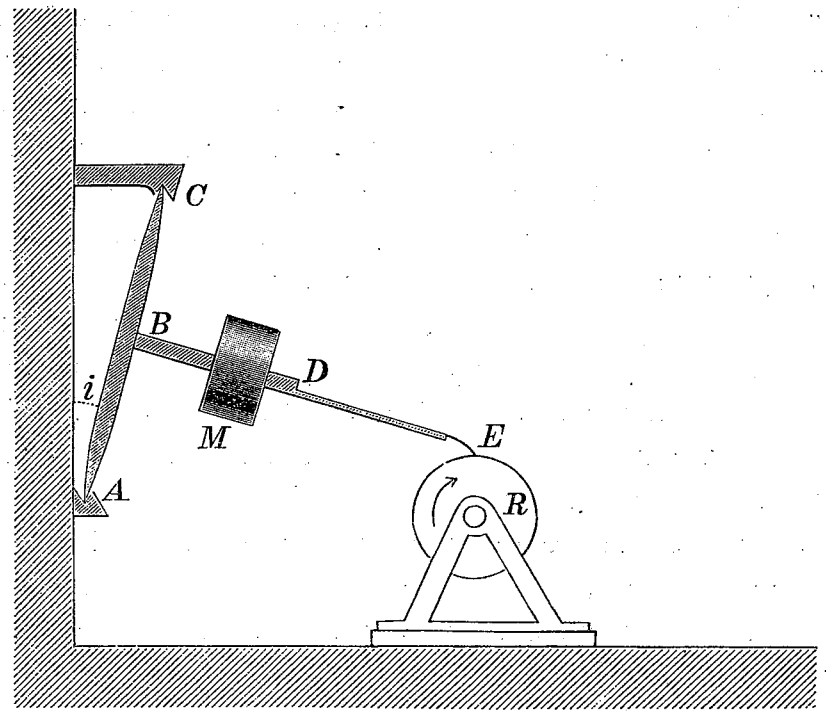
Лицъ, интересующихся теоретическими вопросами сейсмологіи и желающихъ самостоятельно использовать добытый наблюдательный матеріалъ, составитель отсылаетъ къ сочиненію князя Б. Б. Голицына: «Лекціи по сейсмометріи» (изданіе Сейсмической Комиссіи при Императорской Академіи Наукъ. СПБ. 1912 г.), являющемуся настольной книгой для каждаго сейсмолога.

---

§ 1. **Понятіе о горизонтальномъ маятникѣ.** Непосредственная задача сейсмометріи состоитъ въ опредѣленіи истиннаго перемѣщенія частицы земной поверхности, вызваннаго болѣе или менѣе удаленнымъ землетрясеніемъ, а также въ точномъ опредѣленіи момента времени, соотвѣтствующаго этому перемѣщенію.

Перемѣщенія, совершающіяся въ горизонтальной плоскости, обнаруживаются при помощи такъ называемаго *горизонтальнаго маятника,* схематическій чертежъ котораго изображенъ на рис. 1.

Рис. 1.



Ось ABC входитъ своими концами въ два углубленія, находящіяся въ одной вертикальной плоскости; стержень BD поддерживаетъ грузъ M.

Маятникъ находится въ состояніи равновѣсія, если центръ тяжести маятника лежитъ въ одной вертикальной плоскости съ осью вращенія AC. Будучи выведенъ изъ положенія равновѣсія, маятникъ начинаетъ совершать собственныя колебанія.

Промежутокъ времени, потребный для совершенія одного полнаго колебанія, или, иначе говоря, промежутокъ времени, отдѣляющій два послѣдовательныя прохожденія маятника черезъ положеніе равновѣсія въ одномъ и томъ-же направленіи, называется *періодомъ колебанія* и будетъ обозначаться въ дальнѣйшемъ буквою T.

Наибольшее удаленіе свободнаго конца маятника отъ положенія равновѣсія въ ту или другую сторону называется *амплитудою* и будетъ обозначаться буквою y.

Періодъ — T выражается обыкновенно въ секундахъ, амплитуда — y — въ миллиметрахъ.

При малыхъ углахъ отклоненія, періодъ T не зависитъ отъ амплитуды y, т.-е. при бо́льшихъ отклоненіяхъ свободный конецъ маятника перемѣщается съ бо́льшей линейной скоростью, при ме́ньшихъ — съ ме́ньшей, но время, потребное для совершенія полнаго колебанія, остается въ обоихъ случаяхъ одинаковымъ.

Если-бы не было никакихъ силъ сопротивленія движенію маятника напр. не было-бы тренія оси AC объ упорныя пластинки, сопротивленія воздуха, то послѣдовательныя амплитуды въ ту и другую сторону были-бы численно равны между собою и движеніе никогда бы не прекратилось.

При наличіи же какихъ бы то ни было сопротивленій, послѣдовательныя амплитуды становятся все меньше и меньше, движеніе затухаетъ и въ концѣ концовъ прекращается. За мѣру затуханія принимается отношеніе двухъ послѣдовательныхъ амплитудъ, независимо отъ знака. Это отношеніе называется *коэффиціентомъ затуханія* и обозначается буквою v.

Называя черезъ $y_1, y_2, \ldots y_k$ численныя значенія послѣдовательныхъ амплитудъ, имѣемъ

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

Если всѣ силы сопротивленія пропорціональны скорости движенія маятника, то v не зависитъ отъ амплитуды, т.-е.

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{y_2}{y_3} = \ldots = \frac{y_k}{y_{k+1}} = v = \text{пост.}$$

При полномъ отсутствіи затуханія $v = 1$, если-же затуханіе имѣетъ мѣсто, то

$$v > 1.$$

Десятичный логарифмъ отъ коэффиціента затуханія называется *логарифмическимъ декрементомъ* и обозначается черезъ Λ, т.-е.

$$\Lambda = \mathrm{Log}_{10} v = \mathrm{Log}_{10} y_k - \mathrm{Log}_{10} y_{k+1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Силы сопротивленія, производя затуханіе, увеличиваютъ также періодъ маятника; при этомъ, чѣмъ сильнѣе затуханіе, тѣмъ длиннѣе періодъ.

Обозначая черезъ T періодъ абсолютно свободнаго маятника, черезъ T' — періодъ маятника при затуханіи, охарактеризованномъ опредѣленнымъ значеніемъ логарифмическаго декремента Λ, имѣемъ слѣдующее соотношеніе:

$$T' = T\sqrt{1 + 0{,}53720\Lambda^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Формула показываетъ, что при отсутствіи затуханія, т.-е. когда

$$v = 1 \quad \text{и} \quad \Lambda = 0,$$

$$T' = T$$

Съ возрастаніемъ же v увеличивается Λ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и T'.

Періодъ T маятника безъ затуханія является характернѣйшей величиною прибора и въ скрытомъ или явномъ видѣ входитъ во всѣ формулы сейсмометріи. Само собой разумѣется, что въ практикѣ нельзя устранить всѣхъ сопротивленій и наблюденію доступна лишь величина T'; но опредѣливъ попутно, по отношенію амплитудъ, величину v или Λ, можно воспользоваться формулой (3) для вычисленія T:

$$T = \frac{T'}{\sqrt{1 + 0{,}53720\Lambda^2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3')$$

Періодъ T горизонтальнаго маятника зависитъ отъ взаимныхъ разстояній между его отдѣльными частями, а также отъ угла i, образованнаго осью вращенія съ вертикальной линіей (рис. 1). Чѣмъ меньше уголъ i, тѣмъ длиннѣе періодъ T. Въ сейсмометрической практикѣ уголъ i подбираютъ такъ, чтобы T равнялось 20 — 25 сек.

§ 2. Обратимся къ вопросу о томъ, какимъ образомъ горизонтальный маятникъ можетъ быть использованъ для цѣлей сейсмометріи.

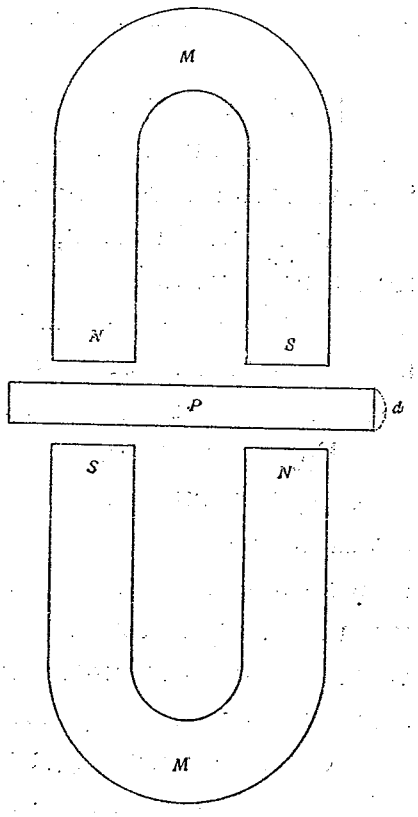
При внезапномъ толчкѣ, почва со всѣми находящимися на ней предметами совершаетъ перемѣщеніе, но это перемѣщеніе мы можемъ обнаружить только въ томъ случаѣ, если будемъ имѣть какую-либо неподвижную точку, относительно которой и станетъ замѣтно перемѣщеніе. Такой непо-

движной точкой является центръ качанія маятника. Въ первый моментъ, когда земная поверхность только что начинаетъ свое движеніе, грузъ маятника, вслѣдствіе инерціи, дѣйствительно, остается неподвижнымъ; штативъ же, а вмѣстѣ съ нимъ и ось вращенія, увлекаются въ движеніе вмѣстѣ съ земной поверхностью. Стержень маятника поворачивается вокругъ груза на нѣкоторый уголъ, пропорціональный смѣщенію почвы, и по величинѣ этого угла можно вычислить и самое перемѣщеніе. Но это только въ первый моментъ. Далѣе маятникъ начинаетъ совершать собственныя колебанія, такъ какъ онъ выведенъ изъ положенія равновѣсія, и эти колебанія, слагаясь съ движеніемъ земной поверхности, даютъ сложную запись, въ которой весьма трудно отдѣлить собственное движеніе маятника отъ движенія земной поверхности, которое одно и представляетъ интересъ.

Чтобы собственное движеніе маятника возможно менѣе искажало запись землетрясенія, въ современной сейсмометріи прибѣгаютъ къ искуственному затуханію. Наиболѣе совершеннымъ способомъ уничтоженія собственнаго движенія маятника признано магнитное затуханіе, предложенное кн. Б. Б. Голицынымъ. Способъ кн. Б. Б. Голицына состоитъ въ слѣдующемъ.

Къ стержню маятника прикрѣпляется мѣдная пластинка P (рис. 2), помѣщенная между полюсами двухъ постоянныхъ подковообразныхъ магнитовъ M, M. При движеніи пластинки P въ магнитномъ полѣ, въ ней возбуждаются электрическіе токи, противодѣйствующіе движенію. Чѣмъ больше будетъ напряженіе магнитнаго поля, тѣмъ сильнѣе будутъ возбужденные токи и вызванное ими торможеніе маятника, т.-е. тѣмъ быстрѣе прекратятся собственныя колебанія маятника, искажающія запись. Напряженіе же поля можно регулировать, мѣняя разстояніе между полюсами магнитовъ.

Рис. 2.



Сблизивъ въ достаточной мѣрѣ магниты, можно совершенно уничтожить собственное періодическое движеніе маятника; т.-е. маятникъ, будучи выведенъ изъ положенія равновѣсія, медленно къ нему возвратится, но не перейдетъ на другую сторону отъ него. Такое движеніе называется апериодическимъ. Однако затуханіе, будучи въ сущности тормозомъ, значительно понижаетъ чувствительность

прибора и потому на маятникахъ, назначенныхъ для станцій 2-го разряда и не обладающихъ высокой чувствительностью, затуханіе не слѣдуетъ дѣлать слишкомъ сильнымъ. Достаточно сблизить магниты лишь настолько, чтобы *коэффиціентъ затуханія v равнялся 4 — 5.*

Горизонтальный маятникъ отзывается въ полной мѣрѣ лишь на тѣ горизонтальныя перемѣщенія почвы, которыя совершаются перпендикулярно къ стержню маятника. Если же направленіе перемѣщенія составляетъ острый уголъ съ направленіемъ стержня маятника, то приборъ реагируетъ лишь на ту составляющую перемѣщенія, которая перпендикулярна къ его стержню. Отсюда ясно, что для оцѣнки движеній почвы, происходящихъ въ любомъ горизонтальномъ направленіи, необходимо располагать двумя маятниками, установленными во взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ.

Колебанія маятника записываются автоматически при помощи пишущаго пера *DE* (рис. 1), придѣланнаго къ стержню *BD*, на такъ называемомъ *регистрирующемъ аппаратѣ R*, цилиндръ котораго обтягивается закопченной бумагой. Цилиндръ имѣетъ непрерывное вращательное и поступательное движеніе вокругъ и вдоль своей оси и, такимъ образомъ, перо всегда пишетъ на свѣжей поверхности бумаги.

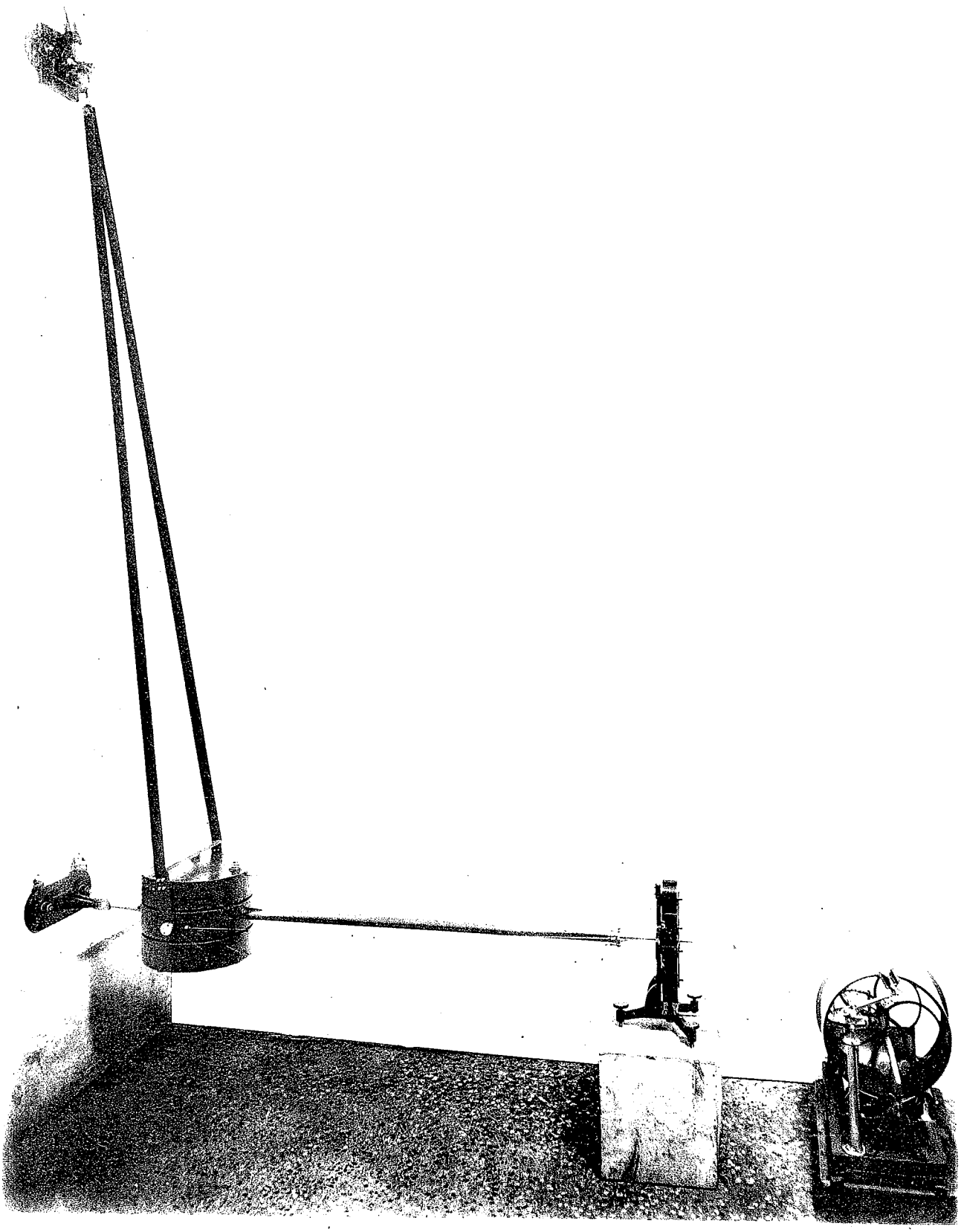
Запись движенія маятника, вызваннаго какимъ-либо сейсмическимъ возмущеніемъ, называется *сейсмограммою.*

§ 3. **Описаніе инструмента.** На рис. 3 воспроизведенъ общій видъ маятника. Приборъ прикрѣпляется къ стѣнѣ или массивному столбу при помощи 2 чугунныхъ пластинокъ; при этомъ, однако, необходимо обращать вниманіе на то, чтобы стѣна, къ которой подвѣшивается маятникъ, не подвергалась замѣтнымъ колебаніямъ температуры, такъ какъ при неравномѣрномъ расширеніи стѣны или столба будетъ измѣняться положеніе равновѣсія маятника. По этимъ соображеніямъ, нельзя рекомендовать укрѣпленіе прибора на наружной стѣнѣ зданія.

Грузъ маятника, вѣсящій около 110 килограммовъ, состоитъ изъ трехъ чугунныхъ дисковъ (діаметръ 14,85 снт., толщина 7,4 снт.), скрѣпленныхъ тремя вертикальными болтами, и, въ собранномъ видѣ, представляетъ собою вертикальный цилиндръ. Грузъ поддерживается двумя стальными лентами, присоединенными къ среднему диску при помощи двухъ винтовъ, расположенныхъ на концахъ діаметра, проходящаго черезъ центръ тяжести груза, чѣмъ достигается уравновѣшенность всей системы.

Обѣ ленты наверху сходятся вмѣстѣ и при посредствѣ тонкой стальной пластинки сочленяются съ удлиненнымъ брускомъ, имѣющимъ на верхнемъ концѣ винтовую нарѣзку; мѣсто сочлененія стальной пластинки съ брускомъ образуетъ верхнюю точку подвѣса маятника. Упомянутый бру-

Рис. 3.

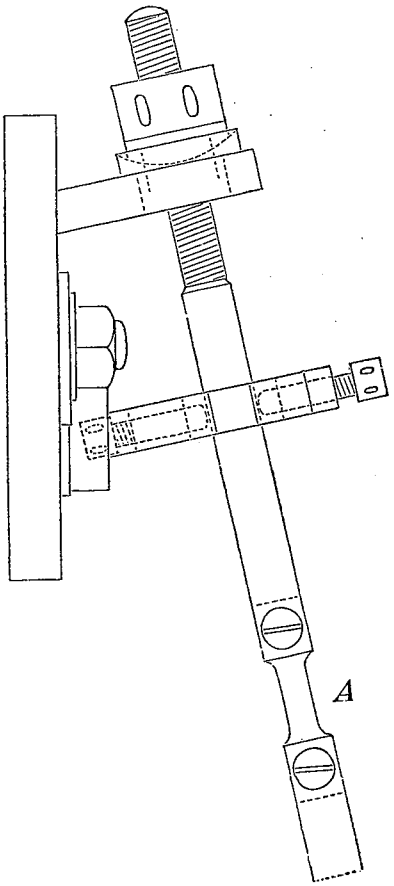


Фототипія В. Кизеръ, С. Петербургъ, Кадетская лин. № 7-2.

Пресвѣ Н. Каминскій.

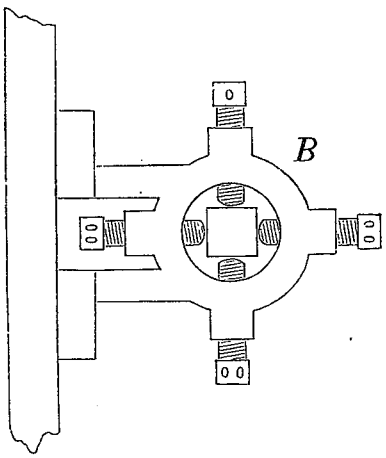
сокъ проходитъ черезъ кольцо и можетъ передвигаться вверхъ и внизъ при помощи гайки, навернутой на его верхній конецъ. Въ кольцѣ же брусокъ закрѣпляется четырьмя винтами; 2 боковыхъ винта позволяютъ передвигать всю систему вправо или влѣво съ тѣмъ, чтобы стержень маятника, служащій для регистраціи, принялъ надлежащее направленіе. Два другихъ винта служатъ для того, чтобы верхнюю точку опоры перемѣщать впередъ или назадъ и, такимъ образомъ, измѣнять періодъ. На рис. 4 изображена описанная система верхняго подвѣса.

Рис. 4.



Устройство нижней точки опоры усматривается изъ рис. 5 и 6, на которыхъ представленъ видъ системы сбоку и сверху, причемъ для ясности всѣ части изображены также отдѣльно.

Какъ видно изъ чертежей, часть *b*, которая собственно и служитъ центромъ вращенія, можетъ быть вынута, въ случаѣ надобности, изъ гнѣзда. Эта часть состоитъ изъ тонкой стальной пластинки (толщина = 0,13 мм.), зажатой въ желѣзные тисочки; на одномъ концѣ пластинки тисочки снабжены горизонтальнымъ штифтомъ, на другомъ — тисочки удлинены и выступающія части имѣютъ острыя ребра, которыя при сборкѣ прибора должны быть обращены къ грузу маятника. Выступъ *a* образуетъ ту часть, которая прочно привинчивается къ стѣнѣ. Передняя часть выступа имѣетъ форму вилки съ горизонтальнымъ желобомъ спереди, который служитъ для сочлененія съ частью *b* при помощи упомянутаго горизонтальнаго штифта.



Къ грузу маятника привинчена вилка *c*, придатки которой расположены въ вертикальной плоскости и имѣютъ вертикальный желобъ на обращенной къ стѣнѣ поверхности. Этотъ желобъ покоится на острыхъ ребрахъ части *b*.

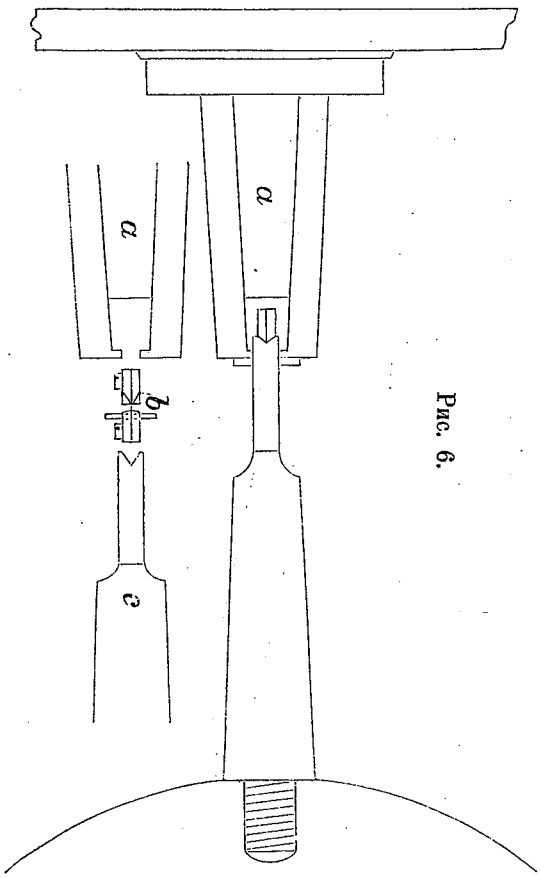


Рис. 6.

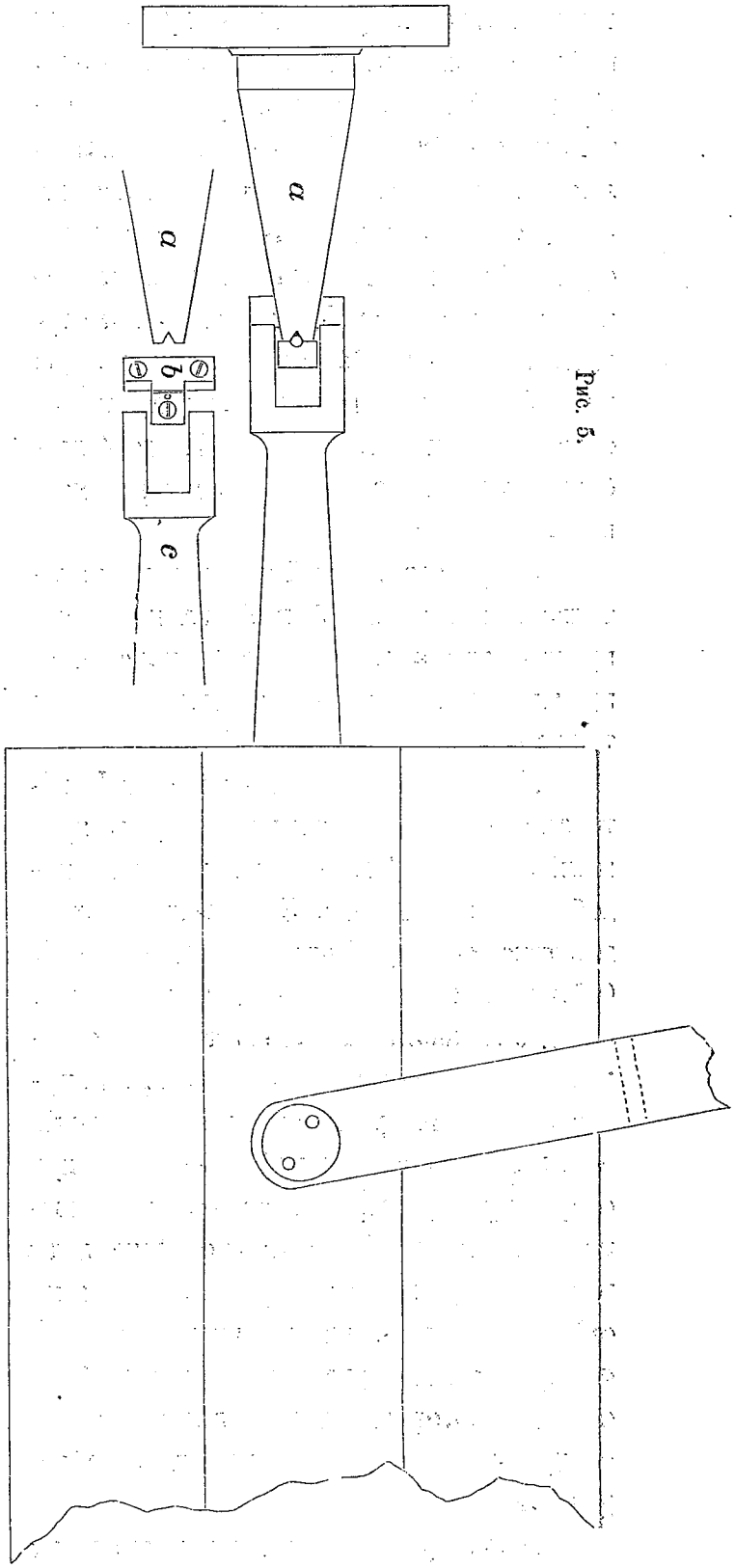
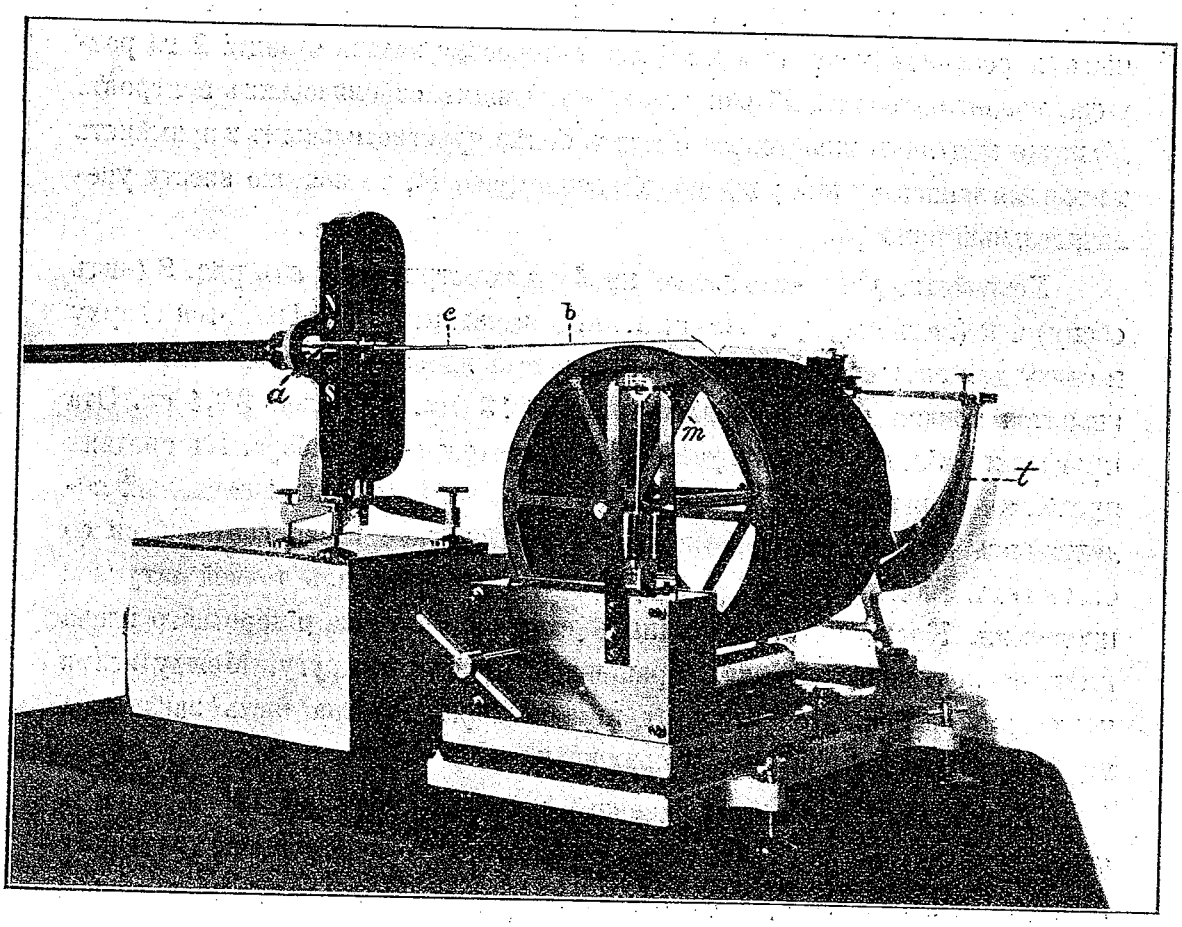


Рис. 5.

Обратимся теперь къ описанію пишущаго приспособленія. На передней сторонѣ груза ввинчивается латунная трубка, длиною 1 метръ, внутр. діаметра 31,0 мм. и толщиною стѣнокъ 0,7 мм. Внѣшній конецъ трубки заканчивается коническимъ придаткомъ, переходящимъ въ сравнительно тонкій стерженекъ, къ которому привинчивается аллюминіевое пишущее перо. Для большей прочности трубка скрѣпляется съ грузомъ еще при посредствѣ 4 натянутыхъ стальныхъ струнъ, идущихъ отъ груза къ коническому выступу.

Рис. 7.



Колебанія маятника записываются на закопченной бумагѣ при помощи аллюминіеваго пишущаго пера *b*, привинченнаго къ стержню маятника (рис. 7). На свободномъ концѣ перо раздваивается въ видѣ вилки, въ которую вкладывается горизонтальная стальная ось съ надѣтымъ на ней роговымъ штифтикомъ; заостренный конецъ штифтика касается бумаги.

Затуханіе осуществляется при помощи двухъ подковообразныхъ четырехслойныхъ постоянныхъ магнитовъ. Магниты устанавливаются другъ противъ друга разноименными полюсами на особомъ штативѣ, не находящемся въ соединеніи съ маятникомъ, и удерживаются въ неизмѣнномъ по-

ложеніи посредствомъ мѣдныхъ полосокъ привинчиваемыхъ къ штативу при помощи винтовъ. Отдавъ немного полоски, можно перемѣщать магниты въ вертикальной плоскости, дѣйствуя вертикальными винтами, и тѣмъ измѣнять разстояніе между полюсами, причемъ будетъ мѣняться также и сила затуханія. Между полюсами магнитовъ помѣщается пластинка a изъ чистой мѣди, прикрѣпленная къ стержню маятника (см. стр. 109).

Нормальное увеличеніе маятника кн. Б. Б. Голицына обыкновенно равно 4,5, т.-е. при внезапномъ смѣщеніи почвы конецъ пишущаго пера совершитъ перемѣщеніе въ 4,5 раза больше чѣмъ сама почва. Увеличеніе такого порядка вполнѣ достаточно для записи близкихъ землетрясеній, въ чемъ и состоитъ главная и наиболѣе интересная задача станцій 2-го разряда, располагаемыхъ вблизи самостоятельныхъ сейсмическихъ центровъ. Если же маятникъ желательно сдѣлать болѣе чувствительнымъ и примѣнять также для записи весьма удаленныхъ землетрясеній, то полезно ввести увеличительный приборъ.

Устройство увеличительнаго прибора усматривается изъ рис. 8 (видъ сбоку) и 9 (видъ сверху). На штативѣ для магнитовъ укрѣпляются сверху и снизу двѣ латунныя полоски, выступающія впередъ, и между ними натягивается тонкая проволока діаметромъ 0,13 мм. и длиною 32,4 см. Эта проволока образуетъ ось вращенія увеличительнаго прибора. Къ срединѣ проволоки привинчивается неравноплечій рычагъ, уравновѣшиваемый подвижнымъ грузомъ на короткомъ плечѣ. Короткое плечо соединяется со стержнемъ маятника легкою спиральною пружиною изъ тонкой латунной проволоки. Кромѣ того, на концахъ стержня маятника и короткаго плеча имѣются агатовыя чашечки, обращенныя другъ къ другу. Между этими чашечками помѣщается стальная игла, которая должна быть заключена внутри упомянутой спиральной пружинки.

Если длину плеча, снабженнаго роговымъ перышкомъ, обозначить черезъ b, длину же короткаго плеча — черезъ a, то перемѣщеніе пишущаго пера увеличительнаго прибора будетъ въ $\frac{b}{a}$ разъ больше перемѣщенія конца стержня маятника. Въ приборахъ кн. Б. Б. Голицына отношеніе $\frac{b}{a}$ дѣлается обычно равнымъ 10 и, такимъ образомъ, увеличеніе маятника, снабженнаго увеличительнымъ приборомъ, достигаетъ 45.

Введеніе увеличительнаго прибора можно рекомендовать для тѣхъ сейсмическихъ станцій, которыя удалены отъ самостоятельныхъ сейсмическихъ центровъ и назначены для записи дальнихъ землетрясеній. Большинство же русскихъ станцій 2-го разряда располагается именно въ тѣхъ областяхъ, гдѣ наблюдается самостоятельная сейсмическая дѣятельность, какъ напр., въ Туркестанѣ, на Кавказѣ, Камчаткѣ и Сахалинѣ; *наиглавнѣй-*

Рис. 8.

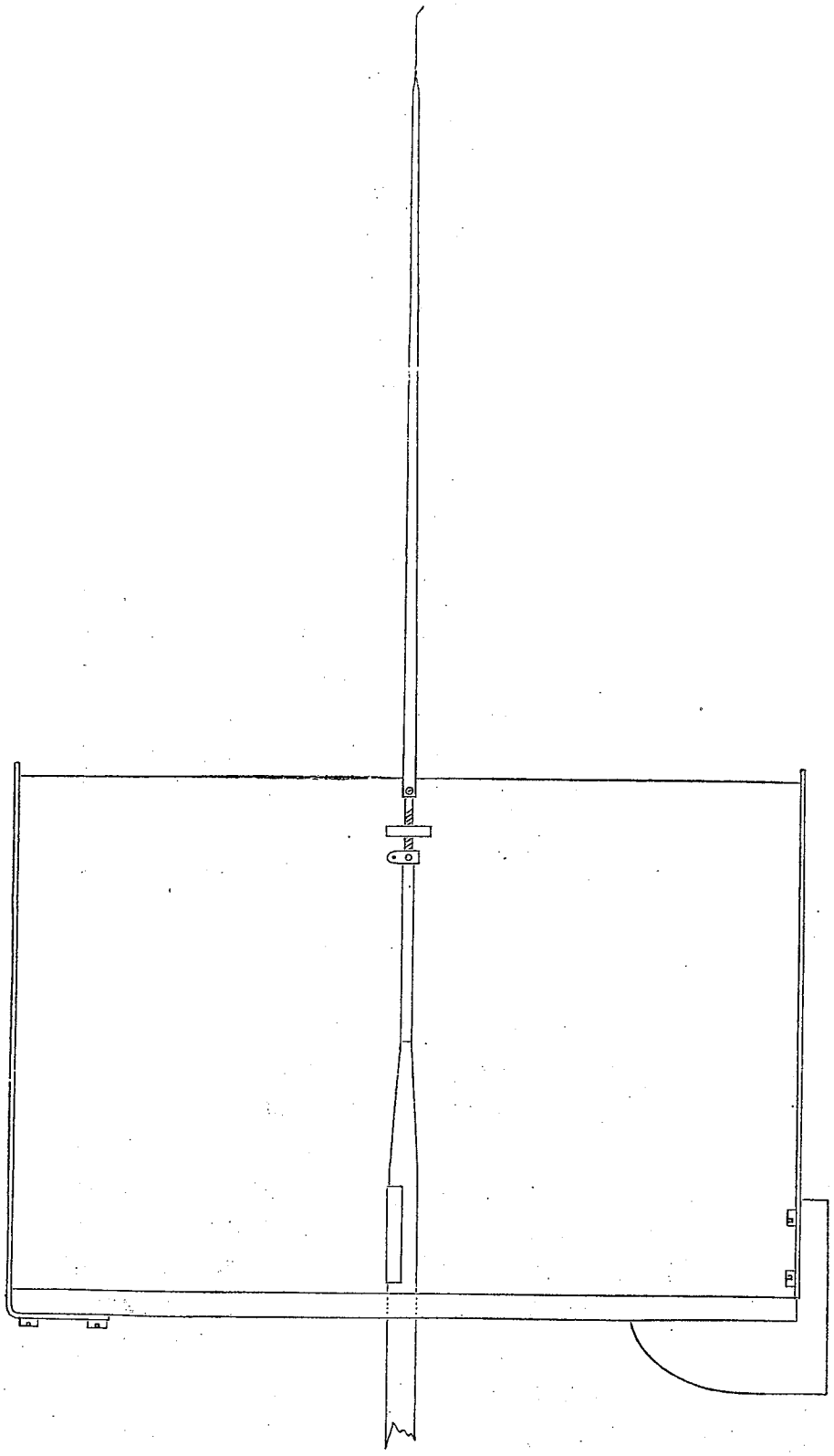
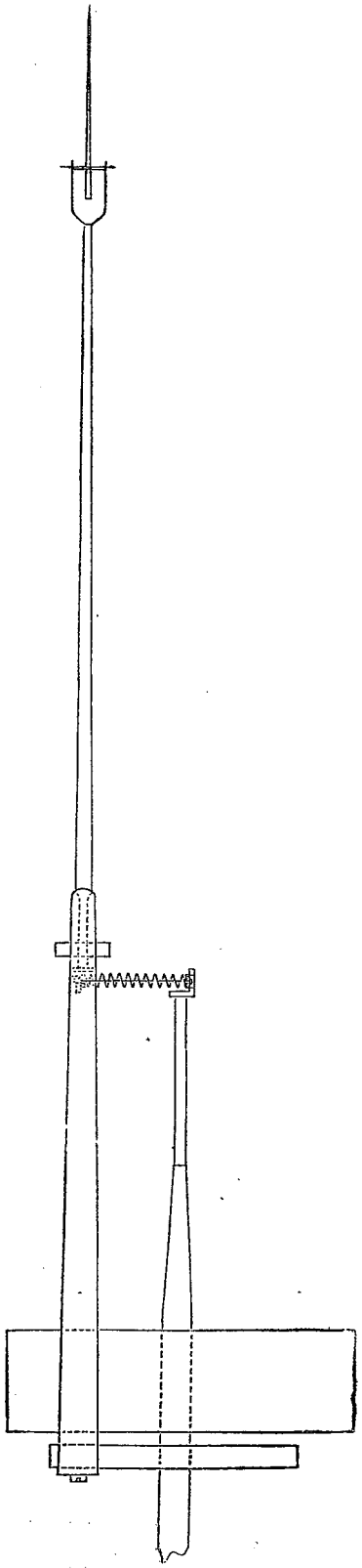
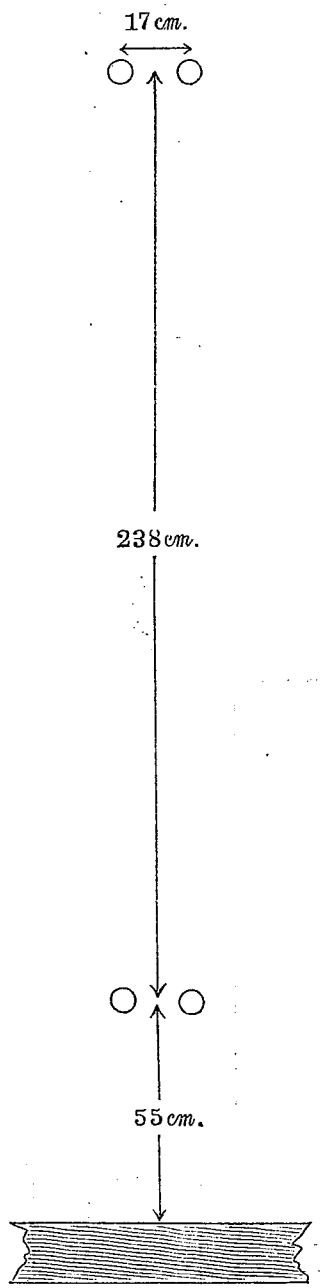


Рис. 9.



шая задача такихъ станцій состоитъ *въ записи близкихъ землетрясеній*, удаленныхъ не болѣе чѣмъ на 500 километровъ отъ станціи. Для столь близкихъ землетрясеній, маятникъ, снабженный увеличительнымъ приборомъ, можетъ оказаться слишкомъ чувствительнымъ; запись выйдетъ изъ предѣловъ регистрирующаго аппарата и можетъ, кромѣ того, выпасть игла, сочленяющая увеличительный приборъ со стержнемъ маятника. По этимъ соображеніямъ, не рекомендуется пользоваться увеличительнымъ приборомъ въ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ есть вѣроятіе, что можетъ случиться хотя бы и весьма слабое мѣстное колебаніе почвы.

Рис. 10.

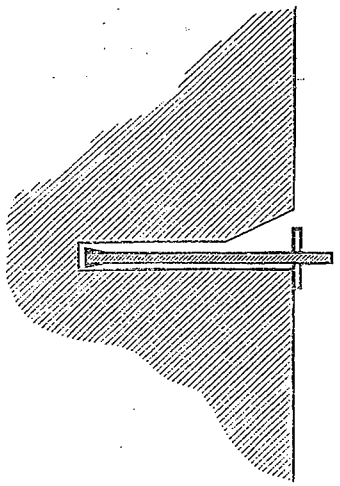


§ 4. **Сборка и навѣшиваніе маятника.** Для навѣшиванія маятника выбираютъ прочную каменную стѣну толщиною не менѣе 50 см., которая должна быть предохранена, какъ уже упомянуто въ предыдущемъ §'ѣ, отъ суточныхъ колебаній температуры. Желательно также, чтобы плоскость стѣны совпадала съ плоскостью меридіана или съ плоскостью перваго вертикала; въ противномъ случаѣ, должно опредѣлить съ точностью до 1° отклоненіе стѣнъ отъ желательнаго направленія; но во всякомъ случаѣ обязательно, чтобы обѣ плоскости, на которыя навѣшиваются маятники, были взаимно перпендикулярны.

Прежде всего, слѣдуетъ укрѣпить на стѣнѣ тѣ двѣ чугунныя пластины, которыя служатъ для удержанія маятника. Съ этой цѣлью выдалбливаются двѣ пары углубленій (рис. 10) на разстояніи 238 см. другъ отъ друга, причемъ одна пара должна быть вертикально надъ другой. Разстояніе же между отверстіями въ каждой парѣ — 17 см. Нижняя пара отверстій возвышается надъ поломъ на 55 см. Въ отверстія вкладываются желѣзные болты, винтовой нарѣзкой наружу, такъ чтобы выступало около 5 см. послѣ чего отверстія закрываются прямоугольнымъ кускомъ жести съ двумя вырѣзами для болтовъ; углубленія должны имѣть въ наружной половинѣ клинообразную форму, какъ показано въ разрѣзѣ на рис. 11 такъ, чтобы верхній край отверстія вы-

ступалъ нѣсколько надъ жестью. Прибивъ гвоздями жестяную пластинку къ стѣнѣ, вливаютъ, черезъ выступающіе верхніе края отверстій, расплавленный металлическій цементъ, причемъ слѣдятъ, чтобы оба болта были параллельны между собою и лежали въ одной горизонтальной плоскости, и, кромѣ того, чтобы соотвѣтственные болты изъ каждой пары были вертикально одинъ надъ другимъ.

Рис. 11.



По прошествіи 2—3 часовъ, цементъ затвердѣваетъ; тогда можно наложить на стѣну чугунныя пластины и прижать ихъ плотно при помощи гаекъ, навинчиваемыхъ на болты.

Если стѣна не вполнѣ вертикальна, то подъ чугунныя пластины помѣщаютъ металлическія подкладки надлежащей толщины, съ тѣмъ, чтобы обѣ пластины лежали въ одной вертикальной плоскости, въ чемъ убѣждаются по отвѣсу.

Если позволяютъ размѣры помѣщенія, то можно рекомендовать для навѣшиванія маятниковъ устройство спеціальныхъ кирпичныхъ или бетонныхъ столбовъ на солидномъ фундаментѣ. Такой столбъ представляетъ въ сущности двѣ вертикальныя стѣнки, сложенныя подъ прямымъ угломъ другъ къ другу, и служитъ для укрѣпленія обоихъ маятниковъ. Устройство столба понятно изъ рис. 12 (планъ) и 13 (разрѣзъ).

Въ исключительныхъ случаяхъ, когда стѣны зданія не могутъ быть использованы и возведеніе столба невозможно по условіямъ помѣщенія или другимъ причинамъ, маятники могутъ быть навѣшены на спеціальные желѣзные штативы, которые изготовляются по особому заказу механикомъ Физической Лабораторіи Императорской Академіи Наукъ. Общій видъ штатива усматривается изъ рис. 14 и сборка его настолько проста, что нѣтъ необходимости подробно ее описывать.

Далѣе приступаютъ къ сборкѣ самого маятника.

Прежде всего слѣдуетъ составить грузъ изъ трехъ чугунныхъ дисковъ, расположивъ ихъ по №№ (№ 1 — снизу), причемъ въ нижній дискъ предварительно вставляютъ болты и завинчиваютъ ихъ съ нижней стороны гайками. Наложивъ диски, завинчиваютъ верхнія гайки. Въ средній дискъ, до его наложенія, должно ввинтить вилку (рис. 5), обративъ ее къ нижней пластинкѣ, укрѣпленной на стѣнѣ; оба зубца вилки должны лежать точно въ одной вертикальной плоскости. Для сборки груза полезно сложить кир-

Рис. 12.

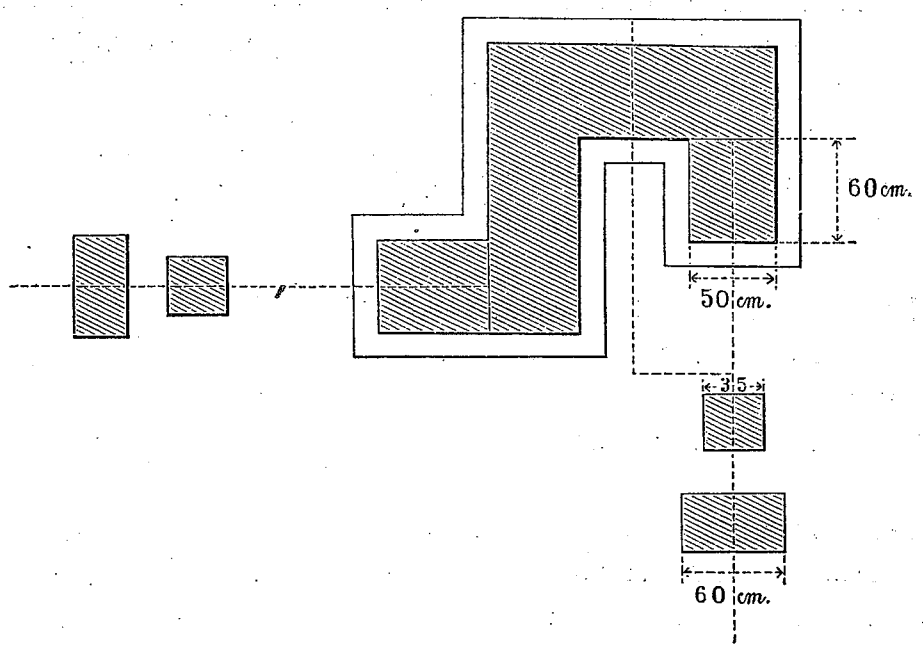


Рис. 13.

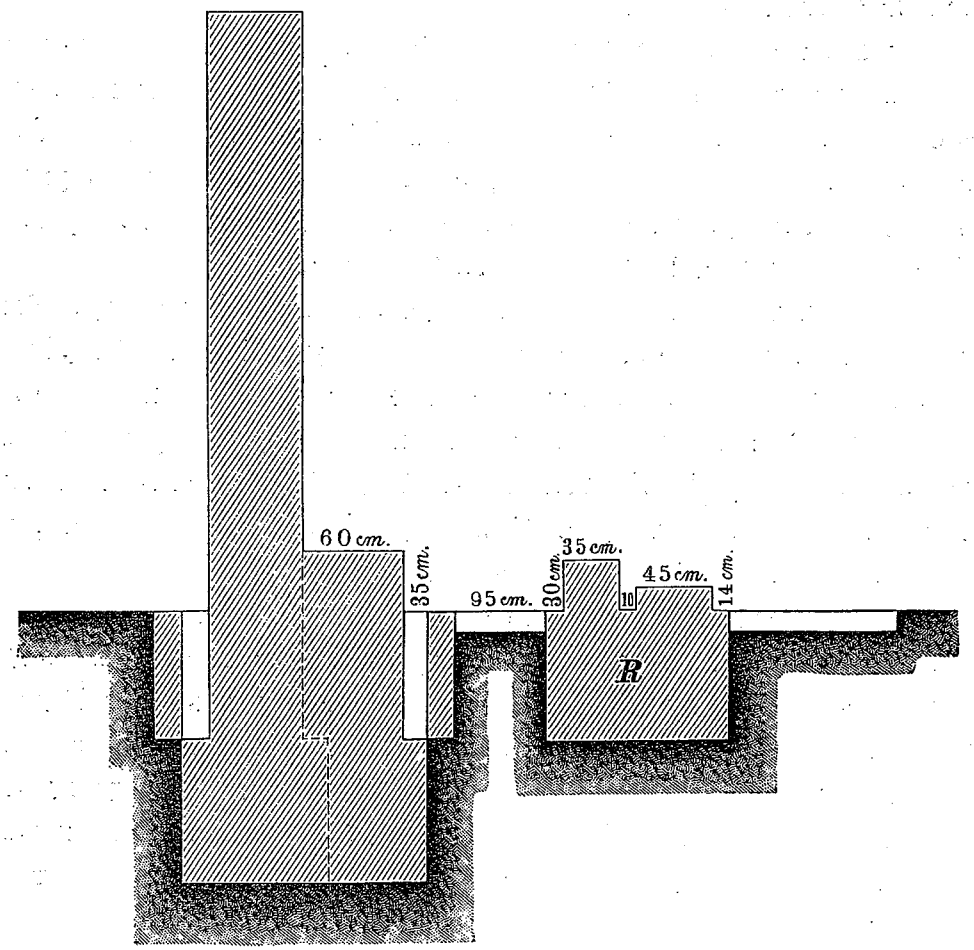
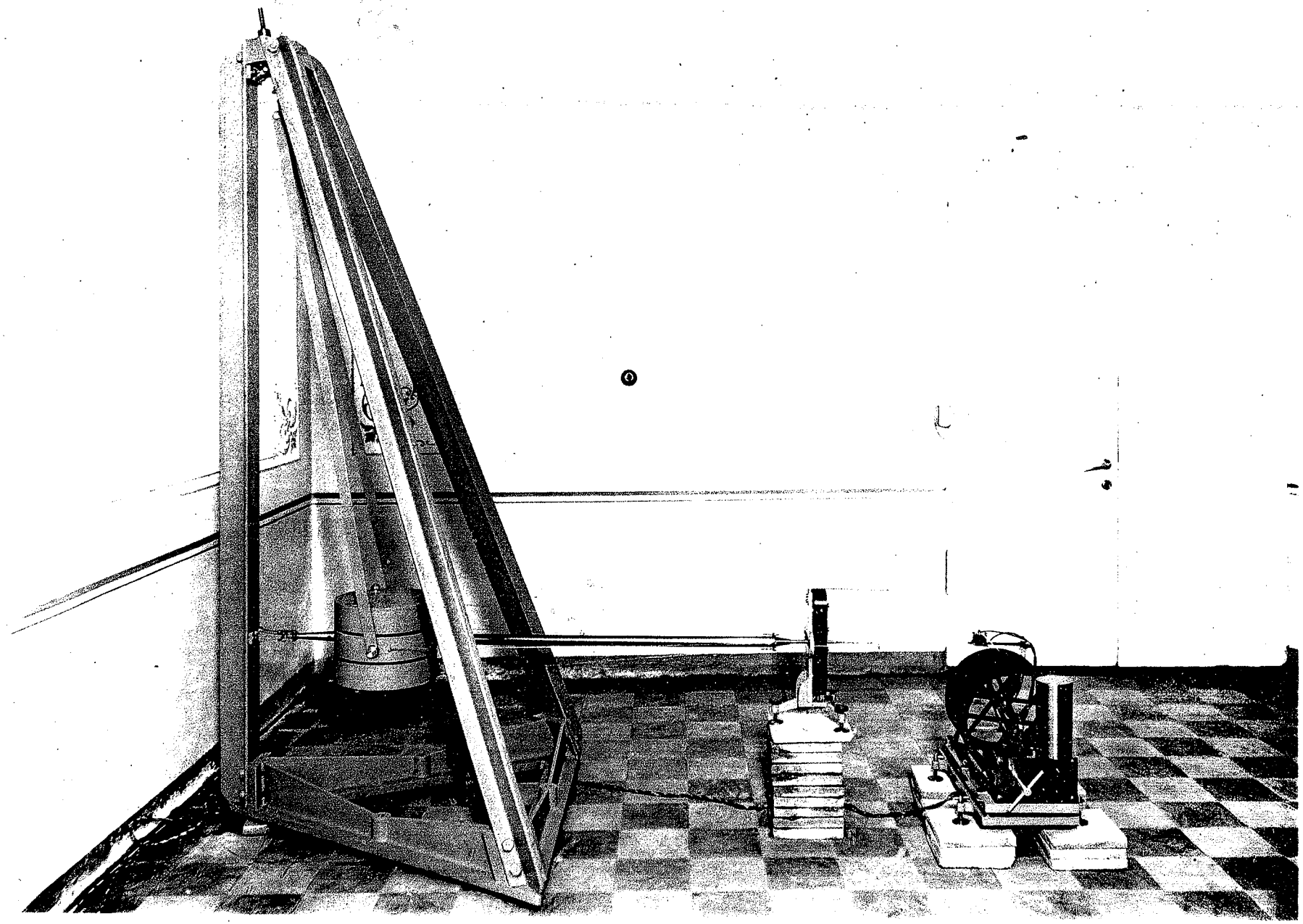


Рис. 14.



пичный столбикъ у стѣны, высотою 35 см. и площадью 60 × 50 кв. см., какъ указано на чертежѣ столба (рис. 12 и 13); можно также воспользоваться для этой цѣли и деревянной скамейкой указанной высоты, придвинувъ ее плотно къ стѣнѣ.

Послѣ сборки груза, привинчиваются къ среднему диску стальныя ленты; верхніе концы лентъ соединяются со стальною оправою для верхней пружины, причемъ щель оправы должна быть перпендикулярна къ стѣнѣ.

Затѣмъ ввинчивается латунный стержень маятника, слѣдя за тѣмъ, чтобы мѣдная пластинка на концѣ стержня была горизонтальна послѣ завинчиванія, и присоединяютъ 4 стальныя струны, равномѣрно натянувъ ихъ.

Въ верхнюю пластинку на стѣнѣ вставляется стальной брусокъ съ пружиной (рис. 4) и укрѣпляется гайкой навинчиваемой поверхъ кругового выступа пластины, причемъ подъ гайку надо подложить предварительно шайбу, сферическимъ основаніемъ книзу. Пружина должна быть обращена внизъ и перпендикулярно къ стѣнѣ. Поверхность соприкосновенія между гайкой и шайбой, а также и весь верхній винтъ должны быть обильно смазаны вазелиномъ.

Пружина верхняго бруска вставляется въ щель стальной оправы на верхнемъ концѣ стальныхъ полосъ, послѣ чего щель крѣпко зажимается винтомъ.

Теперь можно уже приступить къ самому навѣшиванію маятника. Въ выступъ нижней пластины, привинченной къ стѣнѣ, вставляется пружинка *b* (рис. 5 и 6), причемъ штифтъ короткихъ стальныхъ тисочковъ вкладывается въ горизонтальный желобъ выступа. Вилка же, ввинченная въ средній дискъ груза, устанавливается противъ остраго ребра удлиненныхъ тисочковъ такъ, чтобы это ребро вошло въ соотвѣтственное углубленіе вилки, при этомъ второе лицо должно поднять одновременно грузъ маятника на надлежащую высоту, завинчивая гайку на верхнемъ подвѣсѣ.

Остается только привести стержень маятника въ горизонтальное положеніе при помощи гайки верхняго подвѣса; дѣйствуя затѣмъ боковыми винтами во второмъ выступѣ верхней пластины, приводятъ стержень въ положеніе, перпендикулярное къ стѣнѣ. При помощи же переднято и заднято винтовъ того же выступа можно мѣнять періодъ маятника; если ось вращенія приближается къ стѣнѣ, періодъ увеличивается и наоборотъ. Періодъ слѣдуетъ доводить до 20 — 25 сек., оцѣнивая его по карманнымъ часамъ съ секундной стрѣлкой.

По исполненіи всѣхъ описанныхъ операцій, въ числѣ ихъ и установки маятника на надлежащій періодъ, можно обратиться къ сборкѣ магнитовъ. Предварительно долженъ быть возведенъ маленькій каменный столбикъ на

фундаментѣ, отмѣченный на рис. 13 буквою *R*; всѣ размѣры указаны на рисункѣ. На ближайшей къ стѣнѣ тумбочкѣ устанавливается штативъ съ парою магнитовъ, такимъ образомъ, чтобы мѣдная пластинка на стержнѣ маятника расположилась симметрично между магнитами. Съ этой цѣлью можно смѣщать магниты въ вертикальномъ направленіи при помощи особыхъ винтовъ. Магниты одѣваются на штативъ такъ, чтобы противоположные полюса были другъ противъ друга; для руководства слѣдуетъ обращать вниманіе на цифры, поставленныя на магнитахъ и на штативѣ. Передняя сторона штатива, на которую одѣваются магниты, должна быть обращена отъ стѣны. Подъ ножки штатива подкладываются предварительно круглыя подставки, и, само собою разумѣется, что штативъ надо установить вертикально, управляя тремя винтами на ножкахъ его. Разстояніе между полюсами магнитовъ надо подобрать такъ, чтобы каждый размахъ былъ меньше предыдущаго въ 4 или 5 разъ; этотъ результатъ будетъ достигнутъ, когда магниты раздвинуты на разстояніе 8—15 милл. другъ отъ друга, въ зависимости отъ силы магнитовъ.

Послѣдняя операція при сборкѣ маятника заключается въ установкѣ пишущаго пера. На конецъ стержня маятника навинчивается полуконическая латунная часть *c* (рис. 7), въ свободный конецъ которой ввинчивается аллюминіевое перо *b* съ роговымъ острiемъ, удаливъ предварительно съ позолоченной части загнутую подъ прямымъ угломъ пластинку. Роговое остріе должно по возможности легко касаться бумаги, съ каковою цѣлью короткій конецъ рогового штифта уравновѣшивается наклеиваніемъ маленькихъ кусочковъ воска.

Въ случаѣ необходимости ввести увеличительный приборъ, къ части *c*, а также и къ обращенному къ ней концу аллюминіеваго пера *b* привинчиваются согнутыя подъ прямымъ угломъ пластинки съ агатовыми чашечками, такъ чтобы крючки на пластинкахъ были обращены кверху. Далѣе, въ маленькихъ тисочкахъ, которыми снабжена позолоченная часть аллюминіеваго пера, зажимается средина тонкой бронзовой проволоки (рис. 8), имѣющей діаметръ около 0,13 мм. и длину около 35 см.; концы же этой проволоки также укрѣпляются въ особые тисочки. Проволока вставляется въ прорѣзы на пластинкахъ, привинченныхъ къ штативу для магнитовъ, натягивается и укрѣпляется въ вертикальномъ положеніи, съ каковою цѣлью слѣдуетъ, отдавъ тисочки на верхнемъ концѣ проволоки, перемѣстить ихъ вдоль нея до касанія съ верхней пластинкой и вновь закрѣпить въ этомъ положеніи. Затѣмъ оба плеча увеличительнаго прибора уравновѣшиваются передвиженіемъ шайбы на позолоченномъ короткомъ плечѣ. Само собою разумѣется, что стержень увеличительнаго прибора долженъ находиться въ одной горизонтальной плоскости со стержнемъ маятника, въ противномъ

случаѣ аллюминіевое перо слѣдуетъ перемѣстить вдоль проволоки, освободивъ для этого тисочки, при помощи которыхъ перо удерживается на проволокѣ. Остается только надѣть латунную спираль на крючки у привинченныхъ къ *c* и *b* пластинокъ, вставивъ внутрь спирали стальную иглу, которая своими остріями должна опираться въ агатовыя чашечки.

§ 5. **Сборка и установка регистрирующаго аппарата.** Съ обѣихъ сторонъ часового механизма привинчиваютъ двѣ длинныя и узкія пластинки *A*, слѣдя за поставленными цифрами (рис. 7).

Черезъ кольцо стержня съ грузомъ, служащаго регуляторомъ, продѣвается пластинка *m*, которая затѣмъ навинчивается на упомянутыя длинныя боковыя полосы, такъ, чтобы штифтъ кольца находился въ агатовой чашечкѣ пластинки. Нижній же кончикъ стержня съ грузомъ вставляется въ прорѣзъ на подвижной пластинкѣ часового механизма.

На противоположномъ концѣ салазокъ привинчивается стойка *t*, такъ, чтобы электромагнитъ былъ обращенъ внутрь.

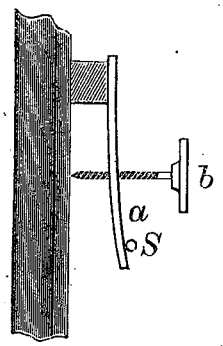
Затѣмъ накладывается валъ, причемъ барабанъ долженъ быть на сторонѣ часового механизма и, по возможности, ближе къ нему; къ электромагниту же привинчивается особый аллюминіевый ударникъ.

На салазкахъ регистрирующаго аппарата имѣется уровень, по которому слѣдятъ *за горизонтальнымъ положеніемъ* всего аппарата, что имѣетъ большое значеніе для равномѣрности вращенія. Регистрирующій аппаратъ устанавливается на второй тумбочкѣ малаго столба *R* (рис. 13), такимъ образомъ, чтобы кончикъ рогового пера маятника лежалъ на самой высокой точкѣ вала, непосредственно позади ударника электромагнита, отступивъ отъ наружнаго края барабана на 4 сант. Часовой механизмъ долженъ находиться слѣва отъ пера, если смотрѣть на маятникъ спереди. Заводится часовой механизмъ одинъ разъ въ сутки, во время смѣны бумажныхъ лентъ; въ теченіе одной минуты точка, лежащая на поверхности вала, описываетъ дугу длиною 30 мм.

§ 6. **Установка контактныхъ часовъ.** Отмѣтки времени на закопченной бумажной лентѣ, обтягивающей валъ регистрирующаго аппарата, производятся при помощи ударника электромагнита, черезъ который ежеминутно пропускаются кратковременные электрическіе токи. Замыканіе гальванической цѣпи производится автоматически, посредствомъ такъ называемыхъ контактныхъ часовъ. Часы слѣдуетъ вѣшать на совершенно вертикальной стѣнѣ (въ противномъ случаѣ не обходимо сдѣлать подкладки), въ сухомъ помѣщеніи; въ ящикъ часовъ слѣдуетъ поставить чашку съ хлористымъ кальціемъ для осушки воздуха. Циферблатъ долженъ находиться на уровнѣ

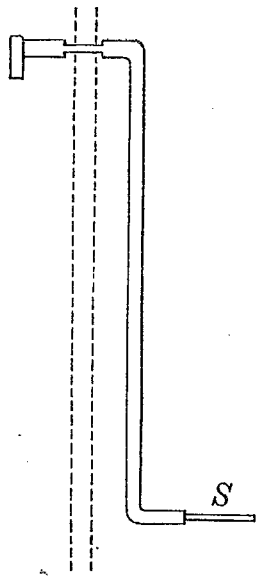
глазъ. На русской сейсмической сѣти приняты часы Strasser и Rohde, установка которыхъ излагается въ настоящемъ §'ѣ.

Рис. 15.



На верхней части стержня часового маятника имѣется упругая пластинка a (рис. 15) съ винтомъ b. Вынувъ часовой механизмъ изъ ящика, навѣшиваютъ маятникъ и затѣмъ вкладываютъ обратно часовой механизмъ такимъ образомъ, чтобы приводъ s, идущій отъ секуднаго колеса и имѣющій видъ, изображенный на рис. 16, расположился справа отъ упругой пластинки a. Послѣ того, какъ часовой механизмъ закрѣпленъ и часы пущены въ ходъ, при помощи винта b передвигаютъ пластинку a до того ея положенія, при которомъ секундные удары при обоихъ отклоненіяхъ маятника сдѣлаются равными по силѣ и отчетливости.

Рис. 16.

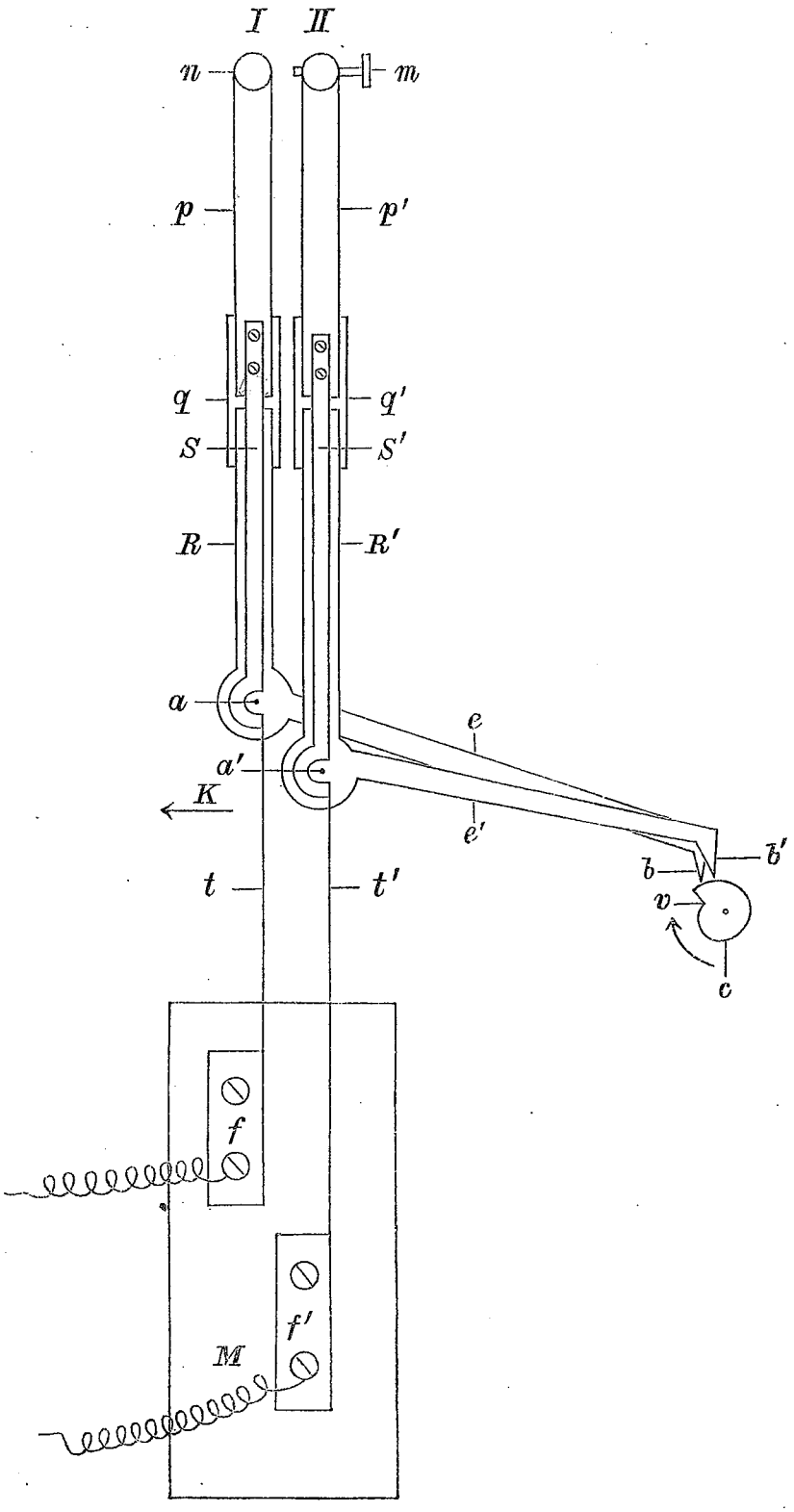


Для регулировки хода часовъ служатъ двѣ гайки въ нижней части маятника, изъ которыхъ верхняя, болѣе широкая раздѣлена на 50 дѣленій по окружности; передвиженіе этой гайки на 1 дѣленіе въ ту или другую сторону соотвѣтствуетъ измѣненію хода часовъ на 1 секунду въ сутки. Регулировка производится такимъ образомъ: опускаютъ нижнюю гайку на нѣсколько оборотовъ винта, поворачиваютъ верхнюю гайку на нужное число дѣленій и затѣмъ снова подвинчиваютъ къ ней нижнюю гайку. Болѣе тонкая регулировка производится накладываніемъ легкихъ пластинокъ различнаго вѣса на полочку, которой снабженъ посрединѣ стержень маятника. Пользуясь обоими пріемами, необходимо добиться, чтобы часы отставали или уходили впередъ не болѣе чѣмъ на 1 сек. въ сутки.

Контактное приспособленіе имѣетъ слѣдующее устройство (рис. 17).

Два ломанныхъ рычага I и II, состоящіе изъ частей n, m, p, p', q, q', s, s', R, R', e, e', b и b', вращаются около осей a и a'. Конецъ e рычага I на $\frac{1}{4}$ миллиметра, приблизительно, не доходитъ до конца e' рычага II, вслѣдствіе чего зубецъ b' на ту же долю миллиметра выступаетъ передъ зубцомъ b. Оба зубца b и b' лежатъ на улиткѣ C, надѣтой на ось секуднаго колеса. Концы рычаговъ n и m (винтъ) выходятъ наружу изъ-за циферблата.

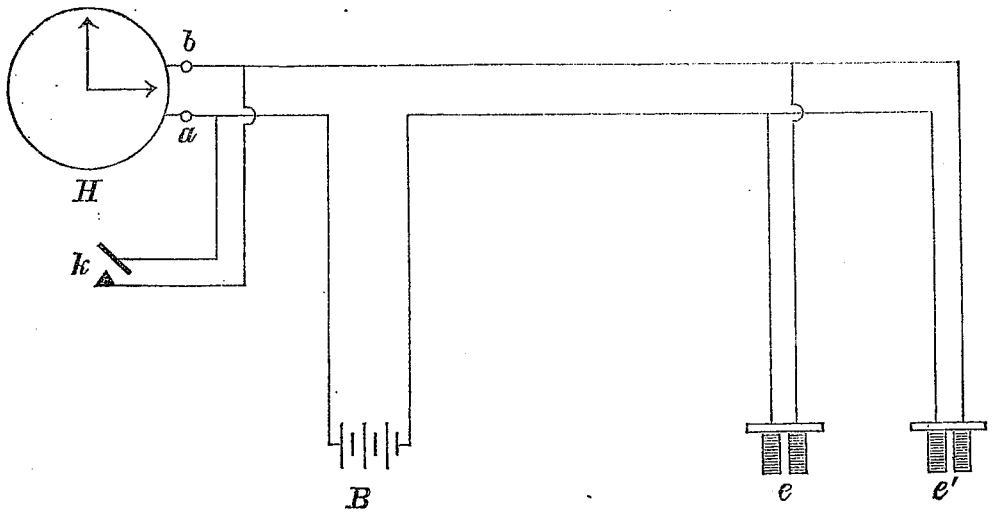
Рис. 17.



Пластинки p и p' съ частями n и m соединены съ рычагами при помощи изоляторовъ q и q'; къ пластинкамъ p и p' присоединены полоски s и s', которыя проходятъ поверхъ пластинокъ R и R' рычаговъ, не касаясь ихъ. Около осей a и a' на пластинки s и s' нажимаютъ въ направленіи, указанномъ стрѣлкой K, пружины t и t', отчего оба рычага зубцами b и b' прижимаются къ улиткѣ C. Пружины t и t' соединены съ пластинками f и f', расположенными на изоляторѣ M. Отъ пластинъ f и f' идутъ провода къ зажимамъ на ящикѣ часовъ, служащимъ для включенія часовъ въ гальваническую цѣпь.

Замыканіе тока происходитъ при прикосновеніи n къ винту m (токъ идетъ черезъ f, t, s, p, n, m, p', s' t' и f'). Когда зубцы b и b' находятся на одномъ уровнѣ, то n и m разъединены и тока нѣтъ. Замыканіе тока

Рис. 18.



происходитъ въ тотъ моментъ, когда улитка C, передвигаясь вмѣстѣ съ секуднымъ колесомъ въ направленіи указанномъ стрѣлкой, подходитъ къ зубцамъ b и b' своей впадиной v. Въ эту впадину первымъ входитъ зубецъ b рычага I. Въ этотъ моментъ конецъ e этого рычага наклоняется внизъ, вслѣдствіе чего часть его n нажимаетъ на винтъ m рычага II и цѣпь замыкается. Вслѣдъ за зубцомъ b (приблизительно черезъ секунду) во впадину v улитки C попадаетъ зубецъ b'; зубцы снова располагаются на одномъ уровнѣ, m снова отходитъ отъ n и токъ прекращается.

Схема гальваническаго соединенія часовъ съ электромагнитомъ регистрирующаго аппарата указана на рис. 18. Для соединенія пользуются обыкновенной звонковой проволокой, діаметромъ около 1 милл., для питанія же цѣпи достаточно батареи изъ трехъ элементовъ Лекланше, соединенныхъ послѣдовательно, т.-е. цинкъ одного съ углемъ другого.

Въ цѣпь, образованную батареей B и часами H, включаются параллельно или послѣдовательно электромагниты c и c' регистрирующихъ аппаратовъ.

Кромѣ того, слѣдуетъ сдѣлать отвѣтвленіе съ ключемъ k, такимъ образомъ, чтобы одна точка отвѣтвленія была между часами и батареей, а другая — между часами и отвѣтвленіемъ къ электромагнитамъ. Замкнувъ ключь k, можно пустить непрерывный токъ въ электромагниты c и c', которые примкнутъ ударникъ къ валу регистрирующаго аппарата, причемъ на бумажной лентѣ вычертится непрерывная линія при длительномъ замыканіи тока, что имѣетъ значеніе при пускѣ приборовъ (см. слѣдующій §).

Ключъ k полезно укрѣпить на стѣнѣ или на особомъ столикѣ возлѣ часовъ съ такимъ расчетомъ, чтобы можно было держать ключъ рукою и видѣть въ то же время вполнѣ отчетливо секундную стрѣлку часовъ.

Ударникъ электромагнита оставляетъ на бумажной лентѣ регистрирующаго аппарата ежеминутныя мѣтки, отстоящія другъ отъ друга приблизительно на 30 милл. Признакомъ того, что регистрирующій аппаратъ работаетъ исправно, служитъ равенство разстояній между минутными мѣтками по всей длинѣ ленты. Въ этомъ случаѣ мѣтки времени располагаются поперекъ ленты по прямой линіи; если же поперечный ряда мѣтокъ изломанъ, то это служитъ указаніемъ на неравномѣрность вращенія регистрирующаго аппарата, что можетъ произойти, если салазки аппарата не горизонтальны, или отъ засоренія механизма. За исправнымъ дѣйствіемъ регистрирующаго аппарата необходимо ежедневно слѣдить.

§ 7. **Пускъ и остановка приборовъ.** Въ настоящемъ §'ѣ излагаются ежедневныя обязанности наблюдателя и ихъ неукоснительное исполненіе является необходимымъ условіемъ пригодности добытыхъ матеріаловъ для научныхъ цѣлей.

Пускъ приборовъ производится слѣдующимъ образомъ. Снявъ барабанъ съ регистрирующаго аппарата, для чего необходимо предварительно откинуть назадъ роговое остріе пишущаго пера маятника и отвести въ сторону электромагнитъ съ ударникомъ, обтягиваютъ плотно барабанъ бумажною лентою, глянцевой стороною наружу, и заклеиваютъ ленту гуммиарабикомъ. Затѣмъ бумажную ленту покрываютъ тонкимъ и по возможности равномѣрнымъ слоемъ сажи, вращая барабанъ надъ какимъ-либо коптящимъ пламенемъ, напр., керосиновой горѣлки съ широкой и плоской свѣтильней. Барабанъ вставляется на мѣсто, вплотную къ заведенному передъ тѣмъ часовому механизму; пишущее перо и ударникъ опускаются, причемъ слѣдятъ, чтобы перо маятника слѣдовало непосредственно позади за ударникомъ электромагнита и на разстояніи около 4 см. отъ края ленты. При

этомъ надо убѣдиться, оставляетъ ли ударникъ электромагнита слѣдъ на бумагѣ въ моментъ замыканія тока; въ противномъ случаѣ слѣдуетъ весь электромагнитъ опустить, но не слишкомъ, такъ какъ иначе перо будетъ царапать ленту и при разомкнутой цѣпи. То же самое продѣлываютъ и у второго маятника.

Для того, чтобы можно было разобраться въ дальнѣйшемъ, какой минутѣ времени соотвѣтствуетъ каждая отдѣльная мѣтка на сейсмограммѣ, слѣдуетъ подать сигналъ времени при пускѣ прибора. Съ этой цѣлью, установивъ регистрирующіе аппараты у обоихъ маятниковъ, подходятъ къ контактнымъ часамъ, кладутъ руку на ключъ k (рис. 18) и закрываютъ его на 45-ой секундѣ, держа закрытымъ 5 секундъ; на 50-ой секундѣ ключъ открывается. На 60-ой секундѣ той-же минуты ключъ вновь закрываютъ на пять секундъ, т.-е. открываютъ его на 5-ой секундѣ начавшейся минуты и ждутъ до 15-ой секунды, чтобы вновь замкнуть ключъ на пять секундъ. Затѣмъ ключъ открываютъ и *заносятъ въ журналъ въ графѣ «пускъ» тотъ часъ и ту минуту, которая закончилась во время сигнализаціи.* На сейсмограммѣ получаются три царапины длиною $2^1/_2$ милл. каждая на разстояніи 5 милл. другъ отъ друга.

Сверхъ того, слѣдуетъ опредѣлить разстояніе между кончиками пишущаго пера маятника и ударника электромагнита, такъ называемый *параллаксъ* перьевъ. Съ этой цѣлью выжидаютъ, когда ударникъ электромагнита коснется бумаги въ концѣ минуты, и въ этотъ моментъ даютъ легкій и не рѣзкій толчекъ по мѣдной пластинкѣ маятника, отъ чего остается на сейсмограммѣ поперечная линія. Разстояніе этой линіи отъ ближайшей минутной мѣтки и даетъ искомый параллаксъ. Описанную операцію слѣдуетъ повторить три раза у каждаго аппарата.

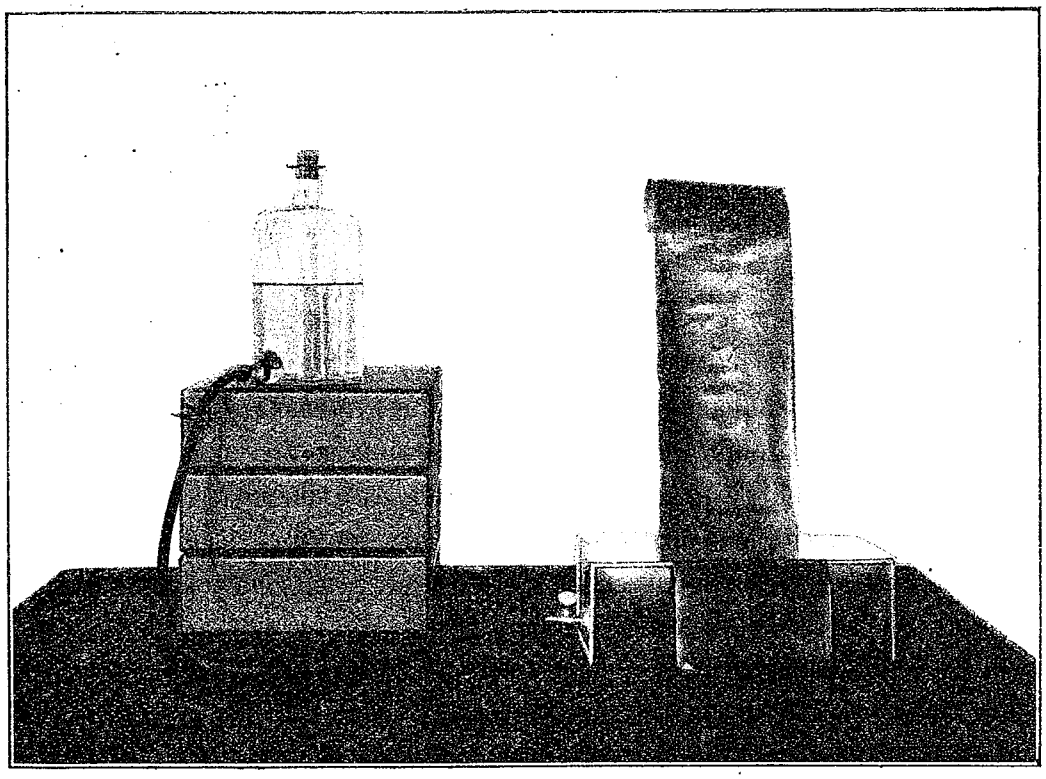
Въ заключеніе необходимо ежедневно *записывать кривую собственнаго движенія маятника*, чтобы имѣть возможность опредѣлить по ней *коэффиціентъ затуханія*. Маятникъ отводится рукою за мѣдную пластинку (между магнитами) въ сторону отъ положенія равновѣсія, возможно дальше, и отпускается, послѣ чего онъ совершитъ нѣсколько колебаній съ убывающими амплитудами. Желательно получить по двѣ записи собственнаго движенія отъ каждаго маятника.

Этимъ и заканчивается пускъ приборовъ. Само собой разумѣется, что всѣ описанныя операціи желательно совершить въ возможно короткій промежутокъ времени, чтобы не терять своего личнаго времени, но главнымъ образомъ для того, чтобы скорѣе предоставить приборы самимъ себѣ и не потерять землетрясенія, которое можетъ произойти во время работы наблюдателя у приборовъ.

На слѣдующій день, въ тотъ же часъ (съ точностью до 15 мин.) слѣ-

дуетъ явиться къ приборамъ для смѣны бумаги. Но, прежде чѣмъ поднять перья у регистрирующаго аппарата, слѣдуетъ дать для контроля второй сигналъ времени на старую сейсмограмму. Для отличенія, однако, конца сейсмограммы отъ ея начала, этотъ второй, заключительный сигналъ долженъ отличаться отъ перваго. Поступить надо такъ: выждавъ при часахъ конца минуты, замыкаютъ сигнальный ключъ въ 60-ую секунду и держатъ его закрытымъ 30 секундъ, послѣ чего открываютъ. *Въ журналъ въ графѣ «остановка» заносится тотъ часъ и та минута, по истеченіи которой былъ замкнутъ ключъ.*

Рис. 19.



Послѣ этого вынимаютъ барабанъ, пишутъ на лентѣ число по новому стилю, мѣсяцъ и годъ, № сейсмограммы а также названіе составляющей ($N—S$ или $E—W$), т.-е. плоскости, *перпендикулярной къ стержню маятника;* разрѣзаютъ ленту острымъ ножомъ и снимаютъ. Отложивъ въ сторону снятыя съ обоихъ барабановъ ленты, приступаютъ, не теряя времени, къ пуску приборовъ, какъ было описано въ началѣ этого §'а.

По окончаніи же пуска, снятыя ленты фиксируютъ насыщеннымъ растворомъ бѣлаго шеллака въ 95% спиртѣ. Удобно пользоваться для этой цѣли полуцилиндрической кюветкой, соединенной при помощи каучуковой трубки съ сосудомъ для фиксажа (рис. 19).

Треніе пера маятника о закопченную бумагу уменьшаетъ размахи. Чтобы ввести надлежащую поправку, надо опредѣлить силу тренія. Съ этой цѣлью, одинъ разъ въ недѣлю, послѣ снятія сейсмограммъ, *удаляютъ верхній магнитъ* у маятника, надѣваютъ на барабанъ новый листъ бумаги и записываютъ собственное движеніе маятника, отведя его, по возможности, дальше въ сторону и предоставивъ самому себѣ на 25—30 минутъ. На это время полезно вовсе удалиться изъ комнаты, гдѣ установлены приборы. Желательно помѣстить барабанъ такъ, чтобы запись расположилась симметрично относительно краевъ ленты. Минутныя мѣтки должны наноситься все время.

Снявъ затѣмъ ленту и нанеся на ней число по новому стилю, мѣсяцъ, годъ и названіе составляющей, устанавливаютъ удаленный магнитъ на мѣсто и приступаютъ къ обычному пуску приборовъ. Лента съ кривой собственнаго движенія фиксируется и пріобщается къ сейсмограммамъ.

§ 8. **Опредѣленіе поправокъ часовъ.** Научная цѣнность сейсмограммъ обусловливается той степенью точности, съ какою можетъ быть опредѣлено по сейсмограммѣ время наступленія отдѣльныхъ фазъ землетрясенія. По этимъ соображеніямъ необходимо знать съ точностью до 1 сек. поправку контактныхъ часовъ, подающихъ время на сейсмограмму.

Опредѣленіе поправки часовъ можетъ быть произведено путемъ астрономическихъ наблюденій, напр. съ пассажнымъ инструментомъ, или же принятіемъ времени по телеграфу съ ближайшей Астрономической Обсерваторіи. Первый, астрономическій способъ, кстати сказать весьма простой и доступный лицамъ знакомымъ лишь съ элементами низшей математики, изложенъ весьма обстоятельно въ статьѣ кн. Б. Б. Голицына «Къ вопросу объ опредѣленіи времени на сейсмическихъ станціяхъ второго разряда» [1]). Въ настоящемъ §'ѣ мы остановимся поэтому лишь на телеграфномъ способѣ.

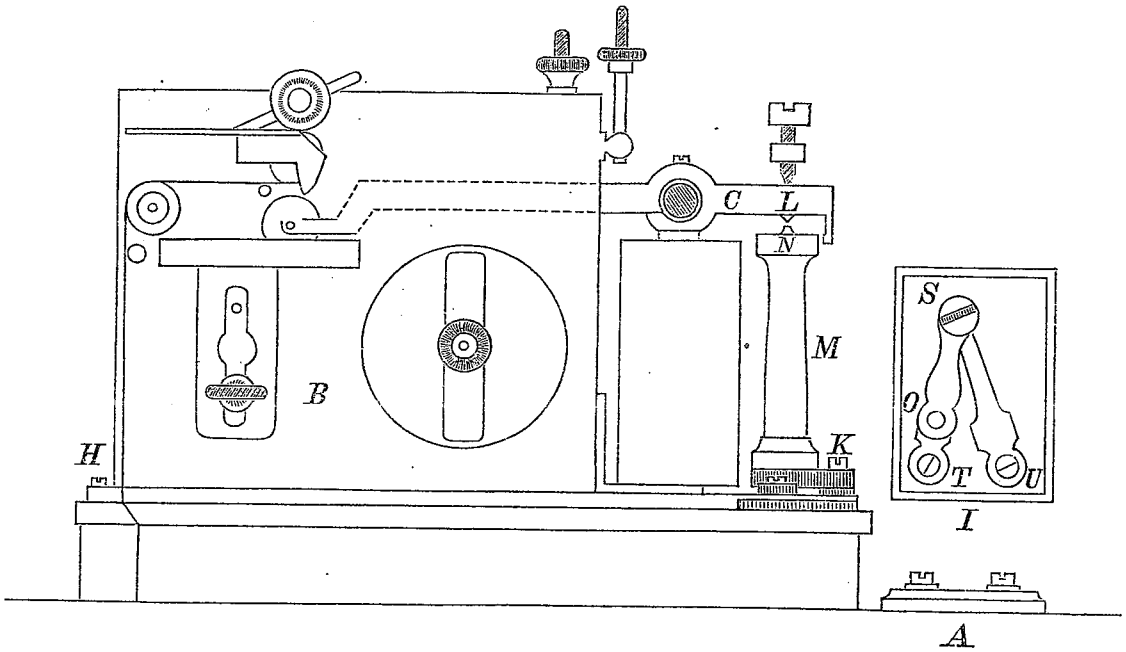
На астрономической обсерваторіи устанавливается телеграфный аппаратъ Морзе, соединенный особымъ проводомъ съ телеграфной конторой. Посредствомъ телеграфнаго ключа *A* (рис. 20 и 21) обсерваторія вызываетъ контору и проситъ дать необходимую обсерваторіи линію; получивъ отъ конторы по аппарату *B* (рис. 20 и 21) отвѣтъ, что линія включается и предоставляется въ распоряженіе обсерваторіи, послѣдняя вызываетъ конечную телеграфную станцію и проситъ дать линію на сейсмическую станцію; затѣмъ уже по полученіи отвѣта, что требованіе обсерваторіи исполнено, ею дается самый сигналъ времени.

---

[1]) Извѣстія Пост. Центр. Сейсм. Комиссіи. Т. 4, вып. II, стр. 48—77.

Для полученія подаваемаго обсерваторіей сигнала, сейсмическая станція снабжается такимъ же аппаратомъ Морзе, какъ и сама обсерваторія, соединеннымъ особымъ проводомъ съ мѣстной почтово-телеграфной конторой, такъ что, по представленіи въ распоряженіе обсерваторіи всей линіи до сейсмической станціи, якоремъ *C* аппарата послѣдней громко отбивается всякій сигналъ, подаваемый въ обсерваторіи посредствомъ короткаго нажатія на рукоятку A ключа. Самая сигнализація состоитъ въ томъ, что, приблизительно за 1 минуту до сигнала, обсерваторія дѣлаетъ въ продолженіи 10 — 15 секундъ рядъ очень частыхъ ударовъ ключемъ, такъ что лицо, принимающее на сейсмической станціи сигналъ, слышитъ на своемъ

Рис. 20.



аппаратѣ короткое постукиваніе въ видѣ дроби, чѣмъ обращается его вниманіе на то, что вскорѣ послѣдуетъ сигналъ времени. Послѣ этого, въ точно условленный моментъ (обычно, для практическаго удобства наблюдателя сейсмической станціи, въ полную минуту по соотвѣтственному, *мѣстному* времени) ключемъ въ обсерваторіи дается четыре короткихъ удара, соотвѣтствующихъ послѣдовательнымъ четыремъ секундамъ, 0-й, 1-й, 2-й и 3-й условленнаго времени, которые и отбиваются якоремъ телеграфнаго аппарата принимающей сигналъ сейсмической станціи. *Наблюдатель сейсмической станціи обязанъ замѣтить точно часъ, минуту и секунду, указываемые контактными часами въ моментъ перваго изъ четырехъ сигнальныхъ ударовъ, и занести это показаніе въ особый журналъ.* На случай, если бы

наблюдатель пропустилъ сигналъ, или ошибся при сличеніи съ нимъ контактныхъ часовъ, подобный же сигналъ повторяется ровно черезъ 30 сек.

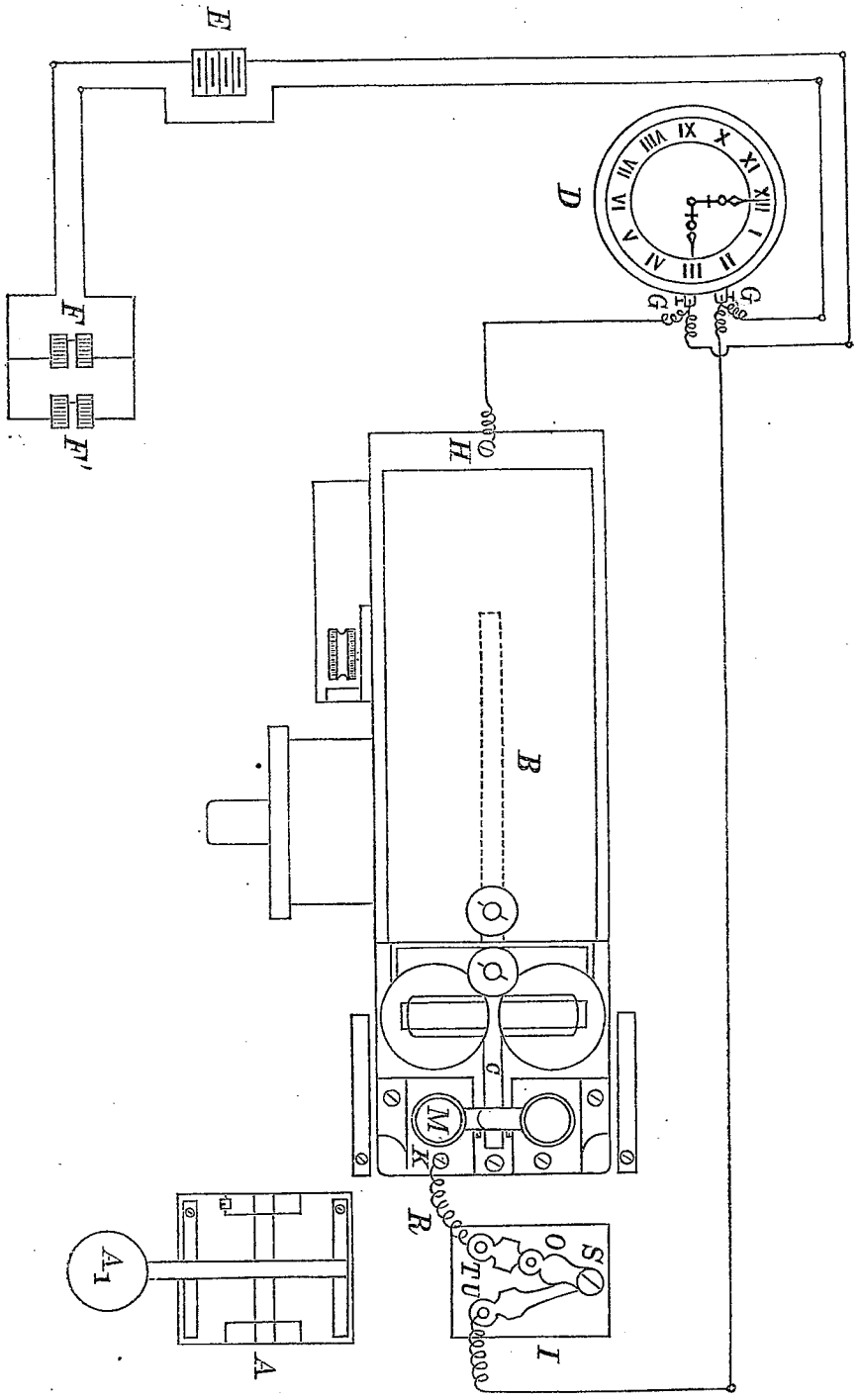


Рис. 21.

Кромѣ того, устанавливается на сейсмической станціи приспособленіе, которое автоматически передаетъ сигналы на регистрирующіе аппараты въ видѣ мѣтокъ, подобныхъ ежеминутнымъ мѣткамъ, производимымъ коп-

тактными часами. Схема проводовъ видна изъ рис. 21; а именно, отъ проводовъ, идущихъ къ контактнымъ часамъ D отъ батареи E и отъ электромагнитовъ F и F', дѣлаютъ, для простоты, у зажимовъ G, G часовъ (можно было бы для этой цѣли воспользоваться и особыми зажимами, прикрѣпленными къ любому мѣсту проводовъ станціи) отвѣтвленіе къ телеграфному аппарату (самые часы, такимъ образомъ, выключены изъ линіи), который помощью ихъ и включается въ станціонную цѣпь слѣдующимъ образомъ. Одинъ изъ проводовъ вѣтви соединяется со всѣмъ корпусомъ, а слѣдовательно, и якоремъ телеграфнаго аппарата помощью винта H; другой проводъ, черезъ посредство коммутатора I (на рисункѣ онъ представленъ замкнутымъ) и короткой проволочки R, соединяется помощью винта k съ изолированнымъ отъ всего остального телеграфнаго аппарата столбикомъ M (это устройство столбика имѣется у всѣхъ аппаратовъ Морзе). Въ верхней части этого столбика находится винтъ N, высота котораго должна быть урегулирована настолько, чтобы при работѣ аппарата пружинистый платиновый язычекъ L якоря ударялъ по платиновому же штифту, которымъ оканчивается этотъ винтъ; при замкнутомъ коммутаторѣ, замыкается токъ въ станціонной цѣпи при всякомъ притяженіи якоря телеграфнаго аппарата и ударники регистрирующихъ аппаратовъ производятъ мѣтки на закопченныхъ лентахъ. Коммутаторъ вводится потому, что зачастую конечная телеграфная станція забываетъ по окончаніи сигнализаціи выключить сейсмическую станцію и потому ударники послѣдней долгое время, иногда цѣлые сутки, отмѣчаютъ на лентахъ всю работу аппарата мѣстной телеграфной станціи, чѣмъ, съ одной стороны, портится лента, съ другой — сильно истощается батарея сейсмической станціи. Во избѣжаніе этого, коммутаторъ замыкается наблюдателемъ лишь на время полученія сигналовъ, т.-е. тотчасъ же по полученіи имъ вышеописаннаго предупрежденія въ видѣ дроби, отбиваемой телеграфнымъ аппаратомъ втеченіе 10 — 15 сек. незадолго до самаго сигнала, а тотчасъ же по полученіи сигнала снова размыкается переводомъ ручки O коммутатора изъ положенія ST въ положеніе SU. На тѣхъ же станціяхъ, гдѣ наблюдатель не можетъ присутствовать при сигнализаціи, онъ замыкаетъ коммутаторъ утромъ, напримѣръ, передъ уходомъ по служебнымъ дѣламъ, и размыкаетъ его, какъ только освободится отъ прочихъ своихъ обязанностей.

Die Zentrale Seismische Station in Pulkovo.

Von J. Wilip.

Einleitung.

Kein Land in der Welt ist wohl zur Erforschung von Erdbeben so geeignet, wie das grosse Russische Reich. Das kolossale Gebiet erlaubt nicht allein Studien an Nahbeben vorzunehmen, sondern es liefert wegen seiner gewaltigen Ausdehnung die Möglichkeit, Beobachtungen an den von vielen Schüttergebieten ausgehenden und in fernen Gegenden sich als Fernbeben kundtuenden Bewegungen anzustellen.

Man denke nur an die Schüttergebiete, die meistenteils in den Grenzlanden, wie Kaukasus, Turkestan und im fernen Osten vorkommen und deren Beben oft auf allen Stationen der Welt registriert werden.

Derartige Studien im eigenen Lande sind sehr bequem auszuführen und von grossem Wert, wenn dieselben plangemäss und in systematischer Weise vorgenommen werden.

Daher ist es mit Genugtuung zu begrüssen, dass unsere Seismologische Kommission, an deren Spitze der Direktor der Pulkovoer Sternwarte und Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg O. Backlund steht, eine Reorganisation des seismischen Dienstes in Russland vorgenommen hat[1]).

Dazu kommt noch als wichtiges Moment hinzu, dass im eigenen Lande ganz neue Apparate konstruiert und neue Beobachtungsmethoden ausgearbeitet worden sind, die für die seismologische Wissenschaft von enormem Wert sind und welche wir der Energie und dem zielbewussten Streben des

[1]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Die neue Organisation des seismischen Dienstes in Russland. 1911. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. IV, Livr. 3.

Mitgliedes der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften und der Permanenten Seismologischen Kommission zu St.-Petersburg, des Fürsten B. Golicyn, verdanken.

Man versetze sich z. B. in die Zeit vor ca. 10 Jahren und lese in der seismologischen Litteratur, so wird man ersehen, wie wenig Hoffnung man damals auf die Angaben eines Horizontalpendelpaares setzte, inbezug darauf, was die Bestimmung des Azimuts des Epizentrums eines Bebens anbetrifft.

Ebenso wenig verstand man die Aufzeichnungen eines Vertikalseismometers zu schätzen und hoffte von ihnen vielfach nichts mehr, als von den der Horizontalpendel, d. h. nur die Möglichkeit der Bestimmung der Entfernung vom Epizentrum eines Bebens.

Ganz anders hat sich das Bild nach den Arbeiten und Versuchen des Fürsten B. Golicyn gestaltet.

Durch Anwendung einer starken magnetischen Dämpfung bei den Pendeln, wobei die Eigenbewegung dieser Apparate auf ein Minimum reduziert wird, durch seine galvanometrische Registriermethode, bei welcher man die Empfindlichkeit beliebig hoch treiben kann, und durch die Wahl einer grösseren Drehgeschwindigkeit der Registrierapparate ($30^m/_m$ pro Minute) ist erreicht, dass die Aufzeichnungen so klar und deutlich werden, dass man nach den Angaben einer einzigen seismischen Station nicht allein die Entfernung bis zum Epizentrum, sondern auch die Richtung, aus der die seismischen Strahlen zum Beobachtungsort gelangen, ganz leicht bestimmen kann.

Noch mehr! Ein einigermaassen geübter Beobachter, der mit ähnlichen Erdbebenaufzeichnungen einige Zeit zu tun gehabt hat, ist imstande, nach dem Charakter der ersten Vorphase die Herkunftsrichtung richtig zu schätzen, ohne irgend welche Rechnungen anzustellen.

Diese Errungenschaft ist von unermesslichem Wert, denn die Bestimmungen des Azimuts nach einer einzigen Station scheinen zur Zeit viel genauer zu sein, als die bis jetzt gewöhnlich nach Angaben von mehreren Stationen gemachten, ganz besonders aber, wenn das Epizentrum weit von den Beobachtungsorten entfernt ist und diese Stationen ihrerseits nahe bei einander liegen.

Ein grosses Interesse bietet ferner die Bestimmung der Austrittsrichtung des seismischen Strahles, des sogenannten scheinbaren Emergenzwinkels. Fürs erste ist in dieser Richtung nur der Anfang gemacht worden[1]).

---

[1]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Beobachtungen über die Vertikalkomponente der Bodenbewegung. Bulletin de l'Académie Impériale des sciences de St.-Pétersbourg. 1911. p. 983.

Zur Zeit gibt es nur wenige Stationen, die mit einem Vertikalseismographen ausgerüstet sind und es wäre zu wünschen, dass möglichst viele Stationen mit gleichartigen Seismographen ausgestattet werden.

Dann erst würde man ein anschauliches Bild über den Gang der longitudinalen Wellen durch die obersten Erdschichten erhalten.

Von grosser Bedeutung ist auch ein genaues Studium des Beginnes der zweiten Vorphase, von deren Charakter wir bis jetzt nur wenig wissen[1]), und so viele andere Aufgaben der modernen Seismometrie, die uns den Mechanismus der Bewegungen in der Erdkugel während eines Bebens aufklären.

Zu allen derartigen Untersuchungen ist, wie dieses durch die Arbeiten Fürst Golicyn's genügend bewiesen worden ist, die galvanometrische Registriermethode sehr geeignet.

Die Geschichte der Entstehung der seismischen Station.

Bevor ich zur Beschreibung der neuen Zentralen Seismischen Station in Pulkovo übergehe, möge noch kurz die Geschichte ihrer Entstehung, sowie der mit ihr verknüpften galvanometrischen Registriermethode angegeben werden.

Nachdem Fürst B. Golicyn die theoretische Grundlage zur galvanometrischen Registriermethode gegeben hatte, die zunächst nur im Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg durch Versuche geprüft wurde, erschien es als notwendig, diese Methode auch in Wirklichkeit, beim Eintreffen von Erdbebenwellen, zu erproben.

Zu dem Zwecke stellte Prof. Dr. Levickij, der damalige Rektor der Universität in Jurjev (Dorpat) und Mitglied der Permanenten Seismologischen Kommission bei der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg, einen Kellerraum unter dem Domberge der Universität, wo die Jurjever seismische Station sich befindet, zur Verfügung.

Im Herbst des Jahres 1905 wurde dort ein Zöllner'sches Pendel alter Konstruktion mit elektromagnetischer Dämpfung und galvanometrischer Registrierung aufgestellt.

Die Methode, die damals noch teilweise in den Kinderschuhen steckte, erwies sich beim ersten Versuch beim Eintreffen von Erdbebenwellen als viel zu empfindlich.

---

[1]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ueber die Schwingungsrichtung eines Bodenteilchens in den transversalen Wellen der zweiten Vorphase eines Bebens. L. c. p. 1019.

Zudem war dieser Keller für derartige Versuche nicht sehr geeignet, da der Feuchtigkeitsgehalt sehr hoch war und zur Zeit starker Winde beträchtliche mikroseismische Bewegungen II Ordnung auftraten, die bekanntlich die Aufzeichnungen von Fernbeben sehr entstellen können. Auch die Erwerbung der elektrischen Energie für die Akkumulatoren machte einige Umstände, da zum Laden derselben durchaus Gleichstrom nötig ist.

Aus dem Grunde erschien es als angebracht, einen geeigneteren Ort für eine derartige Prüfung der Methode ausfindig zu machen.

Durch das liebenswürdige Entgegenkommen des Direktors der Pulkovoer Sternwarte O. Backlund war diesem Wunsch ein Ziel gesetzt, der einige Kellerräume unter dem Observatorium für diese Versuche zur Verfügung stellte.

Im Laufe des Sommers des Jahres 1906 wurden dort die nötigen Vorbereitungen getroffen und Anfang Dezember die Apparate aufgestellt.

Damit war in Pulkovo der Grund zu einer wissenschaftlichen Erdbebenstation gelegt, die zunächst nicht den Zweck verfolgte, laufende Beobachtungen zu führen, sondern sich zum Ziel gesetzt hatte, verschiedene Seismographen und Beobachtungsmethoden zu prüfen.

Zuerst wurden dort 2 Zöllner'sche Pendel alten Systems ganz genau ähnlich montiert, nur mit dem Unterschiede, dass das eine ungedämpft, das andere aber sehr stark bis zur Aperiodizitätsgrenze gedämpft war und zudem noch galvanometrisch registrierte. Die Bewegungen beider wurden optisch auf einem kleinen Zimmermann'schen Registrierapparat (Länge der Minute ca. $28^{m}/_{m}$) nebeneinander aufgeschrieben.

Ausserdem funktionierte dort noch ein Klinograph, dessen Bewegungen galvanometrisch mit dem anderen Zöllner'schen Pendel auf einem speziellen Registrierapparat (Länge einer Minute ca. $31^{m}/_{m}$), welchen der Mechaniker am Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg H. Masing gebaut hatte, aufgezeichnet wurden.

Bei dieser Beobachtungsserie wurden für Dämpfungszwecke und galvanometrische Registrierung, ähnlich wie in Jurjev (Dorpat), Elektromagnete benutzt, die von speziellen Akkumulatorengruppen magnetisiert wurden [1]).

In dieser Weise funktionierte die Station vom 9. Dezember 1906 bis zum 27. Februar 1907, wobei die Pendel nur die NS-Komponente der Erdbewegung registrierten.

Durch diese Beobachtungsserie wurde die Zulassung einer elektromagnetischen Dämpfung bei Erdbebenapparaten nachgewiesen. Die Anwendung

---

[1]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Seismometrische Beobachtungen in Pulkovo. 1907. L. c. T. III, Livr. 1.

einer galvanometrischen Registrierung wurde gleichfalls als sehr vorteilhaft erkannt, da alle Bebenphasen klar und deutlich hervortraten. Das Arbeiten mit ungedämpften Seismographen wurde als sehr kompliziert und das Erdbebenbild verwirrend gefunden. Der Klinograph zeigte keine Neigungen [1]).

Vom 27. Februar bis zum 28. November 1907 wurden die Registrierungen unterbrochen und diese Zeit benutzte man dazu, um weitere Laboratoriumsversuche vorzunehmen, wobei es sich herausgestellt hat, dass die Beobachtungsmethode sich bedeutend vereinfachen liess, dadurch, dass anstelle der sehr umständlichen Elektromagnete einfach permanente Hufeisenmagnete genommen werden konnten.

Um diese Methode zu prüfen, dazu sollte die folgende Beobachtungsserie dienen.

Von neuem wurde die Station angelassen am 28. November 1907 und funktionierte dann ununterbrochen bis zum 17. Mai 1908.

Es wurden diesmal drei verschiedene Pendel in der NS-Richtung montiert, ein schweres Zöllner'sches alten Systems, ein neues Fürst Golicyn'sches mit einer Stützspitze in der Nähe der Drehungsaxe und ein Rebeur-Paschwitz'sches auf zwei Spitzen. Alle drei waren bis zur Aperiodizitätsgrenze magnetisch gedämpft und registrierten galvanometrisch, das Rebeur-Paschwitz'sche auf dem Zimmermann'schen und die beiden anderen auf dem grossen Registrierapparat [2]).

Das Ergebnis dieser Versuche war ein sehr günstiges. Es wurde klar dargetan, dass man unter Anwendung einer rein magnetischen Dämpfung bis zur Aperiodizitätsgrenze mit verschiedenen Pendeltypen für die Verschiebung eines Punktes der Erdoberfläche sehr übereinstimmende Werte bekommt.

Die Bestimmung der Entfernung zum Epizentrum liess sich gleichfalls sehr gut durchführen, wie eine Vergleichung mit den Göttinger Daten gezeigt hat [3]).

Ebenso gut bewährte sich die Methode zur Untersuchung von mikroseismischen Bewegungen.

Es trat nach dieser Beobachtungsserie wiederum eine Pause bis zum 8. August 1908 ein, wo im Sommer Vorbereitungen zu neuen Versuchen getroffen wurden. Vom 8. August 1908 ab registrierte die Station ohne Unterbrechung.

---

[1]) Siehe: L. c.

[2]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Seismometrische Beobachtungen in Pulkovo. 2-te Mitteilung. 1909. L. c. T. III, Livr. 2.

[3]) Siehe: L. c.

In der ersten Zeit arbeiteten dort 2 Fürst Golicyn'sche Pendel mit magnetischer Dämpfung und galvanometrischer Registrierung. In diese Periode fallen die Versuche mit Pendeln im luftverdünnten Raum. Das eine von diesen Pendeln, welche beide in der NS-Richtung orientiert waren, befand sich unter einer speziellen Stahlglocke, aus der man die Luft auspumpen konnte[1]). Unter dieser Glocke wurde auch ein neuer Klinograph plaziert, der Neigungswellen anzeigen sollte. Ausserdem registrierte das Rebeur-Paschwitz'sche Pendel, gleichfalls im luftverdünnten Raum, die NS-Komponente der Erdbewegung.

In der ersten Zeit wurden hier noch zwei mechanisch registrierende Pendel alten Zöllner'schen Systems, die für die seismische Station in Pjatigorsk bestimmt waren, geprüft. Das eine von ihnen war mit magnetischer Dämpfung versehen, das andere besass keine Dämpfung[2]).

Ende Januar 1909 wurden diese beiden an ihren Bestimmungsort befördert und es wurden zugleich einige andere Veränderungen an der Station vorgenommen. Es wurde am 27. Januar das eine Fürst Golicyn'sche Pendel, welches unter einer gewöhnlichen Blechkappe registrierte, in die EW-Richtung gedreht und von dieser Zeit ab beginnen die höchst wichtigen Versuche zur Bestimmung des Azimuts eines Bebens nach einer einzelnen Station[3]).

Zudem fand auf dem Pfeiler, auf welchem die mechanisch registrierenden Pendel gestanden hatten, ein neues Horizontalpendel seinen Platz, welches nach Art der beiden anderen galvanometrisch registrierenden eingerichtet war, mit dem Unterschiede, dass es eine kleinere Pendellänge besass und etwas kompakter konstruiert war. Dieses Exemplar war das erste des Pendeltypus, wie dieselben jetzt vom Mechaniker H. Masing gebaut werden.

Als Seismoskop diente ein altes Zöllner'sches Pendel mit mechanischer Registrierung, welches im Korridor des Kellerraumes aufgestellt wurde.

Am 27. November wurde das Pendel aus der Stahlglocke herausgenommen und diese entfernt. Die beiden Horizontalpendel für die beiden Horizontalkomponenten werden an diesem Tage auf einem und demselben

---

[1]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Über mikroseismische Bewegungen. Gerland und Rudolphs Beiträge zur Geophysik. Bd. X, Heft 2. und J. Wilip. Ueber die Einwirkung von Luftströmungen auf empfindliche Horizontalpendel. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. IV, Livr. 2.

[2]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Das Sizilianische Erdbeben am 28. Dezember 1908. Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St. Pétersbourg. 1909. p. 279.

[3]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Zur Frage der Bestimmung des Azimuts des Epizentrums eines Bebens. L. c. 1909. p. 999. Bestimmung der Lage des Epizentrums eines Bebens aus den Angaben einer einzelnen seismischen Station. L. c. 1911. p. 941.

Pfeiler montiert und bleiben in dieser Stellung bis zum Schluss der Registrierungen auf dieser alten Station. Von hier ab arbeiten alle Apparate an der Luft.

Im März des Jahres 1910 wurden noch einige Erneuerungen vorgenommen.

Anstelle des Rebeur-Paschwitz'schen Pendels, welches jetzt ganz entfernt wurde, fand wiederum ein Fürst Golicyn'sches auf einem anderen Pfeiler seinen Platz. Ausserdem wurde ein Fürst Golicyn'sches 100-Kilogramm-Pendel [1]) mit mechanischer Registrierung und magnetischer Dämpfung im Korridor aufgehängt, welches jetzt die Rolle eines Seismoskops übernehmen sollte.

Am 18. Juni wurden die Registrierungen mit dem neuen Vertikalseismographen [2]) begonnen und seit dieser Zeit wurden fortlaufend alle 3 Komponenten der Erdbewegung aufgezeichnet.

Dieses wäre kurz das Bild der Entwickelung der seismometrischen Beobachtungen auf der alten seismischen Station.

Inzwischen war in der Seismologischen Kommission bereits schon längst die Idee gereift, ein spezielles Gebäude für eine Station ersten Ranges zu errichten, welche die wichtigsten Aufgaben für die Seismologie in Russland übernehmen sollte [3]).

In Anbetracht einer genauen Zeitbestimmung, welche die seismometrischen Beobachtungen erforden, gab es natürlich keinen geeigneteren Ort, als die Nähe des astronomischen Observatoriums in Pulkovo, zudem noch, da solche Beobachtungen bereits eine Reihe von Jahren dort geführt wurden.

Den Bau zu leiten übernahm der Architektor der Akademie der Künste, Herr A. Poléščuk und wurde damit betraut, ein Projekt einer unterirdischen seismischen Station auszuarbeiten.

Im Sommer des Jahres 1908 wurde unter der Leitung des Fürsten B. Golicyn zu dieser Aufgabe geschritten, wobei man sich von folgenden Gesichtspunkten leiten liess.

1) Der Raum sollte unterirdisch und geräumig sein, um allen Anforderungen der modernen Seismologie gerecht zu werden.

---

[1]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ueber ein neues schweres Horizontalpendel mit mechanischer Registrierung für seismische Stationen zweiten Ranges. 1910. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. III, Livr. 3.

[2]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ueber einen neuen Seismographen für die Vertikalkomponente der Bodenbewegung. 1910. L. c. T. IV, Livr. 2.

[3]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Die neue Organisation des seismischen Dienstes in Russland. L. c.

2) Es sollte durch Heizvorrichtungen die Möglichkeit geboten werden, die Temperatur konstant zu halten.

3) Es sollte mit einer Ventilationseinrichtung versehen werden, um bei Bedarf den Feuchtigkeitsgehalt bequem herabsetzen zu können.

4) Diese Ventilationseinrichtung sollte so ihre Aufgabe erfüllen, dass die warme feuchte Sommerluft nach dem Hineindringen in die inneren Räumlichkeiten beim Abkühlen dort kein Kondensationswasser abzugeben die Möglichkeit hätte.

5) Ferner sollte das Grundwasser, sowie das obere Schmelz- oder Regenwasser keine schädliche Wirkung ausüben.

Ausser diesen Stationsräumlichkeiten sollte noch ein entsprechendes Wohnhaus mit Laboratorium und anderen Arbeitsräumen für die Angestellten errichtet werden.

Zu dem Zweck richtete die Seismologische Kommission eine Eingabe an den Minister der Volksaufklärung mit der Bitte um Anweisung von Mitteln. Im Sommer des Jahres 1910 wurden vom Reichsrat und der Reichsduma die nötigen Kredite bewilligt, unter denen ca. 43000 Rubel auf diese Bauten kommen sollten.

Es wurde dann eine Baukommission gewählt, bestehend aus den Mitgliedern der Seismologischen Kommission O. Backlund, Fürst B. Golicyn, A. Karpinskij, F. Černyšev und E. Stelling. Zum Geschäftsführer wurde der Sekretär der Seismologischen Kommission P. Nikiforov ernannt.

In demselben Sommer wurde zu den Bauarbeiten geschritten und im Oktober war bereits der Rohbau der unterirdischen Station vollendet.

Im Frühling des folgenden Jahres gewann die Baukommission den Militäringenieuren und Obristen N. Nikiforov, der mit viel Sachverständnis den Bau der Kellerräume bis zur Vollendung fortsetzte, sowie den des Wohnhauses übernahm.

Beträchtlich viel Zeit nahm die Trocknung des Kellers in Anspruch. Die von Hause aus gebaute Ventilationseinrichtung genügte nicht dazu, alles Wasser, das die Betonwände enthielten, zu entfernen. Es musste noch eine Zusatzventilierungsvorrichtung gebaut werden.

Zudem war es notwendig, die rohen Wände und Lagen ein für allemal auszutrocknen. Dieses erzielte man durch anhaltendes Erwärmen der Räumlichkeiten auf über 50° C. mit Hilfe von speziellen transportablen Öfen.

Ein solches Erwärmen wurde ca. 3 Wochen fortgesetzt. Darnach erst konnte man zum Bestreichen übergehen. Im Spätsommer war endgiltig der Bau beendet und auch das Wohnhaus im Rohbau fertiggestellt.

Die unterirdische Station.

Die Lage der Station. Das astronomische Observatorium liegt ca. 20 Kilometer von St. Petersburg nach Süden und ca. 5 Kilometer von der Eisenbahnstation Alexandrovskaja der Warschauer Bahn entfernt. Auf Fig. 1 ist der Plan des Terrains des Pulkovoer Observatoriums mit den Hauptgebäuden skizziert. Die vorbeiführende Chausse kommt aus der Stadt. Die Station befindet sich nordwestlich von dem Observatorium, nicht weit von einem in Pulkovo wohlbekannten kleinen Steinhügel. In der Umgebung wachsen einzelne Bäume. Auf der Westseite liegt ein offenes Feld, welches mit Himbeerensträuchern bepflanzt ist.

Fig. 2 zeigt eine photographische Aufnahme des Vorhauses der Station von der Südseite (im Hintergrunde das Wohnhaus), welches den einzigen herausragenden Teil des Baues bildet.

Der unterirdische Bau. Das Ganze ist aus Beton gebaut und umfasst eine Fläche von 28 × 13 □ Meter, von der äussersten Betonwand an gerechnet.

Der Bau befindet sich total unter der Erde mit Ausnahme des erwähnten Vorhauses, das als Eingang dient. Die Diele liegt ca. $7^1/_2$ Meter unter der Erdoberfläche und bildet für die einzelnen Räume eine steinartige zusammenhängende Masse von 40 cm. Dicke, die aus einer durch eine Asphaltschicht isolierten Decke aus Beton besteht und oben mit Tonplatten belegt ist. Der Boden besteht rundherum teilweise aus Lehm und teilweise aus Sand. Den Untergrund bilden gleichfalls Lehm und Sand.

Auf Fig. 3 ist der Plan des Kellers wiedergegeben, wo I den Grundriss, II den Längsdurchschnitt und III den Querdurchschnitt darstellen. Der innere Bau ist nach Art der Strassburger Station von zwei Korridoren umgeben. Der äussere besteht aus vielen ellipsenförmigen Teilen und soll nicht nur bei der Konstanthaltung der Temperatur eine Rolle spielen, sondern auch als Kondensationsraum für Feuchtigkeit dienen und im Sommer der warmen feuchten Luft beim Abkühlen einen Teil des Wassergehalts entziehen.

Auf diesen folgt der innere Korridor, welcher den kastenförmigen Bau umgibt und dessen äussere Wand oben in das Gewölbe übergeht. Dieses Gewölbe besitzt aussen ein für Wasser undurchlässiges Bleidach, welches oben eine Schicht Erde trägt. Das Bleidach hat den Zweck, das durch den Boden sickernde Regen- und Schmelzwasser abzulenken, um die innere Fläche des ziemlich porösen Betongewölbes trocken zu halten.

Der innere Bau besteht aus zwei von dem Gewölbe total getrennten

Betonkasten, die wiederum von einander durch einen schmalen Korridor getrennt sind.

Der kleinere Teil stellt einen Raum von 7,45 × 6,83 □ Meter dar und ist von den anderen Räumlichkeiten unabhängig gebaut. Derselbe ist für die empfindlichsten Pendel bestimmt und soll während des Registrierens nicht betreten werden.

Der andere grössere Teil umfasst 3 Räumlichkeiten, ein kleines Zimmer von 2,11 × 6,83 □ m., eines von mittlerer Grösse, von 5,48 × 6,83 □ m. und eine geräumige Abteilung gleichfalls von 7,45 × 6,83 □ m., ähnlich wie der getrennte Teil.

Die Höhe von der Diele bis zur Lage beträgt überall 3,15 m.

Der kleine Raum dient als Durchgangszimmer zu den anderen Räumlichkeiten und ist für die Kontaktuhr und ihre elektrische Batterie bestimmt.

Das Zimmer rechts ist für galvanometrisch-photographische Registrierung der Seismographen aus der hinteren getrennten Abteilung eingerichtet. Das grosse Zimmer links vom Eingang soll zur Aufnahme der mechanisch registrierenden Pendel dienen.

Über der Lage unter dem Gewölbe ist ein recht grosser Bodenraum vorhanden.

Unter dem herausragenden Vorhause befindet sich ausserhalb des Bereichs des äusseren Korridors noch ein spezieller Raum, der die 5 m. hohe Treppe, sowie die Heizvorrichtung aufnimmt. Der Eingang liegt nämlich etwas unter dem Niveau der Bodenfläche über dem Gewölbe. Das Vorhaus hat auf zwei gegenüberliegenden Seiten je eine Tür und es ist darauf Rücksicht genommen worden, dass man recht grosse Gegenstände bequem hinunterlassen kann.

Die Heizeinrichtung. Die Beheizung geschieht durch eine Warmwasseranlage. Der Ofen nebst dem Kessel und der Pumpe befindet sich im Vorhause, der Treppe gegenüber in einem durch Scheidewand getrennten Kabinet, wo zugleich auch ein Vorratsraum für Kokes eingerichtet ist.

Von hier verzweigt sich das Warmwasserröhrensystem weiter in den inneren Korridor, wo in einer Höhe von 2,5 m. die Heizbatterien den kastenförmigen Bau umgeben, und auf den Bodenraum.

Die Ventilationseinrichtung. Die Hauptventilation ist folgendermaassen eingerichtet.

Die Aussenluft kann von oben durch die andere Tür, welche in der oberen Hälfte aus einem Gitter besteht, eintreten, passiert dann den äusseren Korridor, tritt weiter an der Hinterwand durch eine grosse Öffnung, in welcher noch ein Gitterwerk mit Chlorcalcium in den Weg geschaltet wer-

den kann, in einer Höhe von ca. 2 m. in den inneren Korridor und kann aus diesem durch bestimmte Öffnungen, die in einer Höhe von ca. 2 m. angebracht sind, in die inneren Räume gelangen. In jedem Raum befinden sich unten über der Diele im Winkel Öffnungen, die durch Hohlgänge in ein gemeinsames Ventilationsrohr münden (siehe den Plan).

In diesem Rohr ist ein elektrischer Ventilator eingebaut, der imstande ist, in weniger als einer halben Stunde die Luft in allen Räumlichkeiten zu erneuern.

Die Idee, die man mit dieser Einrichtung verfolgte, war die folgende.

Im Sommer, wo die Luft am meisten Feuchtigkeit enthält, sollte der eintretende Luftstrom sich zunächst im äusseren Korridor abkühlen und einen Teil der Feuchtigkeit zurücklassen.

Durch die grosse Öffnung kann sie dann, falls kein Chlorcalcium eingeschaltet ist, im gesättigten Zustande in den inneren Korridor treten, wird durch die Warmwasserbatterien erwärmt und auf diese Weise relativ trockener und gelangt in diesem erwärmten Zustande in die inneren Räumlichkeiten. Von dort wird die untere kühlere und daher schwerere Luft auf der Diele durch den Ventilator herausgesogen. Auf diese Weise wäre erreicht, dass die Luft in den inneren Stationsräumen nie gesättigt sein kann.

Bei der Trockenung des Rohbaues stellte es sich aber heraus, dass die Ventilationseinrichtung nicht genügte, um alle Feuchtigkeit zu entfernen.

Es musste daher, wie schon erwähnt, noch eine Ergänzungsventilation eingerichtet werden, da die Luftmassen unter der Lage ohne Durchmischung fast in völliger Ruhe verharrten. Diese Ventilation wurde also speziell für die Lage eingerichtet.

Die Lage erhielt an einzelnen Stellen Durchbohrungen, an die Keramikröhren festgekittet wurden. Diese Röhren, die oben auf dem Bodenraum gelegt sind, münden alle in ein gemeinsames, entsprechend weiteres Rohr, welches am Vorhäuschen den mittleren Schornstein als Zugrohr trägt (siehe die Aufnahme 2). Die Anregung der Luftbewegung kann entweder durch Einsetzen eines elektrischen Ventilators erzielt oder durch den Luftzug selbst bewirkt werden. Durch diese beiden Ventilationseinrichtungen erreicht man ziemlich schnell einen Feuchtigkeitsgrad von ca. 70%, werden sie ausgeschaltet, so beträgt noch jetzt in den inneren Räumen der Feuchtigkeitsgehalt ca. 90%.

Da aber die Temperaturverhältnisse sehr günstig sind, indem im äusseren Korridor in einer bestimmten Höhe ca. 8° C., im inneren 12° C. und in den inneren Räumlichkeiten 15° C. obwaltet, wobei in den letzteren keine grösseren Schwankungen als 0,2° vorzukommen pflegen, so ist dieser Umstand von keinem schädlichen Einfluss und es kommt nie zur Ausschei-

dung von Wasser, auch wenn die Ventilationseinrichtung lange Zeit ausser Tätigkeit ist.

Die Beleuchtungsanlage. Der ganze Bau wird elektrisch beleuchtet. Fürs erste besitzt die Station keine eigene elektrische Zentrale und bezieht die elektrische Energie von der Station des astronomischen Observatoriums. Diese ist nur für Observatoriumszwecke eingerichtet und würde nicht genügen, auch das Wohnhaus elektrisch zu bedienen. Die Bearbeitung der Seismogramme bedarf aber durchaus eines sehr intensiven Lichtes. Zudem macht sich beim jetzigen Gebrauch der Elektrizität des Observatoriums ein beträchtlicher Spannungsabfall bemerkbar und dieser Umstand erschwert oft wegen schwacher Skalenbeleuchtung sehr die Konstantenbestimmung der Seismographen. Ferner liegt die genaue Regulierung der elektrischen Spannung nicht in der Hand der seismischen Station, was in gewissem Sinne grosse Bedeutung hat, insofern für Registrierzwecke ausschliesslich elektrisches Nernstlicht angewandt wird und dieses gegen Spannungsänderungen sehr empfindlich ist.

Die gesetzgebenden Institutionen haben bereits die Mittel zur Errichtung einer eigenen elektrischen Zentrale bewilligt, deren Bau bis zum Herbst beendet wird.

Die Beleuchtungseinrichtung ist auf Fig. 4 dargestellt. Im äusseren Korridor befindet sich rechts vom Eingang an der Wand ein marmornes Schaltbrett, von dem aus die Leitungen sich nach allen Richtungen verzweigen und alle Räumlichkeiten nach Wunsch bedient werden können.

Die Hauptleitungen sind alle im inneren Korridor und auf dem Bodenraum unter dem Gewölbe angelegt, wo verhältnismässig trockene Luft herrscht. Es sind Drähte mit sehr hoher Isolation verwendet worden und zudem sind zum weiteren Schutz, wo dieses als notwendig erschien, Isolationsröhren mit Messinghülle angewandt worden.

Nirgends an den inneren Wänden kommen Leitungen zum Vorschein, ausser den an der Lage angebrachten und in der Höhenrichtung regulierbaren Hängelampen, bei denen gewöhnliche Leitungsschnüre verwendet wurden.

Das Beleuchtungssystem besteht aus folgenden Gruppen von Lampen: 1) im äusseren Korridor 9 Lampen, die direkt an der Wand befestigt sind, 2) im inneren Korridor 6 Lampen, gleichfalls direkt an der Wand, 3) auf dem Boden unter dem Gewölbe 2 Lampen, 4) im Pendelraum ein Plafond mit 3 Lampen und 4 Hängelampen, 5) im Registrierraum dieselbe Anzahl von Lampen, 6) im Vorderraum ein Plafond mit einer Lampe und 2 Wandlampen bei der Kontaktuhr und 7) im Raum für mechanische Registrierung ein Plafond mit 3 Lampen und 3 regulierbare Hängelampen.

Ausserdem befinden sich innen an den Wänden überall Stöpsel, die zur

Einschaltung der Registrierlampen, zur Skalenbeleuchtung bei der Konstantenbestimmung, sowie für andere Zwecke der Stromentnahme dienen können. Einzelne Lampen sind noch beim Eingang und im Heizraum angebracht.

Vom Schaltbrett aus können die Räumlichkeiten nach Belieben bedient werden. So gibt es z. B. für den Raum der photographischen Registrierung einen speziellen Ausschalter für halbrotes Licht und einen anderen für weisses u. s. w.

Die Pfeiler für die Apparate. Bei vielen physikalischen und astronomischen Messungen ist es wichtig, dass ein nahes Herantreten an die Apparate an diesen keine Neigung und Erschütterung hervorruft.

Daher verwendet man in diesen Fällen Pfeiler, die tief in die Erde gehen und von der Diele, sowie vom Fundament des Gebäudes total getrennt sind. So hat man vielfach dieses Prinzip auch bei Erdbebenapparaten beibehalten, indem man die Pendel auf isolierten Pfeilern plaziert. Bei Anwendung der mechanischen oder bisweilen auch rein optischen Registriermethode erscheint dieses auch als sehr bequem, da man in diesen Fällen beim Papierwechsel ziemlich nahe an die Pendel herantreten muss und dieselben ohne derartige Säulen in starke Schwingungen geraten würden.

Es ist aber auf der Hand liegend, dass derartige hohe Pfeiler in der Präzisionsseismometrie sehr grosse Fehler hineinbringen können, indem bei ihnen beim Eintreffen von Erdbebenwellen, ganz besonders bei kurzen Perioden, Eigenschwingungen sich geltend machen können. Zudem wäre noch denkbar, dass dieselben bei Windstörungen noch dadurch ihre schädliche Wirkung kennzeichnen, dass sie schon beim geringsten Luftzuge geringen Neigungen unterworfen sein können, wobei sich diese Wirkung zu der der Aspiration hinzuaddiert und die unregelmässigen langen Wellen an windigen Tagen noch vergrössert.

Die seismische Station in Pulkovo wurde speziell für Präzisionsseismometrie gebaut und daher wurde beim Bau der Pfeiler auf diesen Umstand Rücksicht genommen.

Die galvanometrische Registriermethode zeichnet sich nun gerade dadurch von den anderen aus, dass bei ihr der registrierende Teil in einem anderen getrennten Raum aufgestellt werden kann und man während des Papierwechselns an die Pendel nicht heranzutreten braucht.

Die Pfeiler wurden daher recht niedrig gebaut und sind mit der Diele direkt verbunden.

Sie bestehen, wie der ganze Bau, gleichfalls aus Beton und sind oben mit Marmorplatten zugedeckt.

Das hinterste isolierte Zimmer besitzt 4 Pfeiler von 60 cm. Höhe. Die beiden hinteren, die etwa T-förmig aussehen, sind für 2 Gruppen von

Seismographen bestimmt, für je 2 Horizontalpendel und einen Vertikalseismographen und haben eine Länge von 240 cm. und an der breitesten Stelle eine Breite von 135 cm. Die auf ihnen montierten Apparate sollen beständig registrieren und das laufende Material für Erdbebenberichte hergeben. Ausserdem befinden sich in diesem Raum noch 2 quadratische Pfeiler von 135×135 □ cm. Fläche, die für spezielle Untersuchungen dienen und nur zeitweilig in Anspruch genommen werden sollen (siehe die Fig. 3 und 5).

Der Registrierraum enthält 4 ganz gleichartige Einrichtungen für Registrierzwecke. Die frühere seismische Station unter dem astronomischen Observatorium gestattete wegen Raummangels keine bequeme Aufstellung der registrierenden Teile.

Auf der neuen Station wurde darauf besonders Rücksicht genommen, dass der Zutritt zu allen Teilen unbehindert möglich wäre. Daher wurden je 3 spezielle Gestelle für je ein Registriersystem errichtet: für den Registrierapparat eine Betonsäule von 150 cm. Länge, 65 cm. Breite und 51 cm. Höhe, für die Galvanometer und die langen Reflexspiegel eine spezielle Säule von 100 cm. Länge, 40 cm. Breite und 70 cm. Höhe und für die Registrierlaterne eine Wandkonsole von 40×30 □ cm. Fläche, in derselben Höhe wie die Säule für die Galvanometer. (Siehe die Fig. 3 und 5).

Durch diese Einrichtung sind alle Teile leicht zugänglich und das Auswechseln der Lampen, sowie das Einstellen der Optik ist sehr erleichtert. Ausserdem kommt noch der Vorteil zur Geltung, dass hier kein vergrössertes Spaltbild auf der Trommel entworfen wird, wodurch die Qualität der Linien auf dem photographischen Papier etwas gewinnt.

In dem Raum für mechanisch registrierende Pendel wurde ein einziger grosser Pfeiler errichtet, von denselben Dimensionen, wie die beiden quadratischen im hinteren Raum. Diese soll in Zukunft ein mechanisch registrierendes Vertikalseismometer aufnehmen.

Ausserdem sind in den beiden hinteren Winkeln noch je zwei kleine Säulen gesetzt, die für die Dämpfermagnete der mechanisch registrierenden Pendel und als Gestelle für ihre Gewichte beim Einhängen derselben in ihre Lager dienen sollen.

Verbindungsdrähte der Pendel mit den Galvanometern und die Leitungen von der Kontaktuhr zur Zeitsignalisierung. Die bei der elektrischen Fernregistrierung in Anwendung gekommenen Galvanometer besitzen eine Empfindlichkeit von ca. 7.10^{-10} Amp. für $1^{m}/_{m}$ Ausschlag bei 1 m. Skalenabstand. Daher muss man bei der Anlegung von elektrischen Leitungen mit dieser Empfindlichkeit wohl rechnen, um alle möglichen störenden Stromeinwirkungen von aussen auszuschliessen.

Um eine zweckmässige Verbindung zwischen den Pendeln und Galvano-

metern herbeizuführen, wurde schon beim Bauen der Pfeiler und Legen der Dielen darauf Rücksicht genommen.

Es dürfen derartige Leitungen keine Drähte für Beleuchtungszwecke durchkreuzen, da trotz der bifilaren Bewickelung infolge von kleinen Unsymmetrien plötzliche Spannungsänderungen auf der elektrischen Zentrale durch Induktionswirkungen sich geltend machen können. Ausserdem muss die höchste Isolation benutzt werden, um alle möglichen vagabundierenden Erdströme auszuschliessen. Drittens dürfen die Verbindungsleitungen unter sich nicht unregelmässig gelagert sein, da in diesem Fall eine gegenseitige Beeinflussung der Leitungen während eines Bebens durch Induktion denkbar wäre.

Fig. 5 zeigt die Anordnung der Verbindungsdrähte.

Beim Setzen der Pfeiler wurden in dieselben Isolationsröhren mit Messinghülle gebettet, die zur Aufnahme der Leitungen bestimmt wurden. An den Stellen, wo die Drahtenden herausragen müssen, wurden die Marmorplatten durchbohrt. Alle Leitungen sind unter der Steindiele versteckt. Man wählte Drähte mit der höchsten Isolation, wobei man diese für die Dauer nicht für genügend sicher hielt. Daher wurde der bifilar geflochtene Draht noch durch Gummischläuche geführt und diese wiederum durch Isolationsröhren gezogen.

Diese so erhaltenen Kabel wurden dann in der Diele bleibend eingebaut.

Eine solche Isolation erwies sich als so vollkommen, dass beim Einschalten der Galvanometer keine Spur von Erdströmen sich bemerkbar machte.

Gleichfalls wurde vor dem Bestreichen der Räume für die Verbindungsleitungen der Kontaktuhr mit den Zeitmarkenelektromagneten Sorge getragen.

Diese wurden längs den Dielenwinkeln und Wänden, in Isolationsröhren versteckt, in der Weise angelegt, dass alle Elektromagnete entweder hintereinander geschaltet oder auch nach Wunsch paarweise hintereinander verbunden werden können.

Die Apparate der unterirdischen Station.

Für die moderne Präzisionsseismometrie kommen heutzutage drei Arten von Seismographen in Betracht, nämlich die Wiechert'schen, welche die Göttinger Feinmechaniker Spindler und Hoyer herstellen, zweitens die Fürst Golicyn'schen mit galvanometrischer Fernregistrierung, die vom

Mechaniker H. Masing in der Werkstatt des Physikalischen Laboratoriums der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg gebaut werden und drittens die Mainka'schen, die in den Werkstätten der Brüder A. u. J. Bosch in Strassburg konstruiert werden.

Es haben auch noch viele andere Pendeltypen Verbreitung gefunden, so die Milne'schen, die Omori-Bosch'schen, die Vicentini'schen, die leichten Zöllner'schen von Repsold und andere; doch sind diese mehr oder weniger für kleinere Empfindlichkeit eingerichtet und leisten nur bei stärkeren Beben gute Dienste.

Was Präzision und Zuverlässigkeit aller dieser Apparate für Fernbebenbeobachtungen anbetrifft, so ist die galvanometrische Registriermethode wohl den anderen Arten von Pendeln bei weitem überlegen, nur dass hier wegen des photographischen Papieres die Betriebskosten höher sind. Zur Erhaltung wichtiger wissenschaftlicher Resultate soll man aber auf diesen Umstand keine Rücksicht nehmen.

Die unterirdische Station in Pulkovo wurde einzig und allein mit Seismographen Fürst Golicyn'schen Systems ausgestattet. Sie besitzt fürs erste 5 Horizontalpendel für galvanometrische Fernregistrierung[1]), 2 Vertikalseismographen[2]) mit derselben Registriermethode, 2 Fürst Golicyn'sche 100-Kilogrammpendel mit mechanischer Registrierung[3]), 3 Registrierapparate nebst 6 Galvanometern mit optischem Zubehör, eine Kontaktuhr der Firma Strasser und Rohde und 2 Registrierapparate für die mechanisch registrierenden Pendel. Hierzu kommen noch Apparate für die Konstantenbestimmung, nämlich 4 Fernrohre mit Skalen nebst Beleuchtung auf Gausstativen und ein Löbnerscher Sekundenzähler.

Es registrieren beständig 3 Gruppen von Seismographen. Zwei Gruppen sind auf den T-förmigen Pfeilern aufgestellt und registrieren alle drei Komponenten der Bodenbewegung.

Fig. 6 zeigt eine photographische Aufnahme des Pendelraumes für diese empfindlichsten Apparate. Auf der Säule rechts steht die Gruppe für die grösste Empfindlichkeit, das vordere Horizontalpendel für die NS-, das mittlere für die Vertikal- und das hintere für die EW-Komponente der Bodenbewegung.

---

[1]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. IV, Livr. 1.

[2]) Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ueber einen neuen Seismographen für die Vertikalkomponente der Bodenbewegung. L. c. T. IV, Livr. 2.

[3]) Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ueber ein neues schweres Horizontalpendel mit mechanischer Registrierung für seismische Stationen zweiten Ranges. L. c. T. III, Livr. 3.

Alle drei besitzen eine volle Schwingungsdauer von ca. 13,5. Der galvanometrische Übertragungsfaktor für die beiden Horizontalpendel beträgt $k =$ ca. 100 und für das Vertikalseismometer $k =$ ca. 285. Eine spezielle Aufnahme dieser Gruppe ist auf Fig. 7 gegeben.

Auf dem Pfeiler links stehen die Apparate für kleinere Empfindlichkeit, wobei für die beiden Horizontalpendel eine volle Schwingungsdauer von ca. 25,0 gewählt worden ist und für $k =$ ca. 20. Für das Vertikalseismometer wurde hier aus technischen Gründen die Schwingungsdauer $T =$ ca. 13,5 beibehalten, für k aber etwa ca. 100 gesetzt.

Die Beschreibung dieser Apparate erscheint hier als überflüssig, da dieselben bereits von dem Erfinder zu seiner Zeit beschrieben worden sind [1]).

Die Registrierung geschieht auf drei getrennten Registrierapparaten, je zwei Pendel für gleichnamige Komponenten auf einer und derselben Trommel, sodass die Aufzeichnungen von einem empfindlichen und weniger empfindlichen neben einander verlaufen. Dieses ist aus der Anordnung der Drähte auf Fig. 5 ersichtlich.

Fig. 8 zeigt eine photographische Aufnahme des Registrier- und Galvanometerraumes.

Alle drei Registrierapparate sind einander ähnlich gebaut, in der Weise, dass die Trommel von 2 getrennten Uhrmechanismen getrieben wird, von einem starken mit Federaufzug und Foucault'schen Regulator für die drehende Bewegung und von einem kleineren für die Horizontalbewegung längs der Axe der Trommel. Diese Uhrwerke haben einen zwölfstündigen Lauf, sodass das Papier 2 mal täglich gewechselt werden muss.

Die Grösse der photographischen Papiere beträgt 30×93 □ cm.; die Trommel läuft in einer Stunde 2 mal rund; die Länge einer Minute beträgt $30^{m}/_{m}$ und die Entfernung der Registrierlinien von einander ca. $9^{m}/_{m}$.

Alle Galvanometer sind, wie immer, von der Firma Hartmann & Braun bezogen und auf spezielle Bestellung mit für diese Art und Weise der Registrierung notwendigen kleinen Veränderungen ausgestattet. In jedem Galvanometerstromkreise befindet sich ein Stöpselausschalter, der benutzt wird, sobald man gröbere Veränderungen an den Pendeln vorzunehmen hat, so z. B. bei der Konstantenbestimmung oder Regulierung der Nulllage beim Vertikalseismographen.

Über den optischen Teil ist wenig zu sagen. Derselbe besteht, wie schon früher auf der alten Station, aus einer Laterne mit Nernstlicht, Spaltrohr mit Linse, zwei kleinen Reflexspiegeln vor dem Spalt zur Beleuch-

---

[1]) L. c. auf vorhergehender Seite.

tung von 2 Galvanometerspiegeln zugleich, zwei schmalen Linsen vor den Galvanometerspiegeln, zwei langen Spiegeln auf einem Tischchen zwischen den Galvanometern und einer langen horizontalen Zylinderlinse, die am Registrierapparat befestigt ist. Eine spezielle Aufnahme befindet sich auf Fig. 9.

Hier sind nur die optischen Hebel etwas anders gewählt, als auf der früheren Station (siehe Fig. 5). Der optische Hebel für diese Aufstellung beträgt ca. $1^1/_3$ m.

Die Nernstlampen werden bald mit einer Signaleinrichtung versehen werden, die im Wohnhause an einer elektrischen Klingel das zufällige Durchbrennen der Glühfäden anzeigen soll.

Auf Fig. 10 ist der Raum für mechanische Registrierung abgebildet. In der Mitte auf dem grossen Pfeiler steht das fünfte Horizontalpendel für galvanometrische Registrierung. Dieses funktioniert nicht, sondern dient nur als Modell zur Demonstration für Besucher.

In den Winkeln sieht man die mechanisch registrierenden 100-Kilogrammpendel an der Wand aufgehängt. Diese Pendel sind magnetisch gedämpft, besitzen einen Vergrösserungshebel und haben eine volle Schwingungsdauer von $20 — 25^s$. Die Vergrösserung beträgt ca. 50 und das Dämpfungsverhältnis 4—5 ($\mu^2 = 0{,}84 — 0{,}79$).

Die Angaben dieser Instrumente sollen nur in den seltensten Fällen verwertet werden, nämlich bei starken Beben, wo alle empfindlichen Apparate dadurch versagen, dass ihre Ausschläge dermaassen aus der Skala kommen, dass sie keine Spur auf dem photographischen Papier hinterlassen.

Auf dieser Abbildung sind die Registrierapparate nur provisorische.

Gleich zu Anfang der Registrierungen hat es sich herausgestellt, dass diese Pendel ihre Nulllage beständig langsam hin und her verändern, wodurch die Linien bisweilen zu nahe an einander zu liegen kommen oder sich sogar überlagern, bisweilen aber widerum zu weit aus einander rücken. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass diese Wanderung der Nulllage von einer Temperaturveränderung herrührt, indem sich die Wand an verschiedenen Stellen ungleichmässig ausdehnt und zusammenzieht, um so mehr, da die Heizbatterien gerade im inneren Korridor sich befinden.

Aus dem Grunde haben bereits zwei andere ähnliche Pendel hier Aufstellung gefunden, mit dem Unterschiede, dass diese an speziell zu dem Zwecke gebauten kompakten eisernen Gestellen angebracht sind. Diese Pendel sind mit ganz neuen Registrierapparaten ausgestattet.

Diese neuen Registrierapparate, vom Mechaniker H. Masing gebaut, haben einen 24-stündigen Lauf, wobei die Papiere eine Registrierfläche von 30×23 □ cm. besitzen.

Der Gang ist sehr regelmässig und die Länge einer Minute ist hier gleichfalls $30^{m}/_{m}$, wobei die Entfernung der benachbarten Linien voneinander $3^{m}/_{m}$ beträgt.

Eine photographische Aufnahme von einem dieser Pendel für die NS-Komponente zeigt Fig. 11.

Das Resultat mit dieser Aufstellung war auch in der Tat ein viel günstigeres.

Zwar fand anfangs von Zeit zu Zeit auch bei diesen Pendeln eine geringe Verschiebung der Nulllage statt, dieselbe war aber dermaassen unbedeutend, dass sie bei der Entzifferung der Aufzeichnungen fast gar nicht in Betracht kommt.

Diese geringe Änderung könnte vielleicht von einer Nachwirkung der Gestelle, sowie der Diele hergerührt haben.

Ferner soll in diesem Raum das bereits erwähnte mechanisch registrierende Vertikalseismometer aufgestellt werden, welches nach dem Prinzip des galvanometrisch registrierenden gebaut werden wird.

Den Berussungstisch bildet eine Wandkonsole im äusseren Korridor, von dem aus ein spezielles Zugrohr in den Schornstein führt (siehe Fig. 3, neben dem Eingange).

Die Kontaktuhr ist auf Fig. 12 dargestellt. Sie ist von der Firma Strasser und Rohde (Glashütte in Sachsen) bezogen und besitzt ein Achttagewerk und ein Nickelstahl-Kompensationspendel. Diese Uhrengattung ist bereits früher im Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg untersucht worden und hat einen sehr befriedigenden Gang aufgewiesen[1]).

Der Stromschluss kommt in jeder Minute einmal zustande und dauert eine Sekunde und zwar bei diesem Exemplar von der 59-sten bis zur 60-sten. Stundenkontakte fehlen.

Für den Uhrkontakt wird ein Relais benutzt, das von drei Leclanché-Elementen betrieben wird. Im gemeinsamen Stromkreise der Elektromagnete für die Minutenmarken bei den Registrierapparaten sind 5 Elemente eingeschaltet. Links auf dem Bilde sieht man den kleinen Schrank, in welchem die Elemente nebst Relais verborgen sind.

Auf dem Schrank befindet sich ein Stromschalter für künstliche Zeitsignale, der beim Papierwechsel in Funktion tritt, um die Momente des Anfanges und Endes eines Seismogrammes zu fixieren.

Die Fernrohre zur Konstantenbestimmung sind von zwei verschiedenen

---

[1]) И. Вилипъ. О ходѣ нѣкоторыхъ контактныхъ часовъ. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. IV, Livr. 1.

Dimensionen, ein Paar mit einem Objektivdurchmesser von $45^{m}/_{m}$ und kurzer Skala mit Vorrichtung zum Vertikalstellen der Skala, das zum Beobachten auf grössere Entfernung dient, und das zweite Paar mit einem Objektiv von $35^{m}/_{m}$ Durchmesser für kleinere Vergrösserung, mit einer Skala von 1 m. Länge, für Messungen gewöhnlich nach den Galvanometern in einer Distanz von 1 m. vom Spiegel.

Diese Fernrohre stammen gleichfalls von der Firma Hartmann & Braun; nur die Gaussstative nebst Skalen aus Zelluloid und Einstelleinrichtung sind vom Mechaniker H. Masing hergestellt.

Der Sekundenzähler ist von dem Uhrmacher F. L. Löbner in Berlin angefertigt und stellt eine Stoppuhr vor, die Hundertstel Sekunden abzulesen gestattet.

Von anderen Apparaten, die in die Arbeitsräume im Wohnhause hingehören und bei der Bearbeitung von Erdbebendiagrammen in Anwendung kommen, sind Eigentum der Station — ein Metallglobus mit Gradnetzeinteilung und eine Rechenmaschine.

Ferner hat noch die Kontaktuhr der Firma Strasser & Rohde von der alten Station im Laboratorium Aufstellung gefunden und dient hier zur gewöhnlichen Zeitbestimmung.

Das Wohngebäude bei der unterirdischen Station.

Auf dem Pulkovoer Territorium fand sich kein geeigneter Platz für das Wohngebäude und es traf sich sehr günstig, dass die Permanente Seismologische Kommission zu dem Zweck vom Apanagenressort ein an das Gebiet des Observatoriums angrenzendes Stück Landes arrendieren konnte. Das kleine Grundstück liegt nahe bei der seismischen Station und hat eine Fläche von 3 ha.

Der Kontrakt ist auf 24 Jahre geschlossen und die Seismologische Kommission zahlt eine Pacht von 100 Rubeln jährlich.

Das Haus befindet sich auf dem südlichen Ende des Grundstückes (siehe die Fig. 1).

Fig. 13 zeigt eine photographische Aufnahme des Gebäudes von der Ostseite, und Fig. 14 eine Ansicht im Winter. Der Bau ist noch nicht beendet, wie dieses auch auf den Aufnahmen zu ersehen ist. Es ist ein hölzernes zweistöckiges Haus nebst geräumigen Kellereinrichtungen in der Erde.

Den Grundriss des unteren Stockwerkes zeigt Fig. 15 I und den des oberen II.

Im unteren Stock befindet sich ein Laboratorium, Zimmer für die Bearbeitung von Seismogrammen, mechanische Werkstatt, photographisches Kabinet, Archiv, 2 Fremdenzimmer und ein Zimmer nebst Küche für die Bedienung.

Beim Eingang ist eine steinerne Treppe, die nebst Vorhaus von ziegelsteinernen Wänden eingeschlossen ist und auf die zweite Etage, sowie auf den Turm- und Bodenraum hinaufführt.

Auf dem oberen Stockwerk sind die Wohnungen für die Angestellten. Die Wohnung rechts ist das gemeinsame Quartier für zwei Beobachterinnen und besteht aus einem grossen Saal, einem Speisezimmer, einem in zwei Teile trennbaren Schlafzimmer, einer Küche und einem Badezimmer.

Die Wohnung links enthält 2 geräumige Zimmer nebst Küche und ist für einen Mechanikergehülfen bestimmt.

Im Laboratorium sind beim Bau zwei grosse niedrige Steinpfeiler errichtet, die mit ihrem Fundament tief in die Erde gehen, welche für verschiedene Untersuchungen von Seismographen bestimmt sind. Ausserdem besitzt es noch zwei Wandkonsolen. Eine innere Ansicht des Laboratoriums zeigt Fig. 16 und von dem Kabinet zur Bearbeitung der Seismogramme Fig. 17.

Der ganze Bau hat eine Zentralwarmwasserheizung und eine Wasserleitung. Der Ofen befindet sich mit dem Wasserkessel unten im Keller und bedient von dort aus das System von den Warmwasserbatterien in allen Räumlichkeiten des Gebäudes.

In demselben Keller hat auch die Hebevorrichtung der Wasserleitung ihren Platz, mit deren Hülfe man durch komprimierte Luft die ganze Einrichtung mit Wasser versorgt.

Nicht nur die Laboratoriumsräumlichkeiten und die mechanische Werkstatt, sondern auch alle Wohnungen sind auf Kosten der Seismologischen Kommission möbeliert worden.

Als beständige Bewohner dieses Hauses sind zwei Beobachterinnen, welche die physiko-mathematische Abteilung der Höheren Frauenkurse in St.-Petersburg und einen speziellen Kursus für Seismometrie nach den Vorlesungen vom Fürsten B. Golicyn nebst einem seismometrischen Praktikum beendet haben, ferner ein Mechanikergehülfe und ein Diener.

Fürs erste besitzt das Wohnhaus keine elektrische Beleuchtung und man behilft sich mit Petroleumlicht.

Mit dem Bau einer eigenen elektrischen Zentrale wird diesem Uebelstande ein Ende gemacht.

Die meteorologische Station.

Zur seismischen Station gehört noch eine meteorologische mit zwei englischen Hütten, die eine für Thermometer und Hygrometer, die andere für einen Thermographen und Hygrographen.

Es ist eine bekannte Tatsache, dass zwischen den meteorologischen Faktoren und seismischen Erscheinungen ein gewisser Zusammenhang besteht. Für die mikroseismischen Bewegungen ist dieser Zusammenhang schon als erwiesen zu betrachten. Es musste daher diesem Umstande die nötige Aufmerksamkeit zugewandt werden.

Als allerwichtigstes Element der Meteorologie kommt wohl die bewegte Luft in Betracht, daher wurde die Station mit einem selbstregistrierenden Anemographen versehen, es ist dieses das elektrisch registrierende Anemometer nach Sprung-Fuess, welches sowohl die Windstärke, als auch Richtung fortlaufend zu registrieren gestattet.

Das Schalenkreuz nebst Flüger ist auf einer Ecke des Türmchens über dem Wohnhause montiert und sendet von dort die entsprechenden Angaben durch die Leitungen ins Laboratorium zu dem Uhrmechanismus, der an einer Wand des Laboratoriums aufgehängt ist und die nötigen Kontakte auf einem Papierbande aufzeichnet (siehe Fig. 16, die Uhr an der Wand zwischen den Fenstern).

Von anderen meteorologischen Instrumenten sind nur wenige Eigentum der seismischen Station. Es gehören zu diesen ein Augustsches Psychrometer, ein Maximum- und ein Minimumthermometer und 2 Haarhygrometer.

Das Quecksilberbarometer und die selbstregistrierenden Apparate sind fürs erste aus dem Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften geliehen. Es gehören zu ihnen: ein Richard'scher Barograph, Thermograph, Hygrograph und ein Widerstandsthermograph der Firma Hartmann & Braun.

In der grösseren Hütte haben der Hygrograph und das Widerstandsthermometer Aufstellung gefunden. Vom letzteren gehen Leitungen in das Laboratorium, wo auf einer Wandkonsole der Registrierapparat aufgestellt ist, der mittelst eines Silberstiftes nach je 45 Sek. auf dem Registrierpapier eine Spur hinterlässt (siehe Fig. 16, rechts neben dem Schrank die Wandkonsole).

Der Richard'sche Thermograph dient zur Temperaturregistrierung auf der unterirdischen Station und wird nur selten benutzt, wo eine Temperaturuntersuchung als notwendig erscheint.

Mit der Zeit soll noch ein Temperaturregistrierapparat zur Untersuchung von Bodentemperaturen in bestimmter Tiefe eingerichtet werden.

Der Zweck dieser meteorologischen Station ist nicht der, um nach Art und Weise der gewöhnlichen meteorologischen Stationen Material für meteorologische Berichte zu sammeln, besonders noch, wo in St.-Petersburg und Pavlovsk gut eingerichtete meteorologische Stationen vorhanden sind.

Es erfolgen die Ablesungen nicht 3 Mal täglich, sondern nur 2 Mal, nämlich um 8 Uhr morgens und 8 Uhr abends, vor dem Papierwechsel auf der seismischen Station.

Die Ablesungen verwertet man dazu, um die Korrektionen der selbstregistrierenden Instrumente zu bestimmen.

Aus den Aufzeichnungen der selbstregistrierenden Apparate werden Stundenmittel abgeleitet und Tabellen für 24 Stunden geführt, wo man dann die Tagesmittel bilden kann.

Die Zeit wird auch hierbei auf Greenwich bezogen, um nach Bedarf eine übersichtlichere Zusammenstellung mit den seismischen Daten zu erzielen.

Die Empfindlichkeit der Pulkovoer Seismographen.

Der Laie stellt sich gewöhnlich unter der Empfindlichkeit eines Seismographen eine ganz konstante Grösse vor, in dem Sinne, dass ein Seismograph auf alle Wellenperioden der Erdbewegung mit gleichbleibender Empfindlichkeit reagiert. In der Tat ist es bis heutzutage aber noch nicht gelungen, einen derartigen Seismographen zu konstruieren. Die Empfindlichkeit eines jeden Seismographen, welchen Systems derselbe auch sein mag, ist immer eine Funktion der Wellenperiode der Bodenbewegung.

Ein bedeutender Fortschritt in der Richtung, um diese Empfindlichkeit in einem grösseren Messbereich mehr konstant zu machen, gebührt in der Tat der Anwendung einer starken Dämpfung bis zur Aperiodizitätsgrenze und der galvanometrischen Registriermethode, wobei man durch Wahl längerer Perioden dieser Apparate beträchtliche Vorteile erzielen kann.

Die Wahl sehr langer Pendelperioden führt aber den üblen Umstand herbei, dass diese Apparate sehr unstabil werden und sehr leicht ihre Ruhelage verändern, sowie auch ihre Schwingungsperiode mit der Zeit allmählig verkürzen.

Als zweiter Nachteil kommt hierbei noch hinzu, dass gerade viele störende Bewegungen nicht seismischen Ursprungs eine sehr lange Periode besitzen; infolgedessen würden diese Bewegungen bei Wahl einer hohen Empfindlichkeit viel zu gross ausfallen und die Übersichtlichkeit der Registrierungen, sowie Bearbeitung der Erdbeben sehr beeinträchtigen.

Ich lasse hier eine Tabelle der Vergrösserungsverhältnisse der Pulkovoer Seismographen folgen, die mehr oder weniger einem idealen Falle entsprechen, da sie aus abgerundeten Konstanten hervorgegangen sind.

Bedeuten:

x_m — die Verschiebung eines Bodenteilchens von seiner Ruhelage bei sinusartiger Schwingung,

y_m — den entsprechenden Ausschlag auf dem Registrierpapier,

so ist $\frac{y_m}{x_m}$ das Vergrösserungsverhältnis. x_m und y_m sind durch folgende Beziehungen mit einander verknüpft:

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

für die mechanische und rein optische Registrierung, wenn bei der ersteren die Reibung vernachlässigt wird, und

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

für die galvanometrische Registrierung, wo C_1 eine instrumentelle Konstante ist und folgende Bedeutung hat:

$$C_1 = \frac{\pi l}{KA_1}.$$

Bezeichnen:

T — die volle Schwingungsdauer des Pendels,

T_1 — die des Galvanometers,

T_p — die volle Periode einer Erdbebenwelle,

so ist:

$$u = \frac{T_p}{T}$$

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

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

μ^2 ist eine für jeden Seismographen charakteristische Dämpfungskonstante. l bedeutet die Pendellänge, L und A_1 gewisse Längen und k den Übertragungsfaktor der galvanometrischen Registriermethode.

Wird zur Verkürzung

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

gesetzt, so ist das Vergrösserungsverhältnis für die mechanische Registrierung mit Vernachlässigung der Reibung

$$\mathfrak{V} = \frac{y_m}{x_m} = \frac{L}{l} \cdot \frac{1}{U}$$

und für die galvanometrische Registriermethode

$$\mathfrak{V} = \frac{y_m}{x_m} = \frac{T_p}{C_1 (1 + u_1^2)\, U}.$$

Für die Grenze der Aperiodizität ist $\mu^2 = 0$, und wird dabei noch $T = T_1$ gesetzt, so wird

$$\mathfrak{V} = \frac{T_p}{C_1 (1 + u^2)^2} = \frac{T}{C_1} \cdot \frac{u}{(1 + u^2)^2}.$$

In der folgenden Tabelle sind nun die Werte dieses Vergrösserungsverhältnisses für die Pulkovoer Seismographen für Wellenperioden von 1^s bis 40^s zusammengestellt.

Für die beiden galvanometrisch registrierenden Gruppen ist überall die Annahme gemacht, dass $T = T_1$ und $\mu^2 = 0$ ist.

Es sind folgende Konstanten zugrunde gelegt:

	Horizontal-Komponenten.		Vertikal-Komponenten.		Mechan. Registr.
T	$13^s,5$	$25^s,0$	$13^s,5$	$13^s,5$	$T = 20^s,0$
T_1	$13^s,5$	$25^s,0$	$13^s,5$	$13^s,5$	$\frac{L}{l} = 50$
l	$124,0\,^m/_m$	$124,0\,^m/_m$	$400,0\,^m/_m$	$400,0\,^m/_m$	$\mu^2 = 0,80$
k	100,0	20,0	285,0	100,0	
A_1	$1333\,^m/_m$	$1333\,^m/_m$	$1333\,^m/_m$	$1333\,^m/_m$	
μ^2	0	0	0	0	
$\lg C_1$	$\bar{3},4657$	$\bar{2},1647$	$\bar{3},5195$	$\bar{3},9744$	

V.

T_p	Horizontal-Komp.		Vertikal-Komp.			Mechan. Reg.
1^s	339	68	299	105		50
2	656	135	579	203		50
3	933	200	824	289		51
4	1158	260	1022	359		51
5	1324	317	1170	411		52
6	1433	367	1266	444		53
7	1487	412	1314	461		54
8	1499	451	1324	465		55
9	1476	483	1303	457		56
10	1426	509	1260	442		57
11	1360	529	1201	421		59
12	1281	543	1132	397		60
13	1198	551	1058	371		61
14	1113	555	983	345		62
15	1029	555	909	319		62
16	947	551	837	294		62
17	871	544	769	270		62
18	799	534	706	248		60
19	733	523	647	227		58
20	671	509	593	208		56
21	614	494	543	190		53
22	563	478	497	175		50
23	517	462	456	160		46
24	474	445	419	147		43
25	436	428	385	135		40
26	401	411	354	124		37
27	370	394	327	115		34
28	341	377	301	106		32
29	315	361	278	98		29
30	291	345	257	90		27
31	270	330	238	84		25
32	250	315	221	78		24
33	232	300	205	72		22
34	216	287	191	67		21
35	201	273	177	62		19
36	187	261	165	58		18
37	175	249	154	54		17
38	163	237	144	51		16
39	153	227	135	47		15
40	143	216	126	44		14

Diese Werte werden bei der Bearbeitung von Seismogrammen selbstverständlich nicht benutzt, sie sollen nur eine Übersicht über die Empfindlichkeit der Seismographen bieten.

Aus ihnen geht hervor, dass für die Pendel mit $T = 13^s,5$ die Empfindlichkeit für kürzere Wellenperioden eine beträchtliche ist, wobei bei ca. 8^s das Maximum erreicht ist. Aber auch für ganz kurze Perioden ist die Empfindlichkeit noch sehr hoch.

Für die Gruppe mit $T = 25^s,0$ ist natürlich die Empfindlichkeit konstanter.

Das Maximum liegt hier etwa zwischen 14^s und 15^s. Zwischen den Perioden 25^s und 26^s aber werden die Pendel mit 25^s Schwingungsdauer schon empfindlicher, als die mit $13^s,5$, obgleich bei den letzteren der galvanometrische Übertragungsfaktor 5 mal grösser ist. Für kurze Wellenperioden ist der Einfluss der Schwingungsdauer der Apparate nur sehr gering.

In der Tat hat man bei der Wahl einer kürzeren Schwingungsdauer den sehr bedeutenden Vorteil, dass der Einfluss der Windstörungen, die bei geschützten Apparaten fast durchweg auf einer Saugwirkung beruht, verkleinert wird.

Diese Störungen, die für gewöhnlich mit langen Perioden von statten gehen, würden bei der Wahl eines hohen k bei 25^s Schwingungsdauer an windigen Tagen ein unerträgliches Bild liefern nnd das Studium der Maximalphase eines Bebens fast unmöglich machen.

Für die Bestimmung des Anfanges der langen Wellen eines Bebens wäre sicherlich ein grosses T und hohes k von grossem Wert, für die ersten beiden Vorphasen ist aber ein kürzeres T vollständig ausreichend.

Zieht man nun die $\mathfrak{B}$ näher in Betracht, die in der Umgebung von $T_p = 20^s$ liegen, eine Wellenperiode, die sehr oft in der Hauptphase eines Bebens vorzukommen pflegt, so erkennt man, dass diese Apparate bei den stärksten Beben, wie das Messina-Beben vom Jahre 1908 und das Semirječje-Beben vom Jahre 1910, wo in Pulkovo beim ersteren die doppelte Verschiebung eines Bodenteilchens ca. $1^m/_m$ und beim letzteren ca. $4^m/_m$ betrug, auch im günstigsten Fall, wenn der Lichtpunkt in die Mitte des Papieres fällt, aus der Skala kommen (Breite des Papieres $300^m/_m$).

Die Breite des Papieres für mechanische Registrierung beträgt $230^m/_m$, also würden auch die mechanisch registrierenden Pendel bei Beben von der Grössenordnung des Semirječje-Bebens leicht aus der Skala kommen.

Wenn man aber bedenkt, dass derartige Beben gewöhnlich erst nach einigen Jahren einmal wiederkehren, so wird diese Störung durch die allzugrosse Empfindlichkeit der Seismographen nur höchst selten sich fühlbar machen.

Ein anderer Umstand könnte vielleicht von grösserem Interesse sein. Wie sich auf der neuen Station herausgestellt hat, pflegen in Pulkovo auch Nahbeben vorzukommen, die natürlich nicht besonders stark sind, aber durch die empfindlichsten Apparate doch angezeigt werden.

Die Schwingungsperiode der Bodenteilchen bei diesen Beben schwankt zwischen $0{,}5^s$ und 2^s.

In diesen Fällen würden sicherlich mechanisch registrierende Pendel mit einer Periode von $T =$ ca. 2^s und einem Vergrösserungsverhältnis $\mathfrak{V} =$ ca. 2000 gute Dienste leisten.

Die Bedienung der Apparate und Bearbeitung des Beobachtungsmaterials.

Die Tätigkeit auf der neuen Station begann bereits seit dem 1. Dez. 1911, wo die Gruppe der Seismographen mit höchster Empfindlichkeit aufgestellt wurde. Die ersten Registrierungen geschahen auf zwei Trommeln, die beiden horizontalen Komponenten auf der einen und die Vertikalkomponente allein auf der anderen. Nach drei Wochen wurden auch alle übrigen Apparate montiert und die Registrierungen auf drei getrennten Registrierapparaten in der oben angegebenen Weise fortgesetzt.

Die offizielle Eröffnung der neuen Station fand am 31. Dezember statt, wobei die Mitglieder der Permanenten Seismologischen Kommission bei der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, die Angestellten des Pulkovoer Observatoriums und andere Gäste zugegen waren.

In der ersten Zeit arbeitete die alte Station noch parallel mit der neuen, mit Ausnahme des Vertikalseismographen, welcher für die neue Station für kleinere Empfindlichkeit eingerichtet wurde.

Die alten Horizontalpendel für galvanometrische Registrierung funktionierten auf der alten Station bis zum 9. März.

Es wurden für einige Beben die Angaben beider Stationen für die Verschiebung eines Bodenteilchens bei sinusartigem Charakter der Bodenbewegung miteinander verglichen, wobei sich eine gute Übereinstimmung der Werte ergab.

Die erste Vorphase mit kurzen Wellenperioden scheint aber in der Tat auf der neuen Station viel stärker zum Ausdruck zu kommen, als auf der alten, indem hier $k = 20$ fast dasselbe gibt, wie dort $k = 50$, ein Umstand, der vielleicht auf den schädlichen Einfluss der Pfeiler auf der alten Station zurückzuführen ist.

Vom 9. März ab konzentriert sich die Tätigkeit einzig und allein auf die neue Station.

Die Konstantenbestimmung der Seismographen geschah in der ersten Zeit etwa nach je 2—3 Wochen, später monatlich einmal. Es stellte sich dabei heraus, dass eine so oft vorgenommene Beunruhigung der Apparate als ganz überflüssig erscheint, da nur sehr geringe Änderungen vorzukommen pflegen.

Die Schwingungsperioden der Pendel, über deren Abnahme mit der Zeit vielfach geklagt wird, änderten sich fast überhaupt nicht.

Auch die Grenze der Aperiodizität hielt sich sehr gut und war nur im ersten Anfang geringen Variationen unterworfen.

Mit Rücksicht darauf kann man wohl sicher sein, dass im weiteren Verlauf eine Verifikation der Konstanten nach je 2 bis 3 Monaten mehr als genügend ist.

Die tägliche Bedienung der Apparate geschieht in folgender Weise.

Um 8 Uhr Morgens und 8 Abends werden zunächst jedesmal die meteorologischen Apparate abgelesen und bei den selbstregistrierenden einmal täglich das Papier gewechselt. Wie schon erwähnt, wird für die photographisch registrierenden Seismographen 2 mal täglich das Papier[1]) gewechselt, während nur die Registrierapparate für mechanische Registrierung 24 Stunden laufen.

Der Papierwechsel wird $8^1/_2$ Uhr Morgens und Abends vorgenommen (mittlere Pulkovoer Zeit).

Man wartet eine volle Minute ab und schliesst paar Sekunden nach der Minutenunterbrechung den Strom in den Schirmmagneten auf eine halbe Minute, worauf man die Minute vor der Linienunterbrechung im Journal als Endmoment auf dem Seismogramm notiert.

Darauf betritt man den Registrierraum, schiebt Schirme vor die Registriertrommeln, damit beim Abnehmen der Papiere kein Nebenlicht drauffällt, nimmt die Papiere ab und notiert auf jedem Blatt auf der Rückseite die Komponente, die laufende №, aus dem Journal die Zeit des Anlassens, sowie Abnehmens und das Datum, wobei noch «Morgens» oder «Abends» speziell durch den ersten Buchstaben angedeutet wird.

Nach dem Verstecken der Papiere schaltet man einen Augenblick die Galvanometer für die Vertikalseismographen aus, betritt den Pendelraum und verifiziert die Ruhelage der Pendel. Ein Wandern der Nulllage tritt gewöhnlich zuweilen nur bei den Vertikalseismographen auf.

Darauf schaltet man die Galvanometer wiederum ein, zieht die Uhrmechanismen auf, verifiziert die Lichtpunkte und überzieht die Trommeln

---

[1]) Das Papier wird von der Firma Warnercke & K° in St.-Petersburg für 45 Kop. pro Blatt geliefert.

mit einem frischen Blatt. Jetzt werden die Schirme hinweg geschoben und man schreitet zu der Kontaktuhr, um den Anfang des Seismogrammes zu kennzeichnen.

Hierbei vollführt man folgendermaassen künstliche Unterbrechungen. Auf der 25. Sekunde wird der Strom geschlossen, auf der 35. geöffnet, auf der 40. wieder geschlossen und auf der 50. endgiltig geöffnet, worauf man die folgende volle Minute im Journal als Anfang des Seismogramms einträgt.

Des Morgens wird ausserdem der Papierwechsel auf den mechanisch registrierenden Trommeln besorgt.

Jeden Morgen geschieht auch die Bestimmung der Korrektion der Kontaktuhr. Man benutzt hierbei ein Chronometer, mit dem man die Kontaktuhr vergleicht. Sofort begibt man sich dann in das Hauptobservatorium und vergleicht das Chronometer mit einer Uhr der Sternwarte, für welche astronomisch die Korrektionen bestimmt werden.

Alle diese Angaben werden im Journal eingetragen und aus ihnen wird für jedes Datum die Korrektion der Kontaktuhr abgeleitet.

Das Entwickeln wird für gewöhnlich nur einmal täglich, jeden Abend, vorgenommen, wobei der Amidolentwickler üblich ist.

Nur in Ausnahmefällen, wo durch die mechanische Registrierung ein Beben angezeigt wird, wird auch des Morgens entwickelt.

Die Papiere, die die Nacht über getrocknet haben, werden am Tage darauf gleich bearbeitet.

Zur Messung bedient man sich hierbei zweier Millimeternetztafeln auf Glas, — die eine für gewöhnliche Beben, die andere für mikroseismische Bewegungen, — mit deren Hilfe man alle Momente, Perioden der Wellen, sowie ihre Amplituden ausmisst.

Die Auswertung dieser Grössen, nämlich die Berechnung der Verschiebung eines Punktes der Erdoberfläche, sowie die Korrektion der Momente auf die Verspätung der Instrumente würde unter direkter Benutzung der «Seismometrischen Tabellen»[1]) eine sehr mühsame und zeitraubende Arbeit sein, besonders wenn grössere Beben mit regelmässigen Maximen vorliegen, deren genauere Auswertung gewisses Interesse besitzt.

Um diese Berechnungen zu verkürzen, bedient man sich daher noch bestimmter Hülfstabellen, die jedesmal nach den Konstantenbestimmungen auf Grund der «Seismometrischen Tabellen» von neuem zusammengestellt werden.

---

[1]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. IV, Livr. 1.

Bekanntlich gilt für eine halbe Amplitude der Bodenbewegung bei sinusartiger Schwingung der Teilchen für die galvanometrische Registriermethode folgende Formel

$$x_m = C_1(1 + u_1^2)\, U \cdot \frac{y_m}{T_p}.$$

Die Ausdrücke $(1 + u_1^2)$ und U sind in den «Seismometrischen Tabellen» gegeben.

Indem man

$$K = C_1(1 + u_1^2)\, U \cdot \frac{1}{T_p}$$

setzt, berechnet man diesen Wert für jeden einzelnen Seismographen von $T_p = 1^s$ bis 40^s für jede Sekunde und führt Tabellen, aus denen durch Interpolation die jeder Wellenperiode entsprechende Funktion K entnommen wird.

Die Berechnung des Produktes

$$x_m = K.y_m$$

ist mit Hilfe des Arithmometers eine leichte Sache.

Zur Auswertung der mikroseismischen Bewegungen I Ordnung bedient man sich genau ähnlicher Tabellen, nur dass hier dieselben von 1^s bis 10^s reichen und von Zehntel zu Zehntel Sekunde zusammengestellt sind.

Die Zeitverspätung der Pendel und Galvanometer ist gegeben durch die folgende Summe:

$$\tau + \tau_1 = \frac{T_p}{2\pi} \operatorname{arctg}\left\{h \frac{2u}{u^2 - 1}\right\} + T_p \left\{\frac{1}{2\pi} \operatorname{arctg} \frac{2u_1}{u_1^2 - 1} + \frac{1}{4}\right\}.$$

Für diese Summe werden unter Benutzung der «Seismometrischen Tabellen» gleichfalls Werte für $T_p = 1^s$ bis 40^s berechnet und neben den Grössen K in der Tabelle eingetragen.

Zu bemerken ist, dass die Konstanten der Pulkovoer Seismographen sich so wenig ändern, dass die spätere Korrektion der einmal zusammengestellten Tabellen eine ganz einfache Sache ist.

Die Summe $\tau + \tau_1$ bedarf fast überhaupt keiner Veränderungen, wenn sie einmal berechnet ist.

Das K für die mikroseismischen braucht bisweilen nur für einzelne Werte von T_p von neuem ermittelt zu werden, wo die zwischenliegenden durch Interpolation korrigiert werden können.

Nur das K für die gewöhnlichen Beben muss jedesmal nach der Konstantenbestimmung für jedes T_p von neuem berechnet werden, da hier für grössere Amplituden der Bodenbewegung eine weit grössere Genauigkeit erforderlich ist.

Diese Tabellen reichen natürlich nicht für alle vorkommenden Wellenperioden aus, da auch viel längere T_p als 40^s vorzukommen pflegen.

Jedenfalls sind aber solche langen Perioden sehr selten und in diesen Ausnahmefällen bedient man sich der gewöhnlichen Ausrechnungsmethode.

Eine sehr wichtige Aufgabe in der Seismometrie ist die Bestimmung des Azimuts eines Bebens.

Durch die Arbeiten Fürst B. Golicyn's ist nach den Beobachtungen in den alten Kellerräumen genügend bewiesen worden, dass die Aufsuchung des Epizentrums eines Bebens nach einer einzelnen Station sehr wohl möglich ist.

Daher wird auch immer, wo die erste Vorphase genügend stark und deutlich ausgeprägt ist, in Pulkovo von dieser Methode Gebrauch gemacht, indem man nach dem Azimut und der Entfernung vom Epizentrum die geographischen Koordinaten des Epizentrums berechnet.

In den Fällen, wo die mikroseismischen Bewegungen sehr störend sind, oder die Undeutlichkeit der ersten Vorphase eine Ausmessung unmöglich macht, bedient man sich nur der Schätzung der Richtung zum Epizentrum, wobei man einen Globus und einen Globuszirkel zur Hilfe nimmt.

Derartige Schätzungen können natürlich bisweilen eine gewisse Unsicherheit mit sich bringen, besonders, wenn die erste Vorphase im allgemeinen sehr schwach ausfällt und starke mikroseismische Unruhe herrscht.

Alles Beobachtungsmaterial wird in speziellen Journalen zusammengestellt, aus denen man dann im Laufe der folgenden Woche ein sogenanntes «Wöchentliches Bulletin der Zentralen Seismischen Station» in russischer Sprache zusammensetzt, welches in der Typographie der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg gedruckt und an in- und ausländische Erdbebenstationen, an manche wissenschaftliche Institute, sowie auch an die Mitglieder der Russischen Permanenten Seismologischen Kommission und viele Fachgelehrte versandt wird.

Ein Schema eines derartigen Bulletins ist hier beigefügt.

№

Пулково.
Pulkovo.

Еженедѣльный бюллетень
Wöchentliches Bulletin
центральной сейсмической станціи
der Zentralen Seismischen Station.

$\varphi = 59° 46' 22''$ N. $\lambda = 30° 19' 25''$ E. $h = 65$ m.

Приборы: апериодич. маятники съ гальваном. регистраціей системы кн. Б. Б. Голицына.
Instrumente: Galitzin'sche aperiodische Pendel mit galvanometr. Registrierung.

Объясненіе знаковъ.
Zeichen-Erklärung.

Фазы.
Phasen.

P = первая предварительная фаза. / erster Vorläufer.

S = вторая предварительная фаза. / zweiter Vorläufer.

L = длинныя волны. / lange Wellen.

$M_1, M_2 \ldots$ = послѣдовательные maximum'ы (исправленные на запаздываніе приборовъ) *). / die aufeinander folgenden Maxima (korrigiert auf die Verspätung d. Instrumente).

$C_1, C_2 \ldots$ = послѣдовательные вторичные maximum'ы, слѣдующ. за главн. фазой. / die aufeinander folgenden sekundären Maxima, welche nach der Hauptphase folgen.

F = конецъ. / Ende.

i = рѣзкое наступленіе любой фазы / scharfes Auftreten einer Phase

e = неотчетливое наступленіе фазы / undeutliches Auftreten einer Phase

ставится въ особ. случаяхъ передъ знакомъ фазы, а также какъ самостоятельн. символъ, когда природа фазы не ясна. / wird in extremen Fällen vor das Phasensymbol gesetzt, kann aber, falls die Natur der Phase undeutlich ist, als selbständiges Symbol verwendet werden.

Періоды и амплитуды.
Perioden und Amplituden.

T_p = періодъ = продолжительность полнаго колебанія въ секундахъ. / Periode = Dauer einer Doppelschwingung in Sekunden.

A_n = амплитуда NS — составл. истиннаго смѣщ. почвы въ μ отъ положенія равновѣсія (+ къ N). / Amlitude der NS — Komponente der wahren Bodenbewegung in μ von d. Ruhelage (+ nach N).

A_e = амплитуда EW — составл. истиннаго смѣщ. почвы въ μ отъ положенія равновѣсія (+ къ E). / Amplitude der EW — Komponente der wahren Bodenbewegung in μ von d. Ruhelage (+ nach E).

A_z = амплитуда вертик. сост. истиннаго смѣщ. почвы въ μ отъ положенія равновѣсія (+ къ зениту). / Amplitude der Vertikal-Komponente der wahren Bodenbeweg. in μ von d. Ruhelage (+ nach Zenit).

Δ = эпицентральное разстояніе въ кил. / Epizentralentfernung in Kilom.

Время — среднее гринвичское отъ полуночи до полуночи. / Zeit — mittlere Greenwicher von Mitternacht bis Mitternacht.

μ = микронъ / Mikron $= 0{,}001$ м/м.

*) Моменты maximum'овъ смѣщенія почвы, но не maximum'овъ на сейсмограммѣ. / Die Momente der Maxima der Bodenbewegung, aber nicht der Maxima auf dem Seismogramm.

Дата. Datum.	Фазы. Phasen.	Время. Zeit.	T_p	Амплитуды Amplituden			Δ	Примѣчанія. Bemerkungen.
				A_n	A_e	A_z		

Дата. Datum.	Фазы. Phasen.	Время. Zeit.	T_p	Амплитуды Amplituden			Δ	Примѣчанія. Bemerkungen.
				A_n	A_e	A_z		

Микросейсмическія движенія.

Mikroseismische Bewegungen.

Амплитуда — наибольшая около указаннаго часа; время — съ точностью до четверти часа.
Die grösste Amplitude in der angegebenen Stunde; die Zeit—mit einer Genauigkeit von einer viertel Stunde.

Число. Datum.	Часъ. Stunde.	T_p	A_n	A_e	A_z	Число. Datum.	Часъ. Stunde.	T_p	A_n	A_e	A_z
		0					0				
		6					6				
		12					12				
		18					18				
		0					0				
		6					6				
		12					12				
		18					18				
		0					0				
		6					6				
		12					12				
		18					18				
		0									
		6									
		12									
		18									

Общія замѣчанія.

Allgemeine Bemerkungen.

Die Registrierungen auf der neuen Station haben in der Tat bewiesen, dass die galvanometrische Registriermethode eine grosse Leistungsfähigkeit besitzt.

Die beiden ersten Vorphasen P und S treten sehr oft sogar bei schwächeren Beben mit solcher Schärfe hervor, dass man noch sehr leicht die angenäherten geographischen Koordinaten des Epizentrums, φ und λ, berechnen kann, wo nach vielen anderen Stationen nicht einmal P und S gegeben werden.

Man kann wohl fest behaupten, dass kein einziges Beben etwa mit langen Wellen beginnt, sondern dass alles nur von der Empfindlichkeit der Seismographen abhängt, ob wir zu den langen Wellen den Eintritt der longitudinalen finden, oder nicht.

Etwas anders verhält es sich mit der zweiten Vorphase, die in gewissen Fällen in der Tat sogar bei einigen stärkeren Beben schwach auftritt, sodass die Bestimmung ihrer Eintrittszeit etwas unsicher werden kann.

Derartige Beben kommen aber höchst selten vor.

Selbstverständlich lässt diese Methode noch weit grössere Vervollkommnung zu; fürs erste aber ist die Pulkovoer seismische Station auch so imstande viel mehr zu bieten, als irgend eine andere seismische Station in der Welt.

Ein grosses Interesse bietet in der Tat die Angelegenheit, dass möglichst viele seismische Stationen mit Seismographen gleichen Systems ausgerüstet werden.

In dieser Richtung ist in Russland bereits der Anfang gemacht worden, insofern alle erstklassischen Stationen mit aperiodischen Pendeln für galvanometrische Fernregistrierung ausgestattet werden[1]).

Bereits haben auch einige von diesen die Veröffentlichung eines wöchentlichen Bulletins begonnen.

Noch fehlen auf den meisten Stationen Vertikalseismographen.

In der nächsten Zukunft wird auch diese Lücke ausgefüllt werden und dann können wir auf manches interessante und wertvolle Material für die Seismometrie hoffen.

---

[1]) Siehe: Fürst B. Galitzin (Golicyn). Die neue Organisation des seismischen Dienstes in Russland. L. c.

Fig. 1.

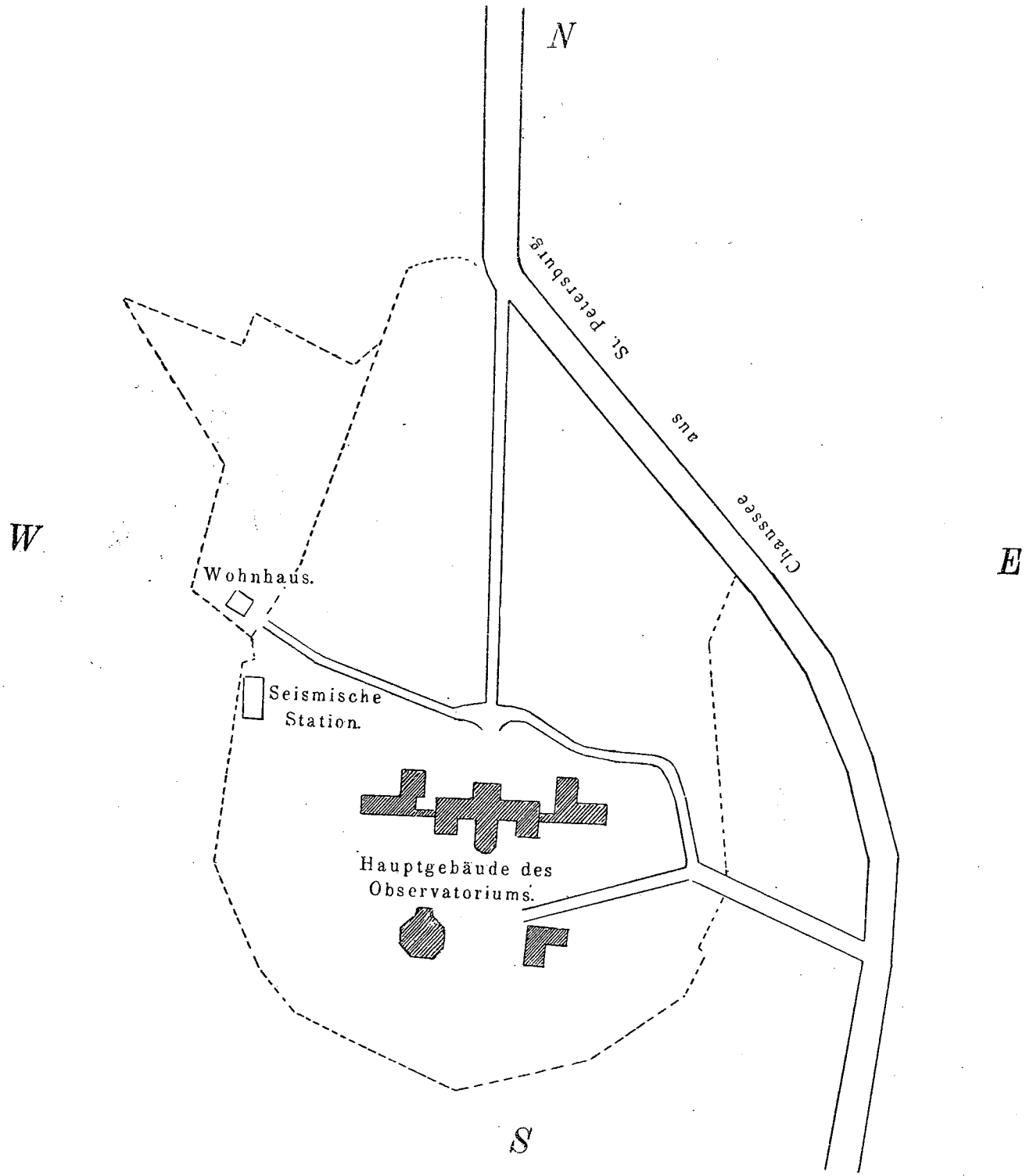
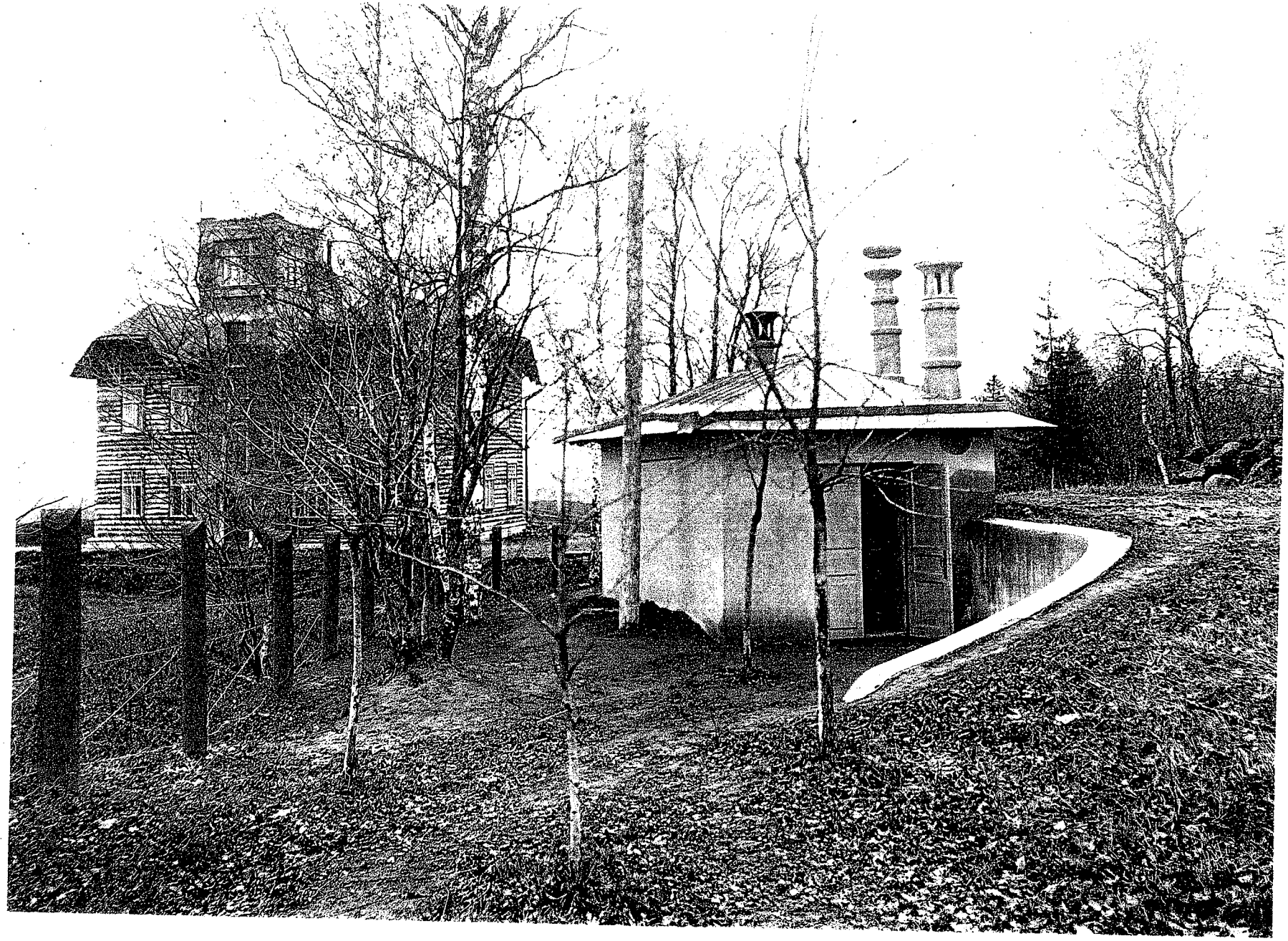

N
W
E
S
St. Petersburg.
aus
Chaussee
Wohnhaus.
Seismische
Station.
Hauptgebäude des
Observatoriums.

Fig. 2.

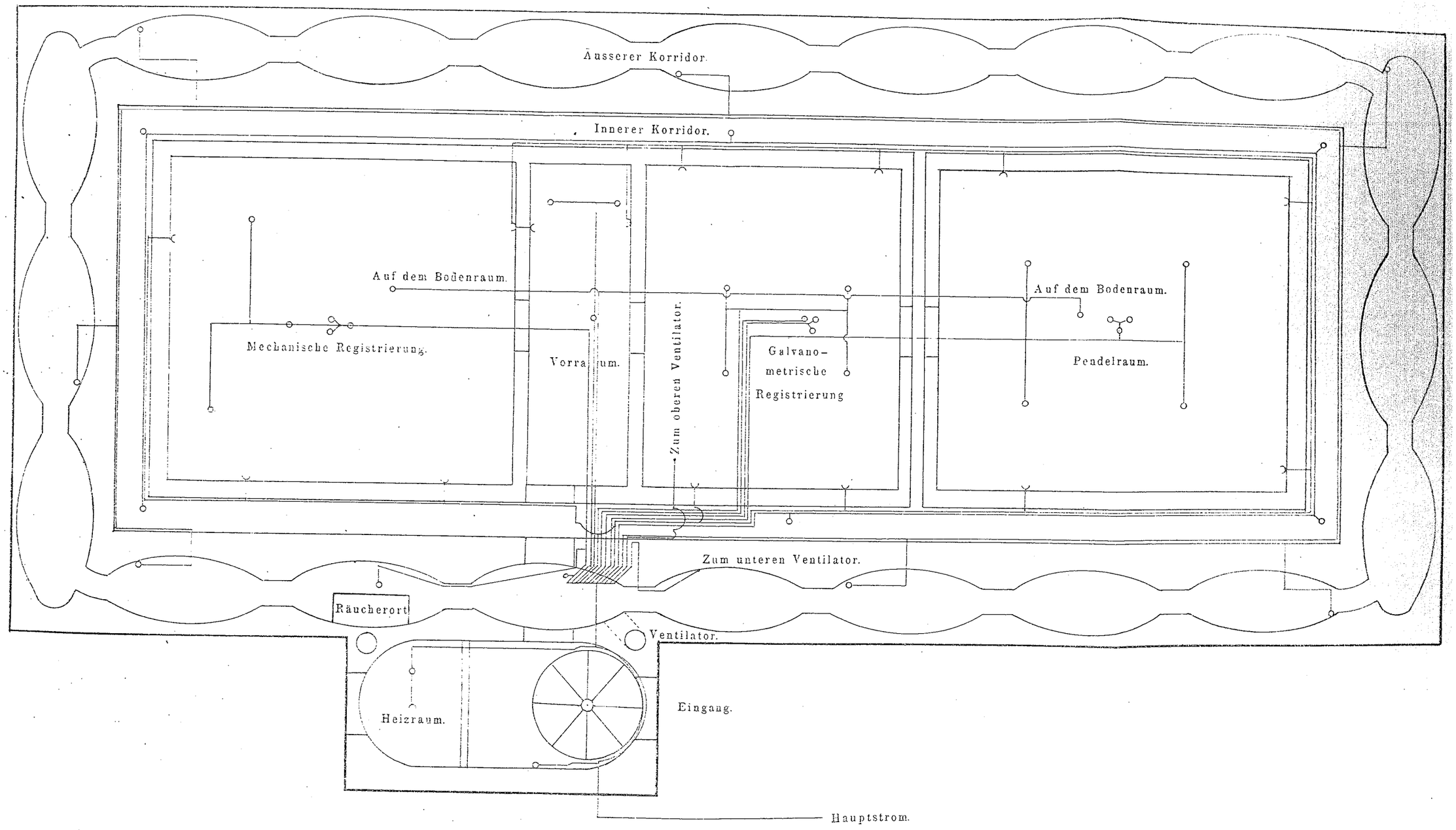


Фототипія В. Класенъ, С. Петербургъ, Кадетская лин. № 1-2

Проект. И. Каминскій.

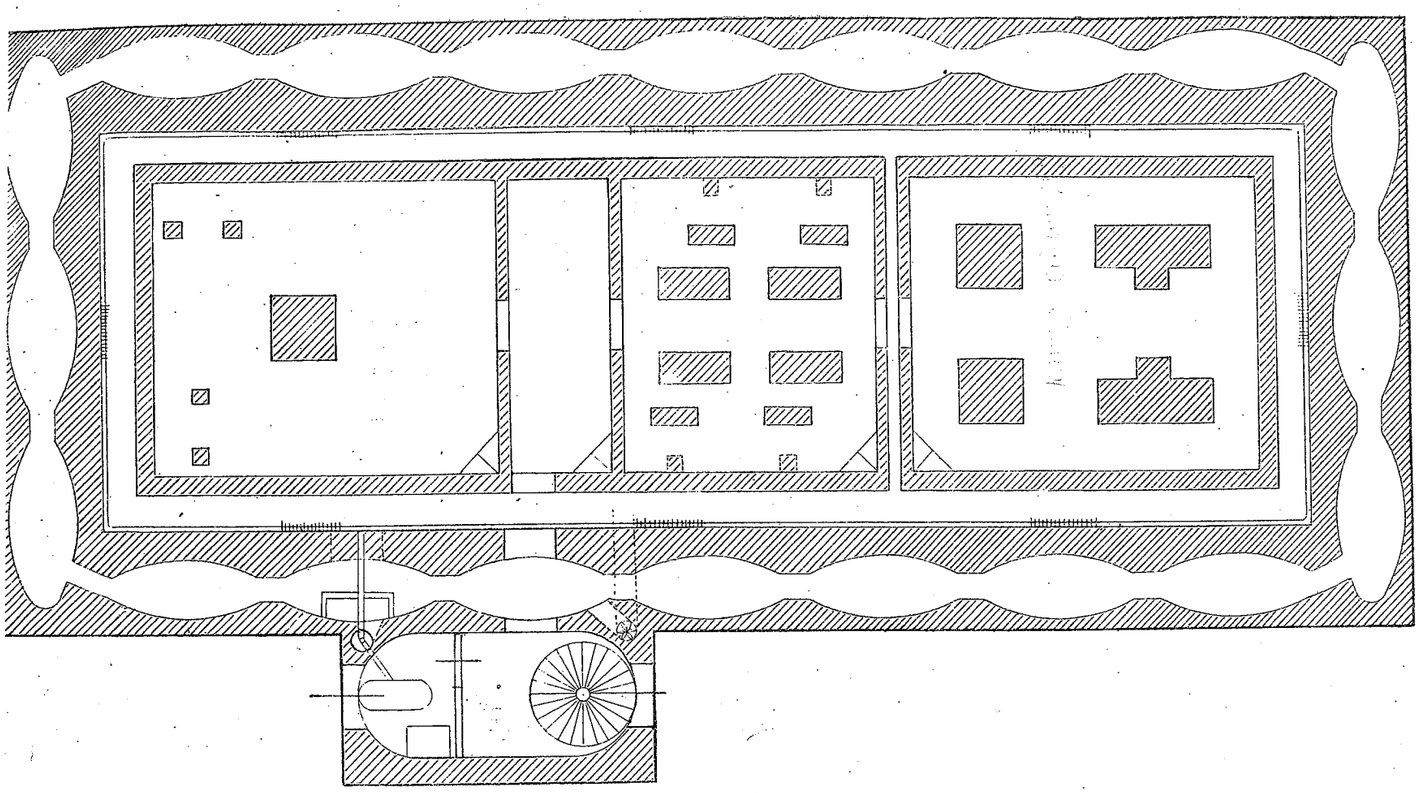
Fig. 4.

Plan der Beleuchtungsanlage im unterirdischen Bau.

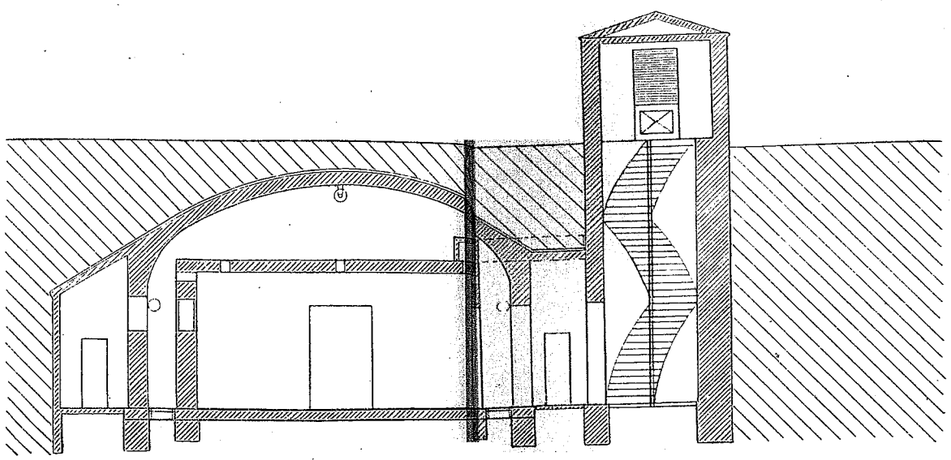


Plan der unterirdischen seismischen Station in Pulkovo.

Grundriss.



Querschnitt.



Längsschnitt.

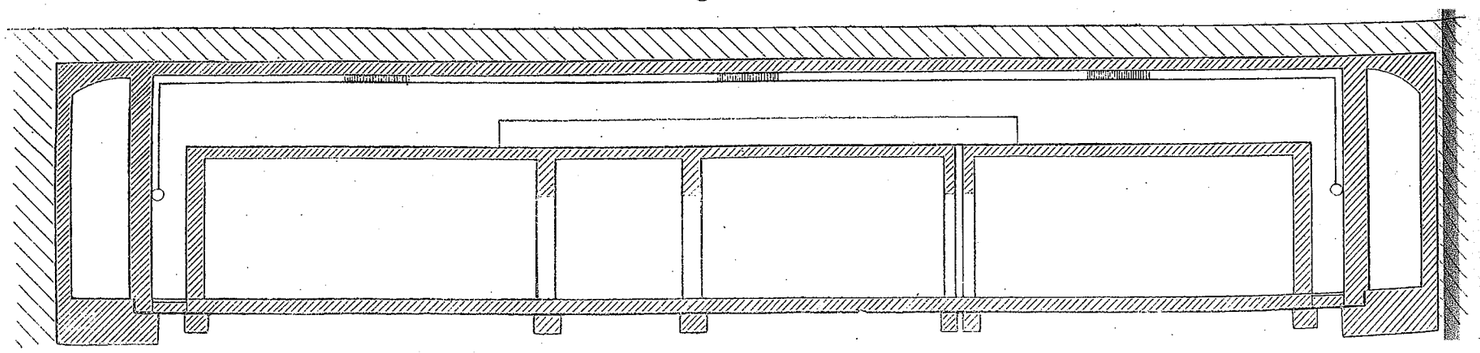


Fig. 5.

Plan der Betonpfeiler und Verbindungsdrähte im unterirdischen Bau.

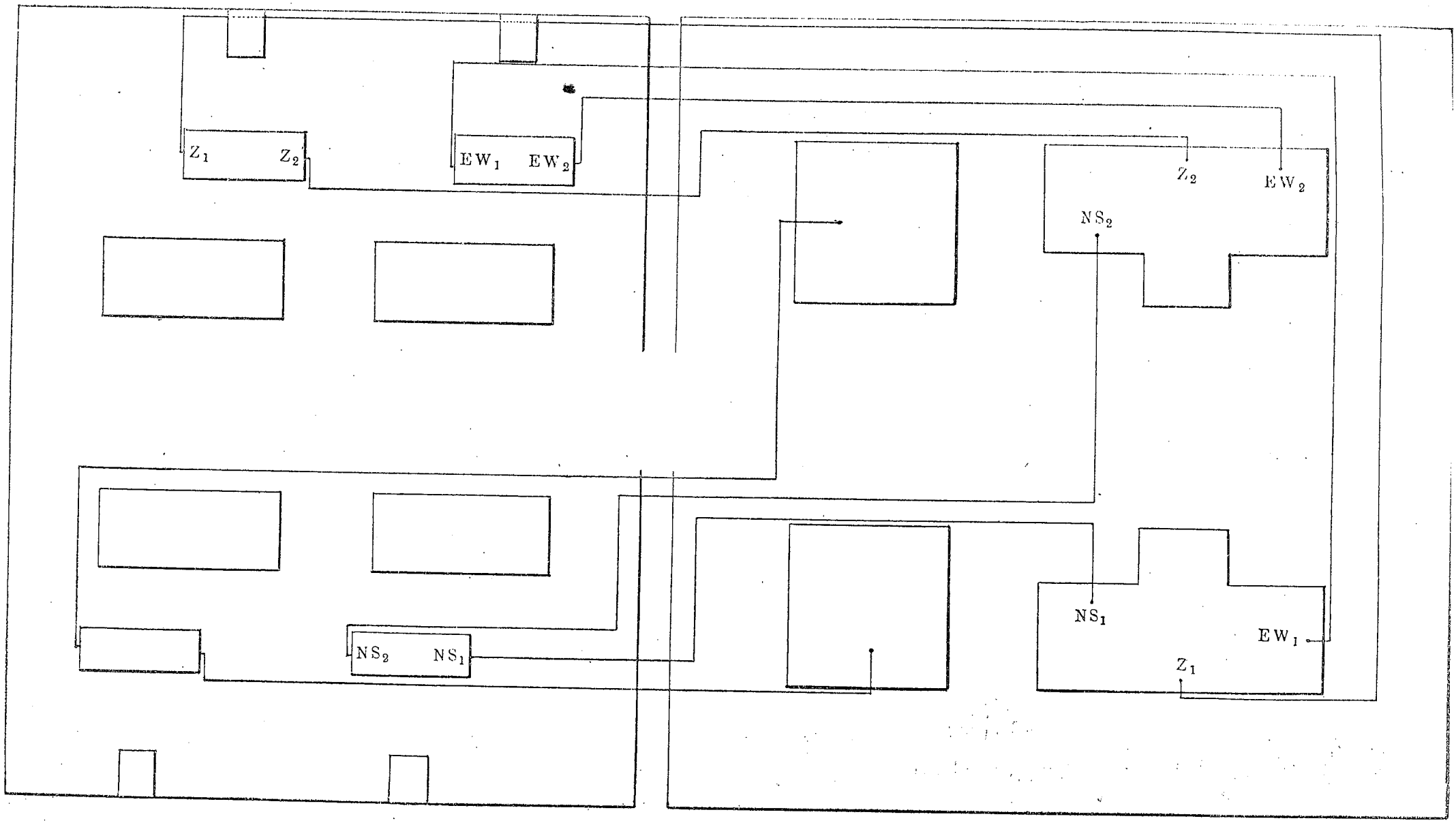


Fig. 6.

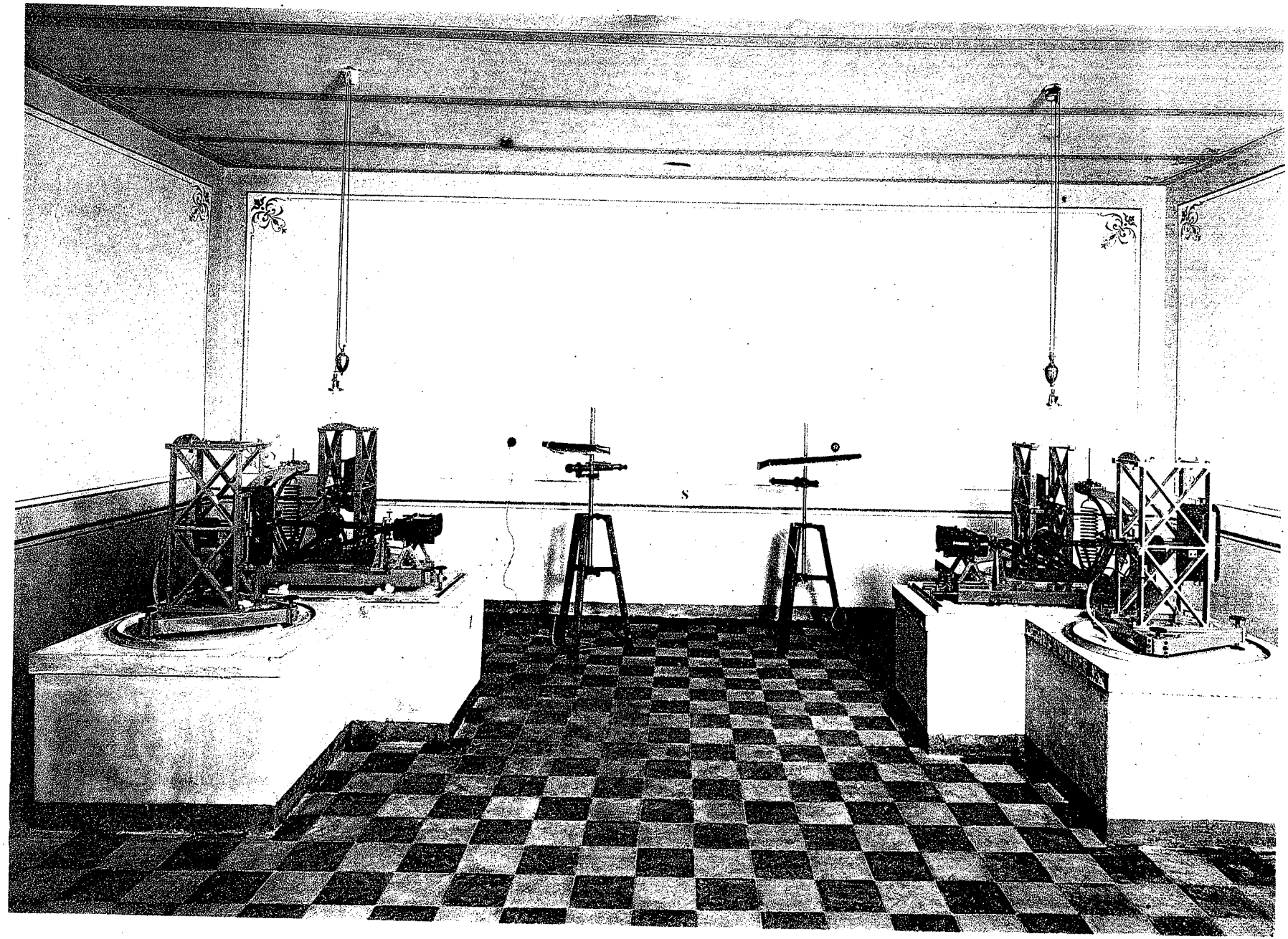
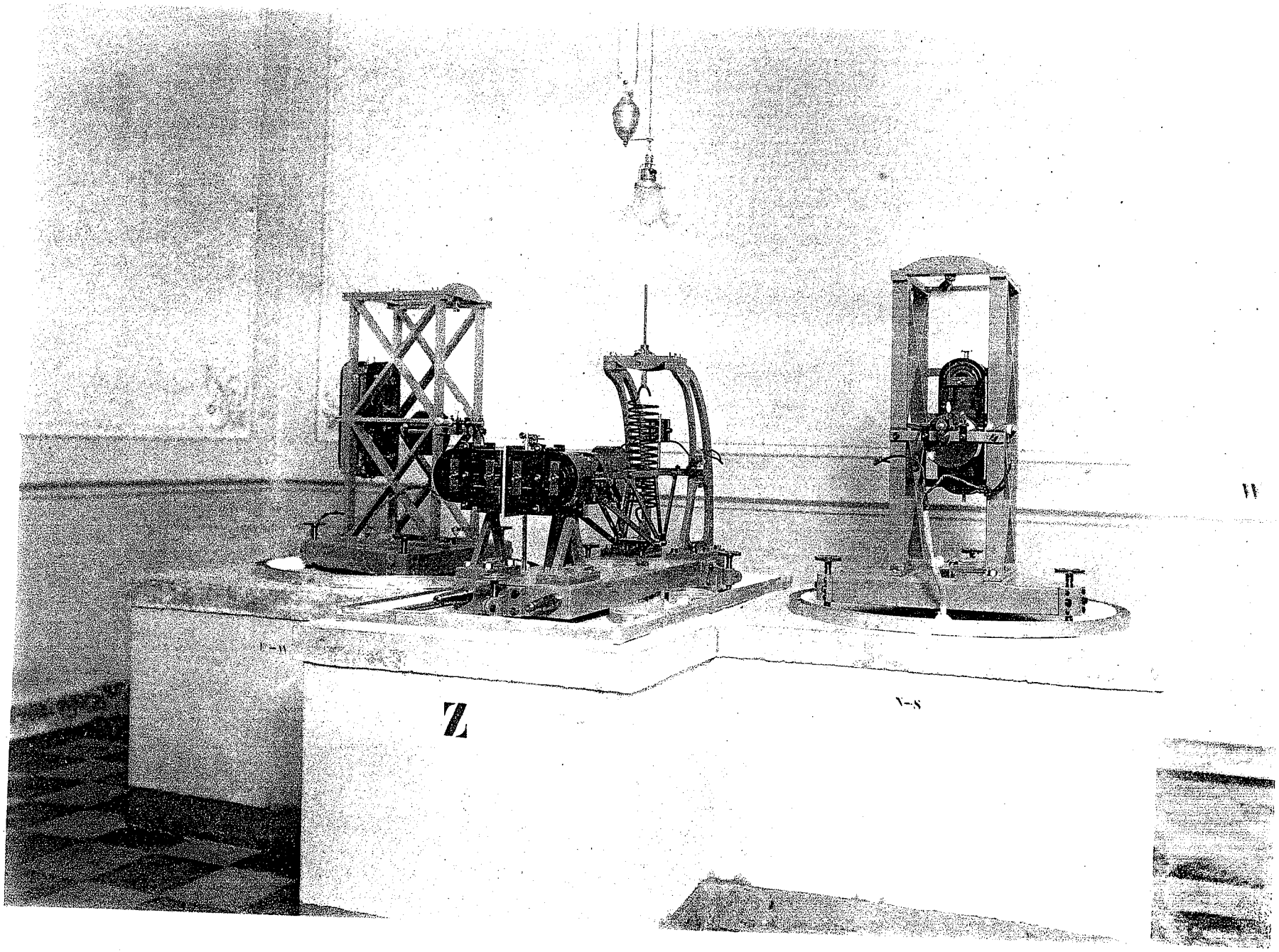


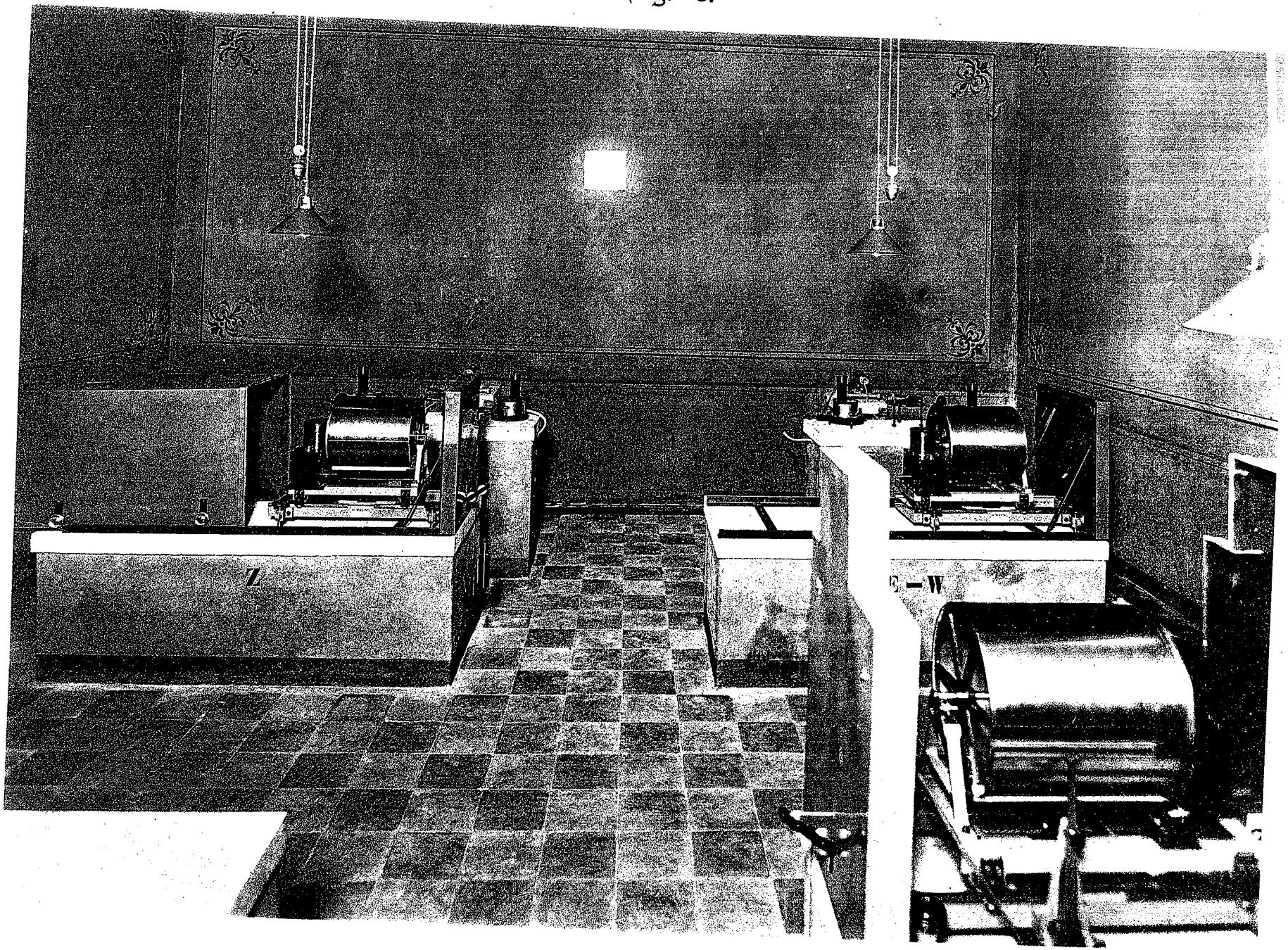
Fig. 7.



Фототипія В. Класенъ, С. Петербургъ, Кадетская лин. № 7-2.

Преемн. Н. Каминскій.

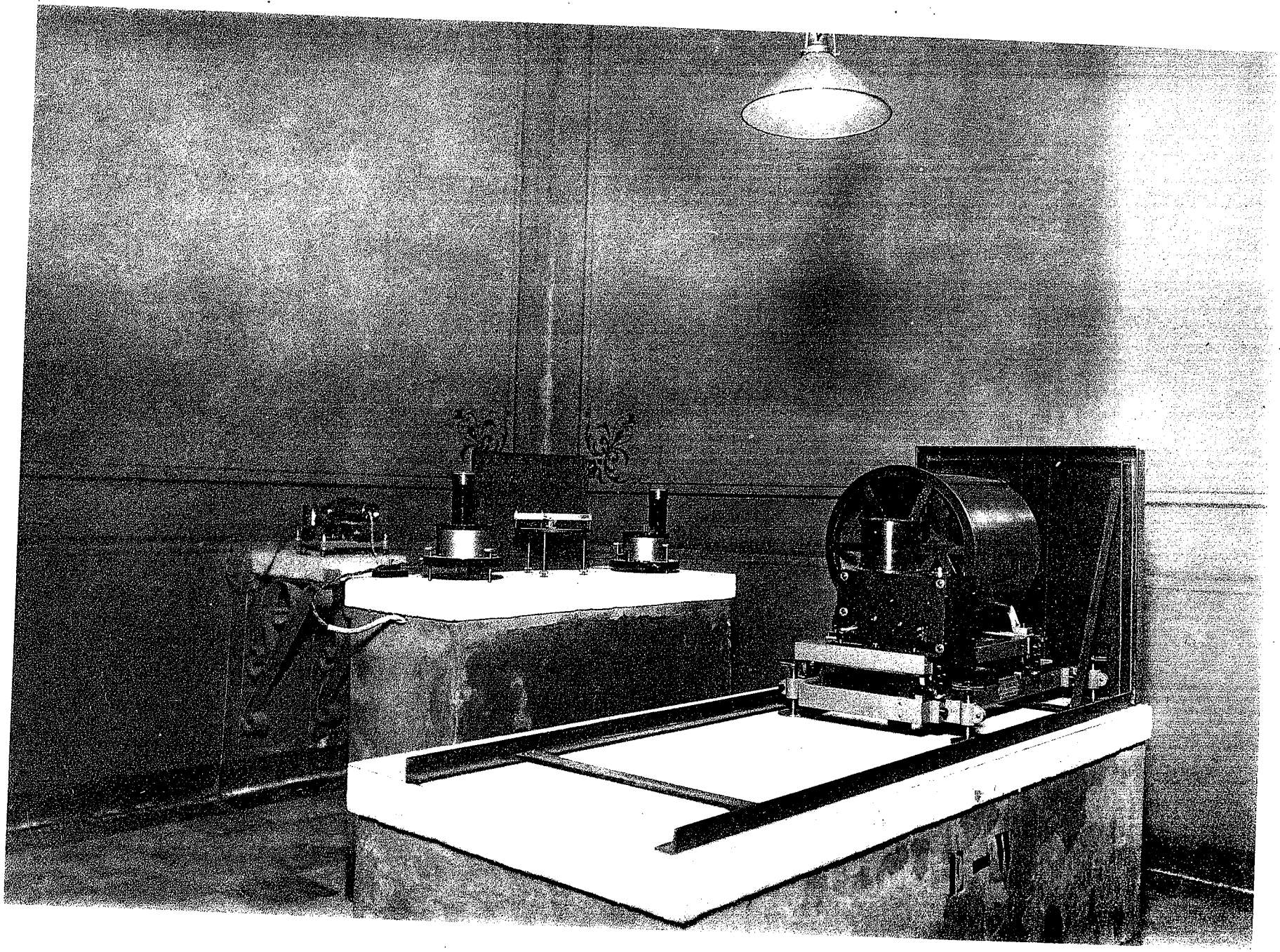
Fig. 8.



Фототипія В. Класенъ, С.Петербургъ, Кадетская лин. № 7–2.

Пресмъ Н. Каминскій.

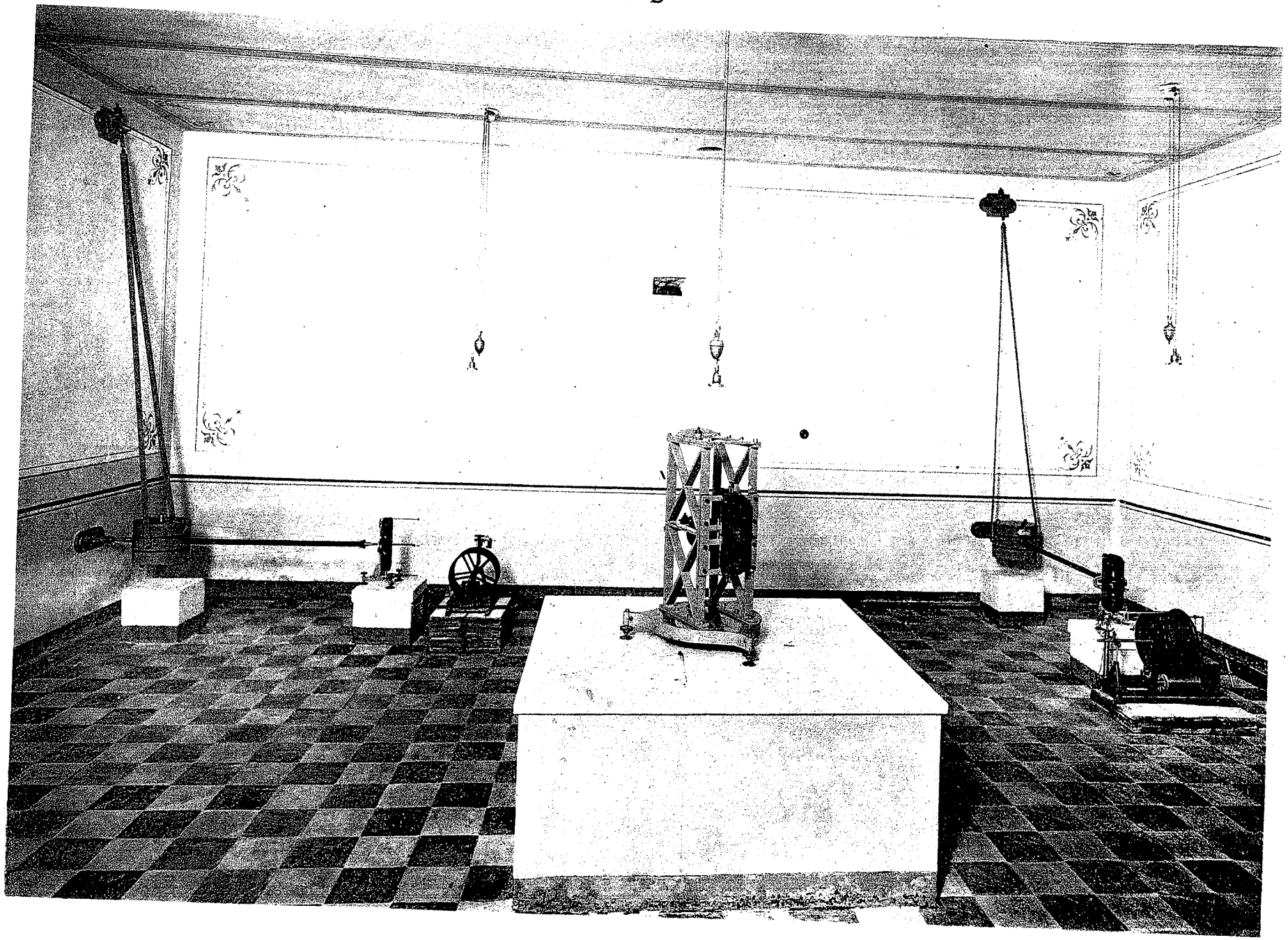
Fig. 9.



Фототипія В. Класенъ. С.-Петербургъ, Кадетская лин. № 7-2.

Преемн. Н. Каминскій.

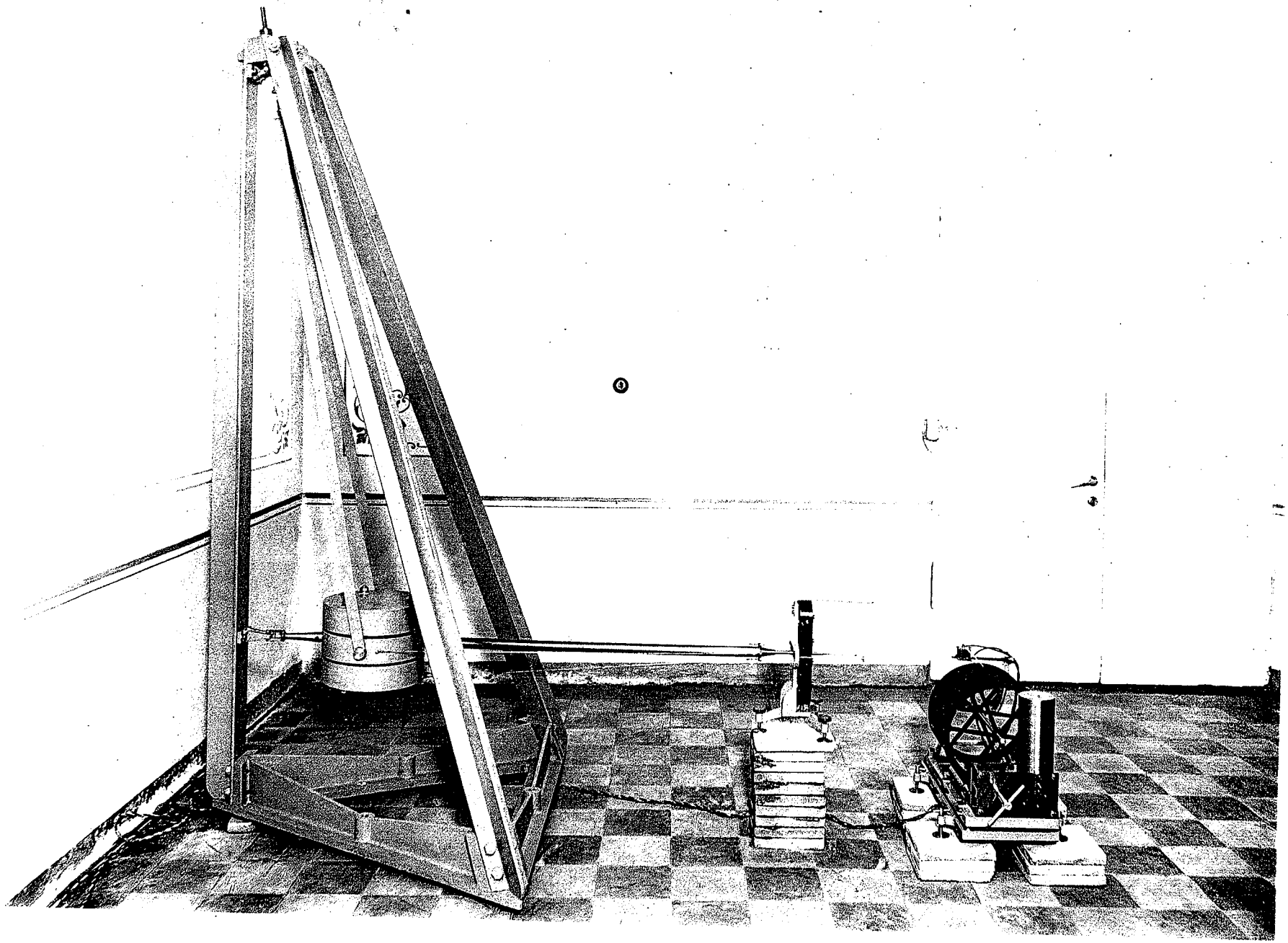
Fig. 10.



Фототипія В. Клавсенъ, С.Петербургъ, Кадетская лин. № 7-2.

Предпч. Н. Коминскій.

Fig. 11.



Фототипія В. Класенъ, С.Петербургъ. Кадетская лин. №7-2.

Промин. Н. Каминскій.

Fig. 12.

Фототипія В. Класанъ, С. Петербургъ, Кадетская лин. №. 7-2.

Просмн. И. Каминскій.

Fig. 13.

Фототипія В. Класенъ, С. Петербургъ, Кадетская лин. № 7-2.

Преемн. Н. Каминскій.

Fig. 14.

Фототипія В. Класенъ, С. Петербургъ. Кадетская лин. № 7-2.

Преемн. Н. Каминскій.

Fig. 15. I.

Die untere Etage des Wohnhauses.

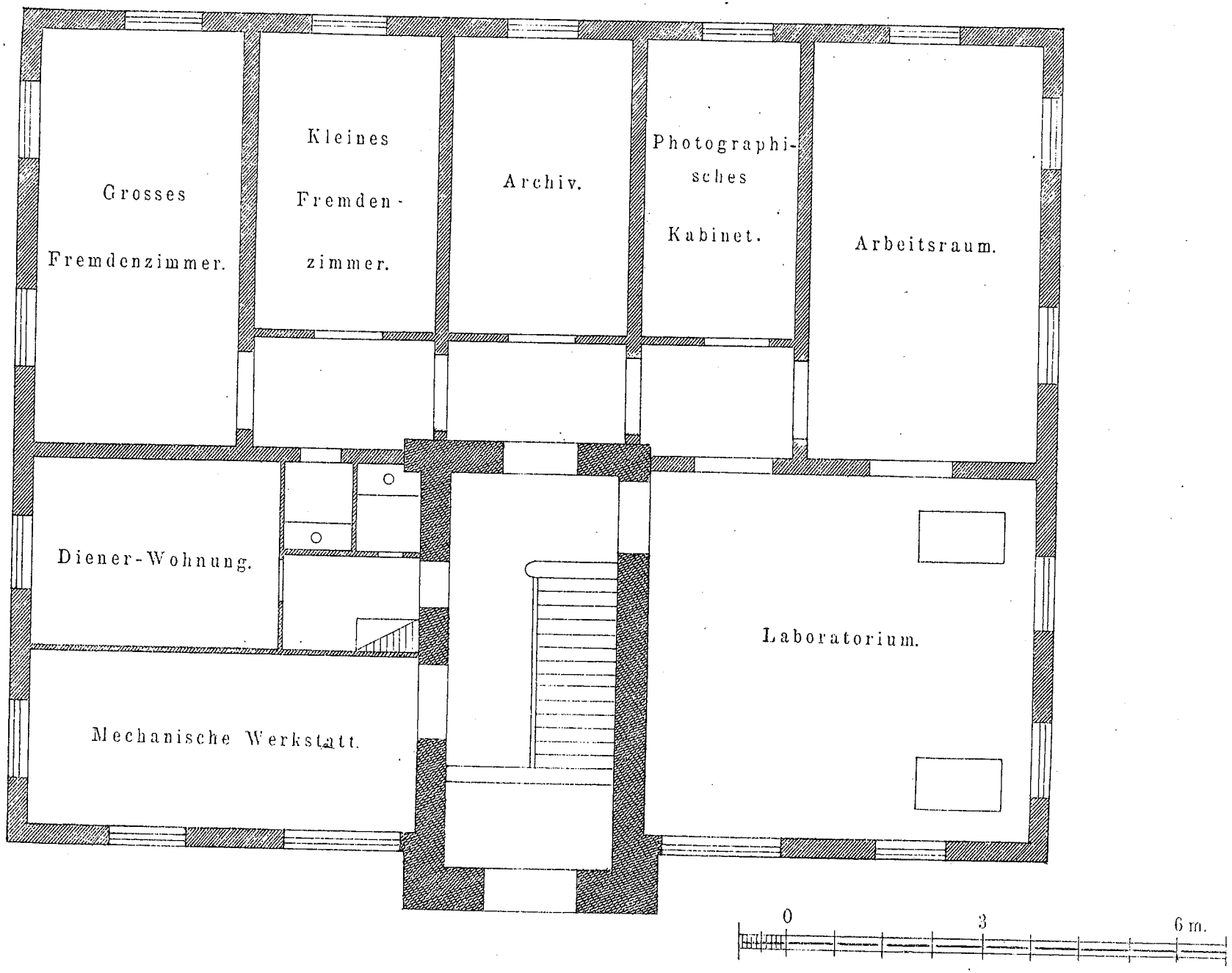


Fig. 15. II.

Die obere Etage.

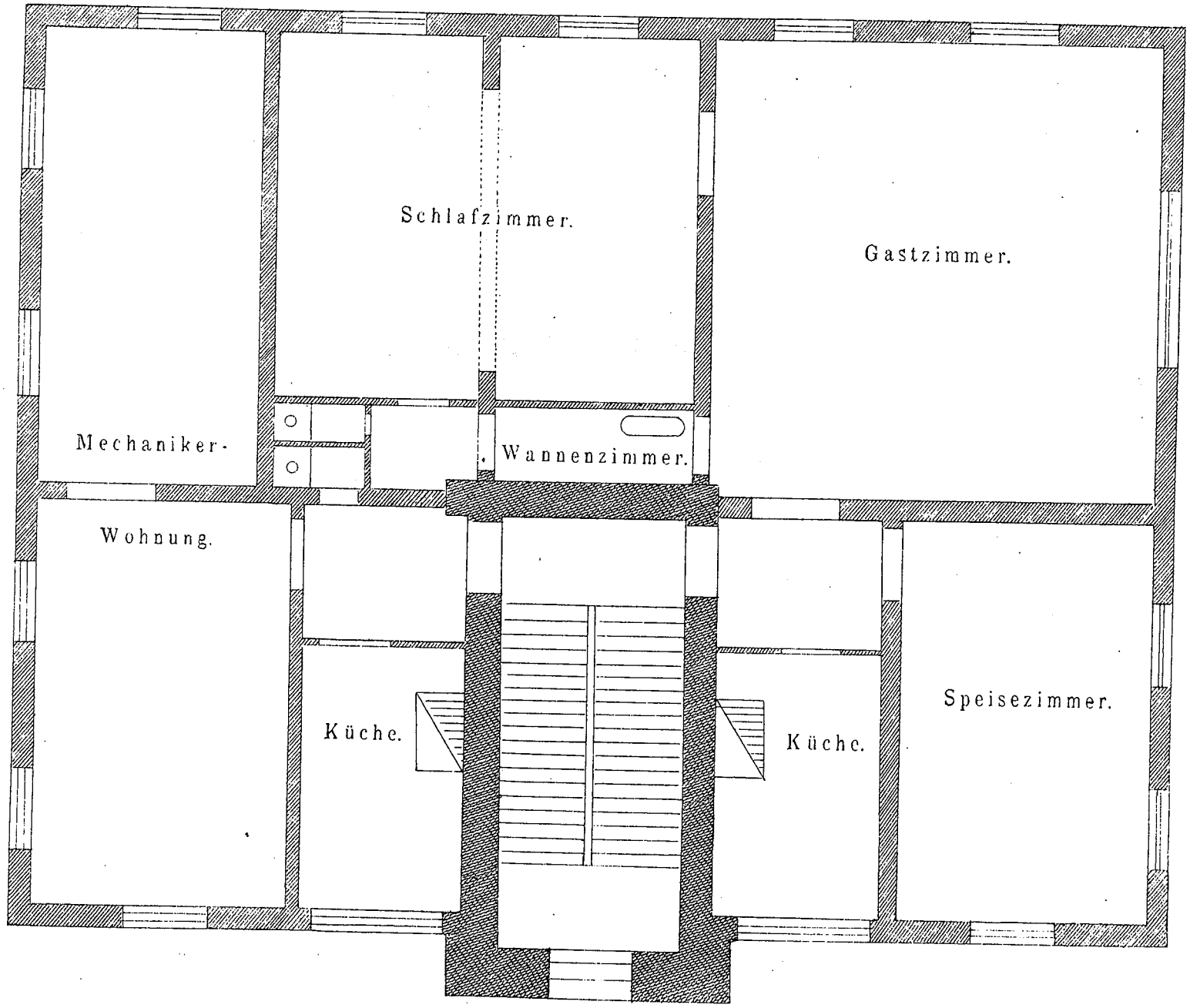
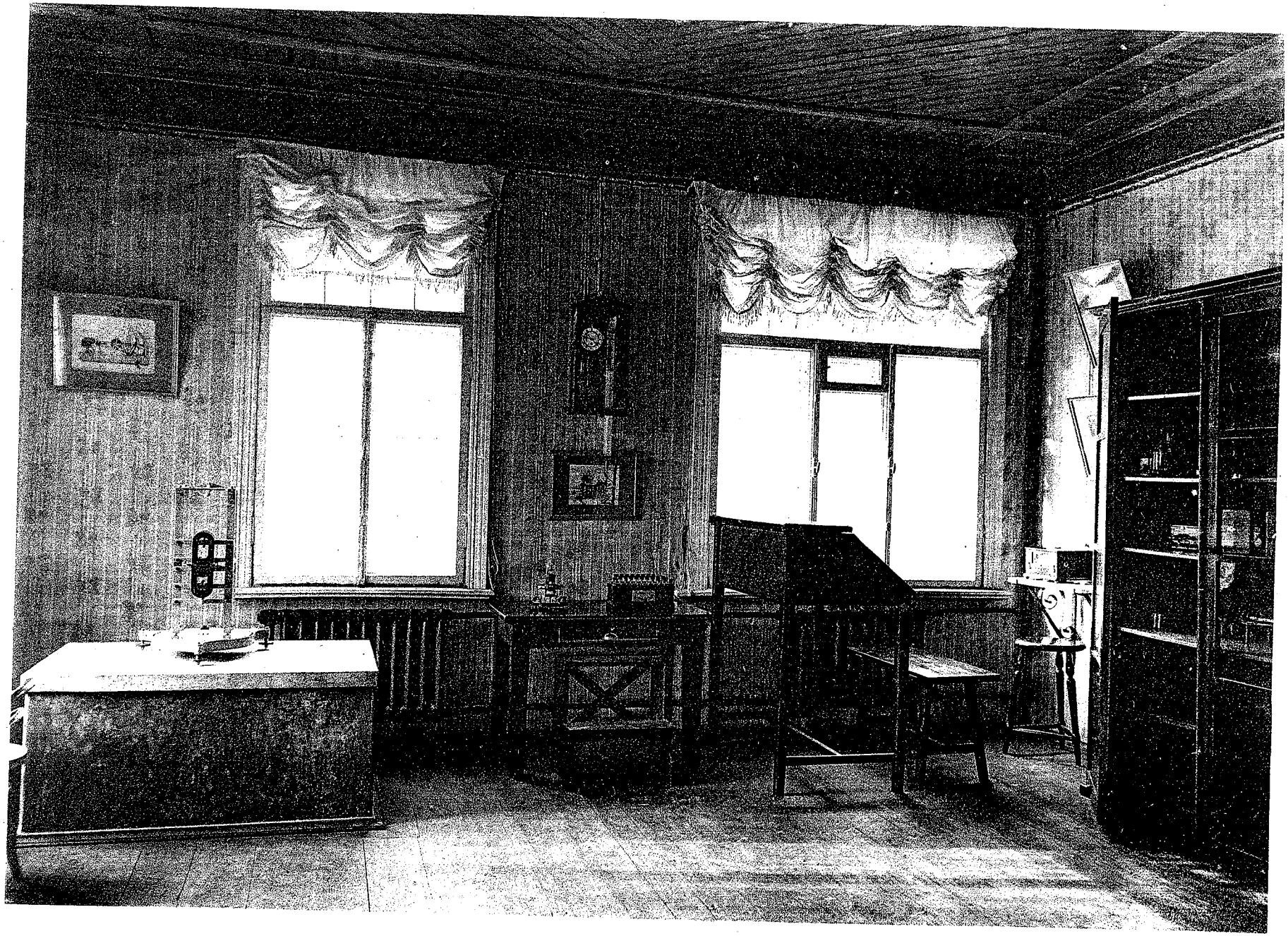


Fig. 16.



Фототипія Ѣ. Класенъ. С. Петербургъ. Казанская лин. №7-2.

Печатня Н. Каминскій

Приборы для наблюденій надъ пульсирующими источниками.

Князь Б. Б. Голицынъ.

Нѣкоторые минеральные, ювенильные источники обладаютъ замѣчательнымъ свойствомъ черезъ опредѣленные промежутки времени пульсировать. Въ эти моменты вода источника какъ-бы вскипаетъ, причемъ одновременно измѣняется, какъ давленіе столба жидкости въ каптажной трубѣ, такъ и дебитъ самого источника. При нормальномъ режимѣ источника эта пульсація обладаетъ замѣчательной правильностью.

Къ такимъ интермитирующимъ источникамъ относится, между прочимъ, извѣстный Екатерининскій источникъ въ Боржомѣ, надъ которымъ въ 1901—1902 годахъ производилъ систематическія изслѣдованія Мольденгауеръ[1]). Въ этомъ источникѣ промежутокъ времени между двумя послѣдовательными пульсаціями составляетъ около 8—10 минутъ (послѣ Ахалкалакскаго землетрясенія 1901 года), причемъ измѣненіе давленія опредѣленнаго водяного столба достигало въ среднемъ, по наблюденіямъ Мольденгауера, около 50—60 миллиметровъ ртутнаго столба.

Иногда въ правильномъ, нормальномъ, пульсирующемъ режимѣ такихъ источниковъ наступаютъ извѣстныя нарушенія; правильная пульсація испытываетъ какія-то возмущенія, причемъ соотвѣтственно мѣняется и дебитъ источника. Это явленіе также было обстоятельно изслѣдовано Мольденгауеромъ[2]). При этомъ обнаружилось, что эти нарушенія нормальнаго режима находятся, повидимому, въ нѣкоторой связи съ чисто сейсмическими явленіями, причемъ въ очень многихъ случаяхъ наблюдаемыя

---

[1]) См. Fr. Moldenhauer. Seismische Einwirkungen auf den Charakter der Lebensthätigkeit intermittierender Quellen. Извѣстія Постоянной Центральной Сейсмической Комиссіи. Т. V, вып. 1, стр. 1.

[2]) L. c.

возмущенія въ жизни источника *предшествуютъ* землетрясеніямъ. Это послѣднее обстоятельство, если оно только подтвердится послѣдующими наблюденіями, имѣетъ несомнѣнно громадное практическое значеніе, такъ какъ на этомъ пути удастся быть можетъ со временемъ выработать особый методъ для предсказыванія землетрясеній.

Въ виду важности изслѣдованій надъ пульсирующими источниками, Сейсмическая Комиссія при Императорской Академіи Наукъ рѣшила принять всѣ зависящія отъ нея мѣры для организаціи систематическихъ и правильныхъ наблюденій, какъ надъ Екатерининскимъ источникомъ въ Боржомѣ, такъ и надъ однимъ изъ Эссентукскихъ источниковъ Пятигорской минеральной группы.

Въ этомъ отношеніи Сейсмическая Комиссія встрѣтила полное сочувствіе и содѣйствіе со стороны Августѣйшаго владѣльца Боржомскаго имѣнія Великаго Князя Николая Михаиловича, который отпустилъ средства, какъ на полную реорганизацію сейсмической станціи въ Боржомѣ, такъ и на производство наблюденій надъ Екатерининскимъ источникомъ и на содержаніе постояннаго наблюдателя, которому одновременно ввѣрено и производство метеорологическихъ наблюденій.

Что-же касается организаціи наблюденій въ Эссентукахъ, то по этому вопросу ведутся въ настоящее время переговоры съ Управленіемъ Кавказскими минеральными водами и есть надежда, что въ ближайшемъ будущемъ и этотъ вопросъ разрѣшится въ благопріятномъ смыслѣ.

Наблюденія надъ источниками должны вестись въ трехъ направленіяхъ: 1) долженъ регулярно и непрерывно регистрироваться дебитъ источника, 2) должна регистрироваться температура воды источника, по возможности, невдалекѣ отъ нижняго срѣза каптажной трубы, 3) должно измѣряться давленіе, соотвѣтствующее опредѣленному столбу воды источника, причемъ измѣненіе этого давленія и будетъ характеризовать собою самое явленіе пульсаціи источника.

Всѣ эти наблюденія должны вестись непрерывно, при помощи самопишущихъ приборовъ.

Такъ какъ старинный приборъ Мольденгауера является для поставленной, расширенной задачи не вполнѣ пригоднымъ, то при Физической Лабораторіи Императорской Академіи Наукъ былъ предпринятъ рядъ изслѣдованій для выясненія тѣхъ типовъ приборовъ, которые лучше всего могли бы удовлетворить цѣлямъ намѣченныхъ изслѣдованій. Два прибора, одинъ для измѣренія дебита, а другой для измѣренія давленія, были вновь сконструированы по моимъ указаніямъ механикомъ при Физической Лабораторіи Академіи Наукъ г-омъ Мазингомъ.

Всѣ приборы, предназначенные для изслѣдованія Екатерининскаго

источника, были систематически изслѣдованы въ Физической Лабораторіи г-омъ Веберомъ, вновь назначеннымъ завѣдующимъ Боржомской сейсмической станціей, причемъ оказалось, что всѣ приборы работаютъ правильно и вполнѣ удовлетворяютъ своей цѣли.

Въ настоящей статьѣ я предполагаю дать краткое описаніе этихъ приборовъ и привести нѣкоторые результаты произведенныхъ съ ними наблюденій.

Приборъ для опредѣленія дебита.

Для опредѣленія дебита источника надо придѣлать къ его каптажной трубѣ отливную трубку и всю воду, протекающую черезъ нее, пропускать черезъ измѣрительный приборъ. Для измѣрительныхъ цѣлей можно взять трубку и съ небольшимъ сѣченіемъ. Для правильнаго опредѣленія нормальнаго дебита источника необходимо, чтобы вода изъ источника выливалась всюду исключительно только самотекомъ. Никакое *выкачиваніе* воды изъ каптажной трубы при помощи насосовъ никогда не должно быть допускаемо, такъ какъ такое выкачиваніе нарушаетъ нормальный режимъ источника и можетъ, въ концѣ концовъ, ему повредить. Цѣнные минеральные источники требуютъ бережливаго и осмотрительнаго съ ними обращенія.

Дебитъ источника можно характеризовать объемомъ воды, протекающимъ въ единицу времени черезъ единицу сѣченія. Взявъ за единицу времени 1 секунду, а за единицу сѣченія 1 квадратный сантиметръ, дебитъ источника будетъ характеризоваться скоростью u движенія воды вверхъ по каптажной трубѣ. Зная u и сѣченіе каптажной трубы, всегда можно опредѣлить общій суточный или часовой дебитъ источника.

Весь вопросъ сводится, такимъ образомъ, къ опредѣленію скорости u.

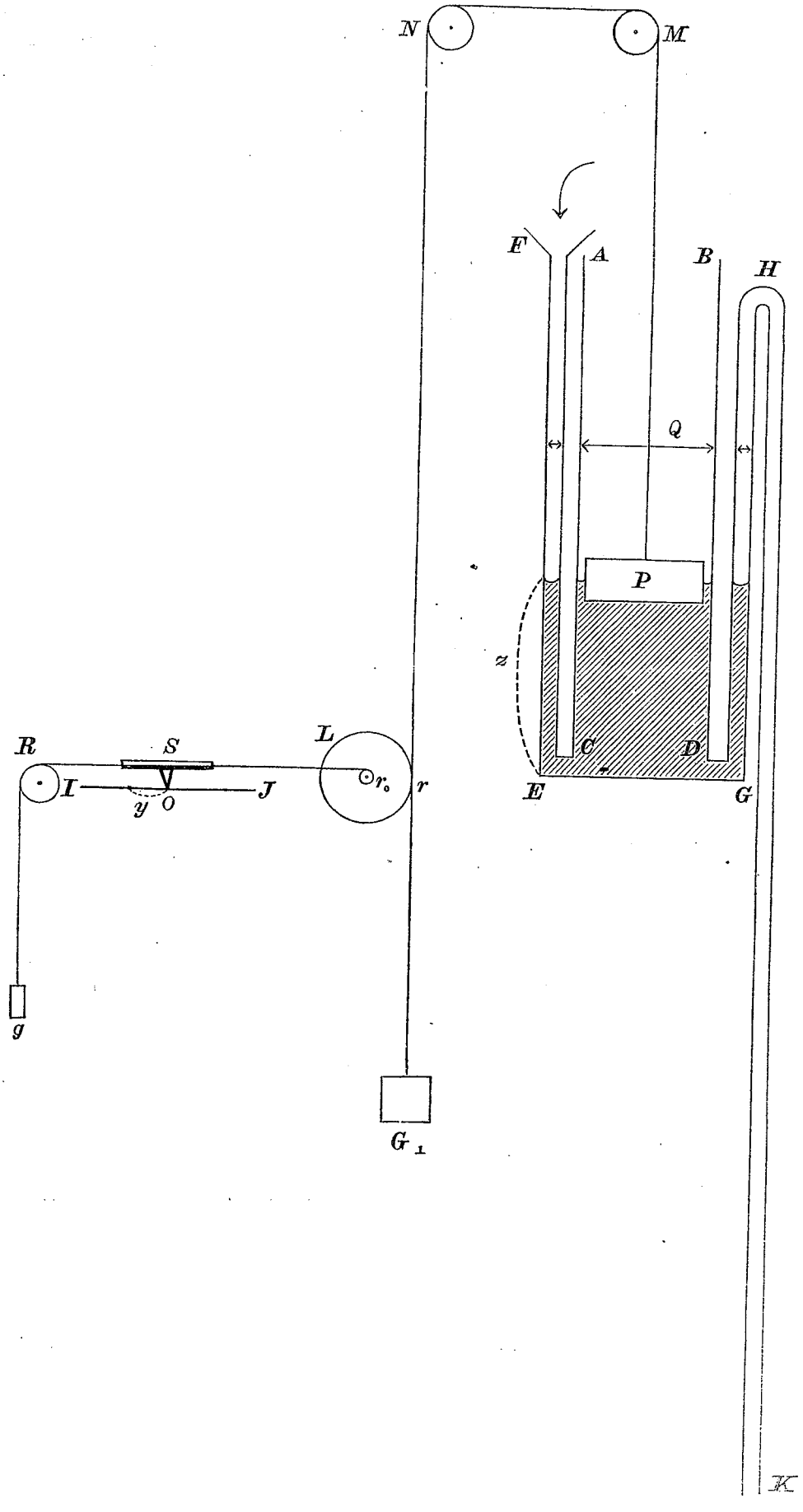
Обозначивъ сѣченіе отводной трубки черезъ q, а объемъ воды, вытекающей черезъ эту трубку въ элементъ времени dt, черезъ dv, будемъ имѣть слѣдующее основное соотношеніе:

$$dv = q\,u\,dt \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Эту воду надо направить въ измѣрительный приборъ, представленный въ схематическомъ видѣ на чертежѣ 1.

Приборъ этотъ состоитъ изъ небольшого латуннаго, никелированнаго цилиндра $ACDB$, соединеннаго въ нижней своей части съ двумя боковыми, вертикальными трубками EF и GHK, изъ которыхъ правая трубка стеклянная и изогнута въ видѣ сифона. Нижній конецъ K правой трубки долженъ быть значительно, напр. на $1^1/_2$ или 2 метра, ниже основанія

Черт. 1.



цилиндра EG. Лѣвая трубка оканчивается воронкой F, куда втекаетъ вода изъ отводной трубки отъ источника.

Въ цилиндрѣ находится поплавокъ P, который, по мѣрѣ наполненія цилиндра водой, подымается вверхъ. Когда уровень воды достигнетъ изгиба H правой трубки, то трубка GHK начинаетъ дѣйствовать какъ сифонъ и цилиндръ быстро опоражнивается, причемъ поплавокъ P идетъ внизъ. Послѣ второго наполненія цилиндра произойдетъ вторичное его опоражниваніе и т. д.

Это наполненіе и послѣдующее опоражниваніе совершается чисто автоматическимъ путемъ. Чтобы лучше обезпечить сифонное дѣйствіе правой трубки, послѣдняя, въ верхней своей части у H, нѣсколько съужена.

Отъ середины поплавка P идетъ кверху тонкій шнуръ, который перекинутъ черезъ шкивы M и N и огибаетъ затѣмъ шкивъ L. На концѣ этого шнура подвѣшена гиря G_1, которая служитъ противовѣсомъ поплавку P. На оси шкива L, радіусъ котораго равенъ r, надѣтъ маленькій шкивъ съ радіусомъ r_0. Отношеніе радіусовъ обоихъ этихъ шкивовъ обозначимъ черезъ k:

$$k = \frac{r}{r_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

На этотъ малый шкивъ намотанъ другой шнуръ, лѣвый конецъ котораго соединенъ съ регистрирнымъ механизмомъ S.

Послѣдній состоитъ изъ небольшой рамы S, которая можетъ перемѣщаться вправо и влѣво параллельно самой себѣ вдоль двухъ небольшихъ направляющихъ стержней (не показанныхъ на чертежѣ). Къ рамѣ S прикрѣпленъ съ другой стороны другой шнуръ, перекинутый черезъ шкивъ R и оттянутый внизъ гирей g.

Къ рамѣ придѣлано пишущее перо O, заполненное чернилами, такого же устройства, какъ у метеорологическихъ самопишущихъ приборовъ. Перо это пишетъ на узкой бумажной лентѣ IJ, движущейся перпендикулярно къ направленію движенія пера. При помощи простого часового механизма лента эта сматывается съ одного валика и наматывается на другой, какъ у телеграфнаго аппарата Морзе. Другой неподвижный штифтъ (не показанный на чертежѣ) соединенъ съ хорошими контактными часами и каждую минуту даетъ отмѣтку времени.

Когда уровень воды въ цилиндрѣ подымется на величину dz, то пишущее перо подастся вправо на величину dy, причемъ, въ силу соотношенія (2),

$$dy = \frac{1}{k} dz \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Такимъ образомъ, при послѣдовательныхъ наполненіяхъ и опоражниваніяхъ цилиндра, на бумажной лентѣ IJ получается запись въ видѣ ломанной линіи $m_1 n_1 m_2 n_2 m_3 n_3 \ldots$, какъ то представлено на черт. 2.

Отрѣзки $m_1 n_1$, $m_2 n_2$ и т. д. соотвѣтствуютъ процессу наполненія цилиндра водой, а отрѣзки $n_1 m_2$, $n_2 m_3$ и т. д. — процессу опоражниванія.

Если наполненіе и опоражниваніе цилиндра идетъ достаточно быстро, то можно принять, что всѣ эти отрѣзки прямыя.

Посмотримъ теперь, какимъ образомъ можно вывести изъ такой записи скорость u движенія воды вверхъ по каптажной трубѣ.

Обозначимъ черезъ Q общее сѣченіе пріемнаго цилиндра съ двумя боковыми трубками и пусть въ элементъ времени dt уровень воды въ цилиндрѣ поднялся на величину dz.

Тогда, въ силу соотношенія (1), мы будемъ имѣть

$$dv = q\,u\,dt = Q\,dz$$

или

$$u = \frac{Q}{q} \cdot \frac{dz}{dt},$$

или, на основаніи формулы (3),

$$u = k\frac{Q}{q} \cdot \frac{dy}{dt}.$$

Скорость истеченія выражается обыкновенно въ сантиметрахъ въ секунду. Условившись измѣрять различныя ординаты y ломанной линіи $m_1 n_1 m_2 n_2 \ldots$ *въ миллиметрахъ*, мы должны въ предыдущую формулу ввести множитель $\frac{1}{10}$.

Итакъ, мы будемъ имѣть

$$u = 0{,}1\,.\,k\frac{Q}{q} \cdot \frac{dy}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

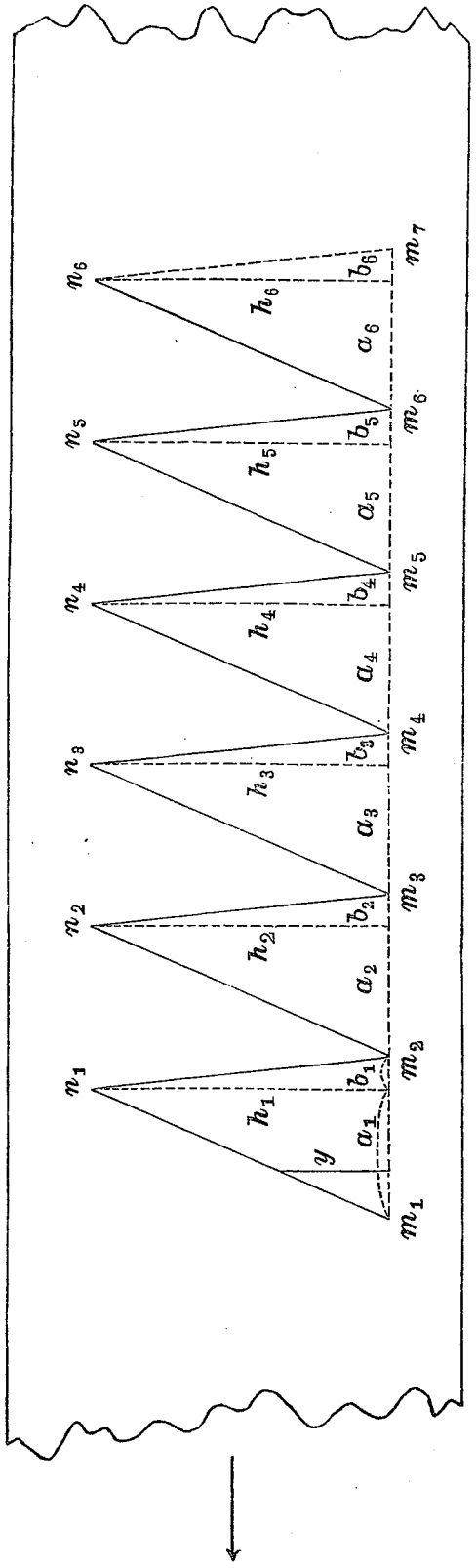
Обозначимъ черезъ λ число секундъ, соотвѣтствующихъ передвиженію ленты на 1 миллиметръ.

Возьмемъ далѣе какой нибудь одинъ изъ треугольниковъ, вычерченныхъ пишущимъ перомъ, напр. $m_s n_s m_{s+1}$, гдѣ s есть нѣкоторый порядковый номеръ, и обозначимъ разстояніе точки m_s до основанія перпендикуляра h_s черезъ a_s.

Тогда, очевидно,

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{h_s}{a_s}.$$

Черт. 2.


I
J
n_1
n_2
n_3
n_4
n_5
n_6
m_1
m_2
m_3
m_4
m_5
m_6
m_7
h_1
h_2
h_3
h_4
h_5
h_6
a_1
a_2
a_3
a_4
a_5
a_6
b_1
b_2
b_3
b_4
b_5
b_6
y

Подставляя эту величину въ формулу (4), мы получимъ

$$u_s = 0{,}1 \cdot k \cdot \frac{Q}{q} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{h_s}{a_s}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

гдѣ u_s есть средняя скорость дебита источника за промежутокъ времени, заключенный между t_s и t_{s+1}. Можно считать эту скорость пріуроченной къ среднему моменту $\frac{t_s + t_{s+1}}{2}$.

Обозначимъ далѣе разстояніе между сосѣдними къ мѣсту измѣренія *минутными* марками черезъ l_s. Эта величина также должна быть выражена въ миллиметрахъ.

Тогда

$$\lambda = \frac{60}{l_s}.$$

Введемъ теперь еще такое обозначеніе

$$A = \frac{1}{600} \cdot k \frac{Q}{q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

A есть нѣкоторая опредѣленная, характерная постоянная прибора.

Тогда, изъ формулы (5), мы получимъ окончательно

$$u_s = A . l_s \cdot \frac{h_s}{a_s} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

По этой формулѣ и можно вычислять дебитъ источника, причемъ величины l_s, h_s и a_s снимаются непосредственно съ діаграммы записи прибора.

Для опредѣленія этихъ величинъ очень удобно пользоваться стеклянной, миллиметровой, координатной сѣткой, въ родѣ тѣхъ, которыя употребляются для вымѣренія сейсмограммъ.

Чтобы убѣдиться въ правильномъ функціонированіи вышеописаннаго прибора, послѣдній былъ подвергнутъ въ Физической Лабораторіи Академіи Наукъ всестороннему испытанію.

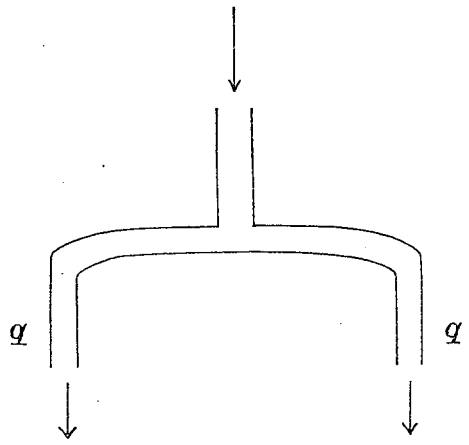
Для этой цѣли къ водопроводному крану была придѣлана раздвоенная трубка, какъ то показано на черт. 3.

Оба боковыя колѣна трубки имѣли одно и то-же сѣченіе q.

Черезъ лѣвое колѣно вода вытекала въ вышеописанный измѣрительный цилиндръ, а черезъ правое въ обыкновенный стеклянный, мѣрительный, цилиндрическій сосудъ, раздѣленный на кубическіе сантиметры, и

опредѣлялся объемъ вытекшей черезъ правую трубку воды за время, соотвѣтствующее 6 полнымъ наполненіямъ и опоражниваніямъ цилиндра, т.-е. за промежутокъ времени, раздѣляющій точки m_1 и m_7 (см. черт. 2). Вода вытекала довольно равномѣрно, а потому можно было довольствоваться опредѣленіемъ средней скорости истеченія u.

Черт. 3.



Обозначивъ время продолженія опыта черезъ t', а измѣренный объемъ воды, вытекшей черезъ правое колѣно трубки, черезъ v', будемъ имѣть

$$u = \frac{v'}{q\,t'} \ldots\ldots\ldots (8)$$

Подставивъ эту величину, вмѣсто u_s, въ формулу (7) и опредѣливъ съ діаграммы среднія за 6 полныхъ наполненій величины l_s и $\frac{h_s}{a_s}$, можно было получить непосредственно изъ наблюденій величину коеффиціента A и сравнить затѣмъ полученное, такимъ образомъ, число, съ величиной коеффиціента A, полученной изъ непосредственнаго измѣренія отдѣльныхъ частей прибора. Согласіе полученныхъ, такимъ образомъ, результатовъ даетъ хорошій критерій для сужденія о томъ, насколько правильно данный приборъ функціонируетъ.

Скорость истеченія воды можно было регулировать при помощи особаго чувствительнаго крана съ дѣленіями.

Изъ многочисленныхъ полученныхъ г-омъ Веберомъ діаграммъ, я ограничусь здѣсь приведеніемъ результатовъ измѣреній только двухъ діаграммъ, изъ которыхъ одна соотвѣтствуетъ большой, а другая малой скорости истеченія.

Непосредственныя опредѣленія размѣровъ измѣрительнаго прибора (см. черт. 1) дали слѣдующіе результаты.

Внутренній діаметръ латуннаго цилиндра 74 $^{м}/_{м}$,

діаметръ каждой боковой трубки 8,7 $^{м}/_{м}$.

Слѣдовательно,

$$Q = \frac{\pi}{4}\left[74^2 + 2 \times 8{,}7^2\right] \cdot \frac{1}{100} = 44{,}18 \,\square\,\text{см}.$$

Діаметръ приводныхъ трубокъ (см. черт. 3) 4,1 $^{м}/_{м}$.

Слѣдовательно,

$$q = \frac{\pi}{4} \cdot 4{,}1^2 \cdot \frac{1}{100} = 0{,}132 \,\square\text{см}.$$

Діаметръ большого колеса шкива L 90 $^{м}/_{м}$.
» малаго » » » 9,1 $^{м}/_{м}$.

Слѣдовательно,

$$k = \frac{90}{9{,}1} = 9{,}89.$$

Подставляя эти величины въ формулу (6), получимъ

$$A = 5{,}52.$$

Такова вычисленная величина A.

Первая измѣренная діаграмма соотвѣтствовала тому случаю, когда кранъ былъ поставленъ на 4-ое дѣленіе и скорость истеченія была большая.

Въ этомъ случаѣ общее количество воды, вытекшей за время 6 полныхъ наполненій и опоражниваній цилиндра, непосредственно измѣренное при помощи мѣрительнаго стакана, было

$$v' = 9412 \text{ куб. сант.}$$

Результаты же измѣренія соотвѣтствующей діаграммы приведены въ слѣдующей табличкѣ (см. также черт. 2).

	Отсчеты					
s	m	n	a	b	h	$\frac{h}{a}$
1	0,0 $^{м}/_{м}$	7,7 $^{м}/_{м}$	7,7 $^{м}/_{м}$	0,5 $^{м}/_{м}$	33,1 $^{м}/_{м}$	4,30
2	8,2	15,9	7,7	0,7	33,1	4,30
3	16,6	24,0	7,4	0,5	32,8	4,43
4	24,5	32,1	7,6	0,6	33,1	4,36
5	32,7	40,2	7,5	0,6	33,1	4,41
6	40,8	48,2	7,4	(0,6)	33,1	4,47
			$\Sigma a = 45{,}3$	$\Sigma b = 3{,}5$		ср. $\frac{h}{a} = 4{,}38$

ср. $a = 7{,}55$ $^{м}/_{м}$, ср. $b = 0{,}58$ $^{м}/_{м}$.

Средняя длина одной минуты $l = 4{,}57$ $^{м}/_{м}$.

Слѣдовательно, общая продолжительность опыта t' въ секундахъ опредѣлится по формулѣ

$$t' = \frac{60}{l} \cdot \Sigma (a + b) = \frac{60 \times 48{,}8}{4{,}57} = 640{,}7 \text{ сек.}$$

Средняя продолжительность одного наполненія

$$\tau = \frac{60}{l} \times 7{,}55 = 99{,}1 \text{ сек.}$$

Средняя продолжительность одного опоражниванія

$$\tau_1 = \frac{60}{l} \times 0{,}58 = 7{,}6 \text{ сек.}$$

Слѣдовательно,

$$\frac{\tau_1}{\tau} = 0{,}077.$$

Мы видимъ, такимъ образомъ, что самоопоражниваніе цилиндра происходитъ очень быстро.

Подставивъ найденныя значенія для q, v' и t' въ формулу (8), будемъ имѣть

$$u = \frac{9412}{0{,}132 \times 640{,}7} = 111{,}3 \text{ см./сек.}.$$

Объемъ же воды, соотвѣтствующій времени одного полнаго наполненія и опоражниванія цилиндра, равенъ $\frac{9412}{6} = 1568{,}7$ куб. сант.

Изъ формулы (7) слѣдуетъ далѣе, что

$$A = \frac{u}{l \cdot \left(\frac{h}{a}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

Подставивъ найденныя значенія для l, u и среднее значеніе $\frac{h}{a}$ въ эту формулу, будемъ имѣть

$$A = \frac{111{,}3}{4{,}57 \times 4{,}38} = 5{,}56.$$

Такова наблюденная величина A. Она чрезвычайно мало отличается отъ a priori вычисленной величины $A = 5{,}52$, изъ чего можно заключить, что приборъ работаетъ вполнѣ правильно.

Другой примѣръ.

Кранъ поставленъ на 32-ое дѣленіе (малая скорость истеченія). Общее количество вытекшей воды

$$v' = 8873 \text{ куб. сант.}$$

Изъ измѣренія соотвѣтствующей діаграммы получились слѣдующія данныя:

	Отсчеты					
s	m	n	a	b	h	$\frac{h}{a}$
1	0,0 м/м	15,2 м/м	15,2 м/м	0,2 м/м	32,3 м/м	2,13
2	15,4	30,8	15,4	0,4	32,3	2,10
3	31,2	46,5	15,3	0,5	32,3	2,11
4	47,0	61,6	14,6	0,6	32,3	2,21
5	62,2	76,9	14,7	0,6	32,3	2,20
6	77,5	92,0	14,5	0,6	32,3	2,23
7	92,6					
			$\Sigma a = 89,7$	$\Sigma b = 2,9$		ср. $\frac{h}{a} = 2,16$

ср. $a = 14,95$, ср. $b = 0,48$.

Средняя длина одной минуты $l = 4,66$ м/м.

Общая продолжительность опыта

$$t' = \frac{60}{l} \cdot \Sigma(a + b) = \frac{60 \times 92,6}{4,66} = 1192,3 \text{ сек.}$$

Средняя продолжительность одного наполненія

$$\tau = \frac{60}{l} \times 14,95 = 192,5 \text{ сек.}$$

Средняя продолжительность одного опоражниванія

$$\tau_1 = \frac{60}{l} \times 0,48 = 6,2 \text{ сек.}$$

Слѣдовательно,

$$\frac{\tau_1}{\tau} = 0,032.$$

Средняя скорость истеченія будетъ

$$u = \frac{8873}{0,132 \times 1192,3} = 56,4 \text{ см./сек.}.$$

Объемъ воды, соотвѣтствующій времени одного полнаго наполненія и опоражниванія, равенъ $\frac{8873}{6} = 1478,8$ куб. сант.

Наблюденная величина коеффиціента A будетъ (см. формулу (9))

$$A = \frac{56,4}{4,66 \times 2,16} = 5,60.$$

Это число мало отличается отъ предыдущаго.

Итакъ, въ предѣлахъ возможныхъ ошибокъ наблюденій и измѣреній, можно считать вычисленную и наблюденную величину коеффиціента A практически одинаковой.

Предыдущія числа показываютъ намъ, что во второмъ случаѣ, при меньшей скорости истеченія, опоражниваніе цилиндра идетъ быстрѣе (меньшая величина τ_1), что понятно и само собою, такъ какъ въ этомъ случаѣ, за время опоражниванія, притекаетъ вновь меньше воды въ цилиндръ.

Опыты г-на Вебера показали, такимъ образомъ, что вышеописанный приборъ для опредѣленія дебита работаетъ вполнѣ правильно и хорошо самоопоражнивается при очень широкихъ предѣлахъ для скорости истеченія u.

При болѣе значительныхъ величинахъ u, когда вода въ цилиндрѣ подымается слишкомъ быстро, наступаетъ такой моментъ, когда сифонъ перестаетъ дѣйствовать какъ таковой, и быстрое самоопоражниваніе болѣе не происходитъ, а вода просто вытекаетъ непрерывно черезъ сифонную трубку.

То-же самое можетъ произойти и при очень малой скорости истеченія u. Можно, однако, всегда подобрать сѣченіе цилиндра Q и сѣченіе q отводной трубки отъ источника такъ, чтобы данный измѣрительный приборъ работалъ всегда правильно въ предѣлахъ возможныхъ колебаній дебита даннаго источника.

Вышеописанный приборъ предполагается установить въ ближайшемъ будущемъ на Екатерининскомъ источникѣ въ Боржомѣ.

Приборъ для автоматическаго регистрированія температуры источника.

Для непрерывной регистраціи температуры источника можно съ успѣхомъ воспользоваться такъ называемымъ электрическимъ термографомъ. Эти приборы изготовляются фирмой Hartmann und Braun въ Франкфуртѣ на Майнѣ; они очень хорошо сконструированы и чрезвычайно удобны, когда требуется производить опредѣленіе температуры на разстояніи. Одинъ экземпляръ такого электрическаго термографа былъ пріобрѣтенъ Физической Лабораторіей Академіи Наукъ и подвергнутъ всестороннему испытанію.

Принципъ дѣйствія этого прибора заключается въ слѣдующемъ.

Термометрическимъ тѣломъ служитъ проволока, заключенная въ плоской металлической оправѣ. Всякое измѣненіе температуры вызываетъ измѣненіе сопротивленія этой проволоки, которое непосредственно и измѣряется. Такимъ образомъ, этому прибору легко можно придать любую степень чувствительности.

Отъ термометрическаго тѣла идутъ два провода съ сравнительно большимъ сѣченіемъ и ничтожнымъ сопротивленіемъ къ измѣрительному прибору, который можетъ быть установленъ въ значительномъ разстояніи отъ того мѣста, гдѣ опредѣляется температура.

Этотъ измѣрительный приборъ очень компактенъ и заключенъ въ особомъ ящикѣ, который просто ставится на столъ. Приборъ этотъ основанъ на принципѣ обыкновеннаго омметра; такимъ образомъ, показанія его до извѣстной степени независимы отъ величины вводимой электродвижущей силы, которую слѣдуетъ всетаки брать приблизительно равной 2-мъ вольтамъ. Особая стрѣлка перемѣщается вдоль дугообразной горизонтальной шкалы, раздѣленной уже на градусы температуры, такъ что въ любой моментъ можно прямо отсчитать температуру на разстояніи.

Для автоматической регистраціи температуры существуетъ слѣдующее приспособленіе.

Къ стрѣлкѣ придѣланъ тонкій, вертикальный, серебряный штифтъ, подъ которымъ, при посредствѣ особаго часового механизма, протягивается бѣлая, бумажная лента, также раздѣленная на градусы.

Каждыя $^3/_4$ минуты, при помощи особаго электромагнита, этотъ штифтъ притягивается къ бумагѣ и оставляетъ на ней небольшой слѣдъ, который вполнѣ отчетливо виденъ. Такъ какъ перемѣщеніе бумажной ленты идетъ сравнительно медленно, въ одну минуту на са. $^1/_4$ миллиметра, то на бумажной лентѣ получается тонкая пунктирная линія, наглядно иллюстрирующая ходъ температуры за истекшія сутки.

Въ этомъ приборѣ существуетъ иногда между показаніями стрѣлки на шкалѣ и штифта на бумагѣ небольшой параллаксъ, величину котораго всегда легко опредѣлить заранѣе.

Приборъ градуируется фирмой для опредѣленной длины соединительнаго провода, длину котораго надо сообщить заранѣе. Однако, можно и при градуированномъ уже приборѣ удлинить соединительную проволоку, но тогда надо уже самому опредѣлить поправку прибора, по сравненію съ показаніемъ вывѣреннаго ртутнаго термометра.

Эта поправка можетъ нѣсколько зависѣть отъ абсолютной величины измѣренной температуры, но въ этомъ случаѣ легко составить небольшую

табличку поправокъ, которыя и слѣдуетъ учитывать при обработкѣ записи прибора.

Шкала и бумажная лента раздѣлены на цѣлые градусы, такъ что интерполированіемъ легко получить десятыя доли градуса.

Приборы эти строятся обыкновенно для значительнаго интервала температуры, напр., въ экземплярѣ Академіи Наукъ отъ — 30° до + 50° С., но фирма по желанію можетъ изготовить приборъ для узкаго температурнаго интервала, и тогда можно придать прибору гораздо бо́льшую чувствительность, допускающую опредѣленіе температуры съ точностью чуть не до 0,01° С.

Для опредѣленія температуры источника, на извѣстной глубинѣ слѣдуетъ взять за исходную температуру среднюю температуру источника на этой глубинѣ. Въ большинствѣ случаевъ достаточно будетъ взять отъ этой температуры по 4° въ обѣ стороны, такъ что общее протяженіе шкалы будетъ обнимать всего только 8°. Обыкновенно на глубинѣ, при нормальныхъ условіяхъ, температура источника не подвержена значительнымъ колебаніямъ, но, если такое явленіе имѣло бы мѣсто, то слѣдовало бы только соотвѣтственно раздвинуть предѣлы шкалы.

Испытанія, произведенныя съ этимъ приборомъ, наглядно показали всѣ его прекрасныя качества.

Благодаря малой массѣ термометрическаго тѣла, онъ обладаетъ очень малой термической инерціей и быстро воспринимаетъ температуру окружающей среды. Сравненіе его съ показаніями ртутнаго термометра, выставленнаго за окномъ, дали, напр., такіе результаты:

Время.	Ртутный термометръ.	Шкала термографа.
12 ч.	21°,5 С.	21°,5 С.
1½	21,6	21,6
2	21,7	21,7
3	21,9	21,9

Какъ видно, приборъ этотъ даетъ совершенно вѣрныя показанія.

Въ настоящее время приборъ этотъ установленъ въ метеорологической будкѣ при Пулковской центральной сейсмической станціи. Регистрирная часть установлена въ лабораторіи при жиломъ домѣ въ разстояніи 44 метровъ отъ самой метеорологической будки. Приборъ этотъ работаетъ вполнѣ исправно и представляетъ собою въ высшей степени удобный типъ термографа, такъ какъ отсчитываніе наружной температуры производится изъ помѣщенія самой лабораторіи.

Такіе электрическіе термографы могли бы съ успѣхомъ примѣняться и для опредѣленія колебаній температуры почвы на разныхъ глубинахъ.

Для спеціальной цѣли изслѣдованія колебаній температуры Екатерининскаго источника въ Боржомѣ, предполагается заказать болѣе чувствительный термографъ съ меньшимъ интерваломъ температурной шкалы.

Приборъ для опредѣленія давленія водяного столба въ источникѣ.

Для опредѣленія періодическихъ измѣненій давленія опредѣленнаго столба воды въ источникѣ, что и характеризуетъ самое явленіе пульсаціи, можно воспользоваться приборомъ, показанномъ въ схематическомъ видѣ на черт. 4.

Отъ каптажной трубы K, на достаточной глубинѣ, берется отводная трубка L, которая, при помощи резиновой пробки, соединяется съ лѣвымъ горлышкомъ стеклянной склянки F. Эта трубка должна имѣть наклонъ книзу, чтобы различные газовые пузырьки могли бы свободно подниматься въ каптажную трубу, а не попадали бы въ самую склянку.

Въ среднее, болѣе широкое горлышко склянки F вставляется, также при помощи резиновой пробки, стеклянная трубка MN, въ которой протянуты, въ разстояніи около $5\,{}^{м}/_{м}$ другъ отъ друга, двѣ никелевыя проволоки. Эти проволоки оканчиваются наверху у двухъ зажимовъ A и B, прикрѣпленныхъ къ эбонитовому колпачку, прикрывающему, но отнюдь не герметически, сверху стеклянную трубку MN. Внизу около C и D каждая проволока соединена съ небольшой спиральной пружиной; такимъ образомъ, проволоки находятся всегда въ натянутомъ положеніи.

Въ правое горлышко склянки F вставлена стеклянная трубка E съ краномъ H.

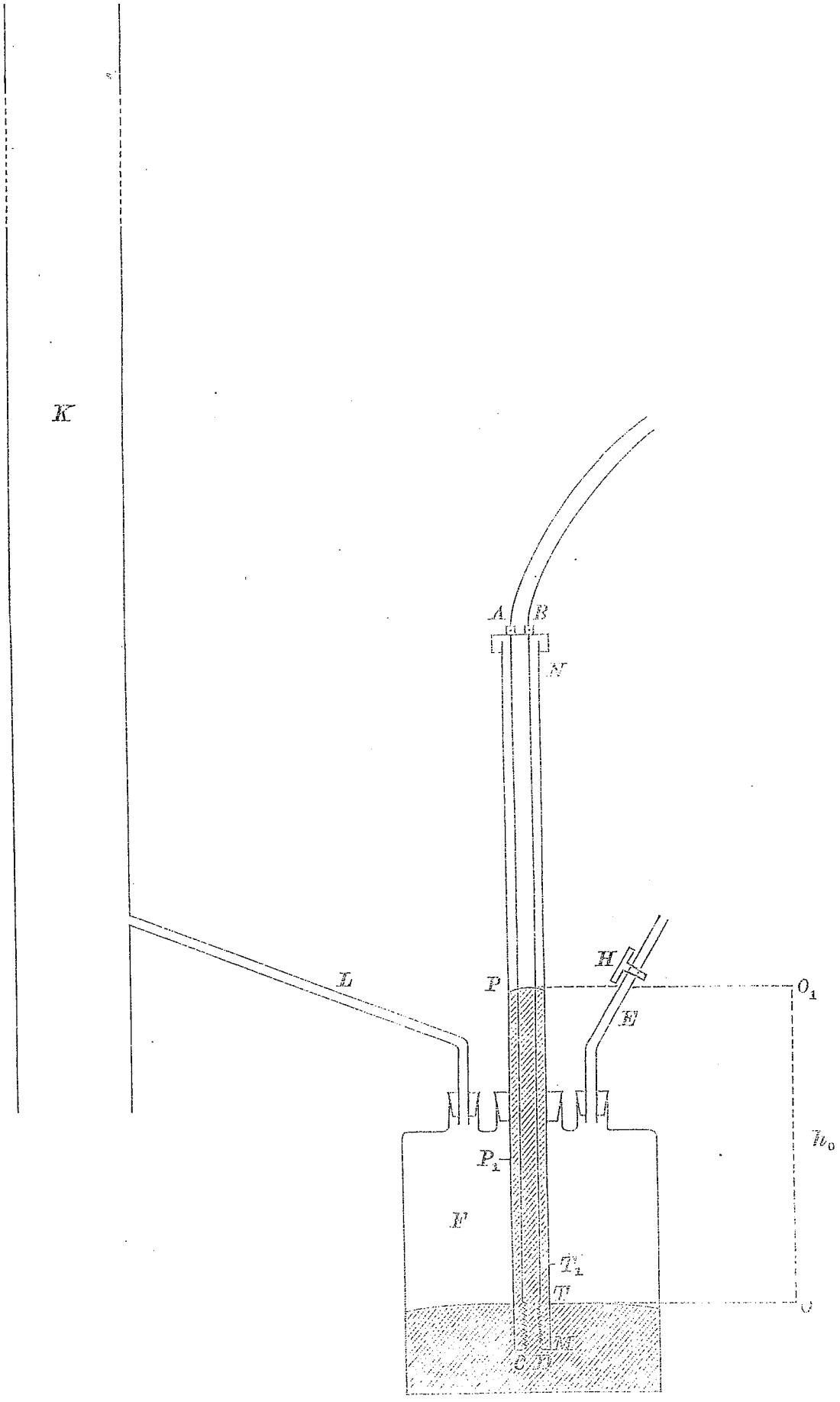
На дно склянки F наливается въ достаточномъ количествѣ чистая ртуть.

При соединеніи склянки съ каптажной трубой все свободное пространство надъ уровнемъ ртути въ F заполняется водой. При наполненіи склянки кранъ H открываютъ для того, чтобы выпустить изъ прибора весь воздухъ и постороннія частицы газа, послѣ чего кранъ H закрываютъ.

Давленіемъ столба воды ртуть вгонится во внутреннюю трубку MN до опредѣленнаго уровня P, соотвѣтствующаго нормальному давленію воды въ каптажной трубѣ.

Для правильныхъ наблюденій надъ пульсаціей источника, надо чтобы источникъ имѣлъ-бы въ своей верхней части свободный сливъ, какъ то имѣетъ, напр., мѣсто въ Екатерининскомъ источникѣ въ Боржомѣ. Тогда

Черт. 4.



верхній уровень воды въ каптажной трубѣ будетъ имѣть всегда вполнѣ опредѣленное и неизмѣнное положеніе.

Тогда разность h_0 уровней ртути P и T, въ узкой трубкѣ и въ склянкѣ F, дастъ намъ давленіе p_0 столба воды отъ верхняго срѣза каптажной трубы до нѣкотораго опредѣленнаго уровня TO, принимаемаго нами за нормальный. Само собою разумѣется, что величину h_0 надо приводить всегда къ нулю градусовъ Цельзія.

Въ дальнѣйшемъ мы будемъ предполагать, что эти приведенія всегда сдѣланы.

Тогда

$$p_0 = h_0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

Для избѣжанія того, чтобы, отъ повышеннаго давленія въ склянкѣ, пробки не были-бы выдавлены наружу, на послѣднія можно надѣть планку съ тремя отверстіями и скрѣпить ее затѣмъ съ самой склянкой.

Длину трубки L регулируютъ по желанію, чтобы можно было установить весь приборъ въ удобномъ для наблюденій мѣстѣ.

Благодаря тому, что эбонитовый колпачекъ не прикрываетъ вполнѣ плотно трубку MN, надъ ртутью около P устанавливается всегда наружное атмосферное давленіе. При желаніи можно черезъ этотъ колпачекъ просверлить небольшое отверстіе.

Въ описанномъ приборѣ измѣреніе колебаній давленія воды въ источникѣ основано на измѣреніи суммы сопротивленій никелевыхъ проволокъ отъ зажимовъ A и B до уровня ртути P.

Для этой цѣли можно воспользоваться обыкновеннымъ мостикомъ Wheatstone'a съ чувствительнымъ аперіодическимъ гальванометромъ системы Deprez-d'Arsonval'я.

Отъ A и B идутъ къ мостику двѣ толстыя, гибкія проволоки, тщательно перекрученныя одна на другую для избѣжанія всякихъ посторонпихъ индукціонныхъ вліяній.

Схема измѣрительной части прибора представлена на слѣдующемъ черт. 5.

a и b суть сопротивленія двухъ плечъ мостика; ихъ можно взять и равными между собою; R перемѣнное сопротивленіе отъ какого-нибудь реостатата; G чувствительный гальванометръ; R_0 добавочное большое сопротивленіе для ослабленія и регулированія силы тока въ вѣтвяхъ мостика, а E какой-нибудь элементъ, напр., элементъ Даніеля.

Сопротивленіе никелевыхъ проволокъ APB, при нормальномъ давленіи въ источникѣ, пусть будетъ r_0. Это сопротивленіе вводится въ четвертую вѣтвь мостика между A_1 и B_1.

Черт. 5.

Сначала регулируютъ сопротивленіе R такъ, чтобы гальванометръ показывалъ на нуль.

Тогда

$$r_0 = \frac{b}{a} R.$$

Пусть теперь наступаетъ пульсація источника съ обильнымъ выдѣленіемъ газовъ; тогда давленіе столба воды уменьшится и уровень ртути въ трубкѣ MN опустится отъ P до P_1. Одновременно въ широкомъ сосудѣ ртуть нѣсколько поднимется отъ T до T_1.

Обозначимъ черезъ s пониженіе ртути въ узкой трубкѣ:

$$PP_1 = s.$$

Если q есть внутреннее сѣченіе трубки MN, а Q величина поверхности ртути въ склянкѣ F, то въ послѣдней ртуть при этомъ поднимется на величину

$$s_1 = \frac{q}{Q} \cdot s.$$

Такимъ образомъ, новое давленіе столба воды отъ верхняго срѣза

каптажной трубы *до уровня* T_1 будетъ

$$h_0 - (s + s_1) = h_0 - s\left(1 + \frac{q}{Q}\right).$$

Но, такъ какъ мы должны всегда пріурочивать давленіе въ источникѣ къ *опредѣленному* столбу воды, а именно отъ верхняго срѣза каптажной трубы до *нормальнаго* уровня TO, то къ предыдущему выраженію надо еще присоединить небольшую поправку $s_1 \cdot \frac{1}{13{,}6}$.

Такимъ образомъ, новое давленіе p *того-же* столба воды представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$p = h_0 - s\left(1 + \frac{q}{Q}\right) + s\frac{q}{Q} \cdot \frac{1}{13{,}6}$$

или, въ силу соотношенія (10),

$$p = p_0 - s\left\{1 + \frac{q}{Q}\left(1 - \frac{1}{13{,}6}\right)\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

Обозначивъ черезъ ρ сопротивленіе единицы длины ($1\,^{м}/_{м}$) никелевой проволоки, легко видѣть, что новое сопротивленіе этихъ проволокъ будетъ

$$r = r_0 + 2s\rho \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

Когда $r = r_0$, гальванометръ по предположенію показываетъ на нуль. Оставляя сопротивленіе R въ мостикѣ неизмѣннымъ, гальванометръ отклонится теперь на нѣкоторый уголъ θ, который можно всегда измѣрить по трубѣ со шкалой.

Слѣдовательно, мы можемъ положить

$$r - r_0 = k\theta, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

гдѣ k есть нѣкоторый множитель пропорціональности, который можетъ быть всегда легко опредѣленъ изъ опыта.

Изъ соотношеній (12) и (13) слѣдуетъ, что

$$s = \frac{r - r_0}{2\rho} = \frac{1}{2}\frac{k}{\rho}\theta.$$

Подставляя эту величину въ формулу (11), будемъ имѣть

$$p = p_0 - \frac{1}{2}\frac{k}{\rho}\left\{1 + \frac{q}{Q}\left(1 - \frac{1}{13{,}6}\right)\right\} \cdot \theta. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

Для непрерывной регистраціи измѣненій давленія въ источникѣ можно воспользоваться обыкновеннымъ оптическимъ методомъ регистраціи, какъ при регистраціи движенія сейсмографовъ.

Свѣтовой лучъ отъ источника свѣта, въ видѣ узкой свѣтлой щели, падаетъ на зеркальце гальванометра и, отражаясь отъ него, падаетъ нормально на поверхность цилиндра регистрирнаго аппарата, обтянутаго свѣточувствительной фотографической бумагой. Чечевица, съ подходящимъ фокуснымъ разстояніемъ, поставленная *передъ* зеркальцемъ гальванометра, до паденія на него свѣтовыхъ лучей, концентрируетъ лучи на поверхности регистрирнаго вала.

Другая, горизонтальная, короткофокусная, цилиндрическая чечевица, поставленная передъ самымъ регистрирнымъ валомъ, собираетъ всѣ лучи въ одну свѣтовую точку.

Обозначивъ черезъ A разстояніе зеркальца гальванометра до поверхности регистрирнаго вала (въ направленіи нормально падающаго луча), а черезъ y уклоненіе свѣтовой точки на барабанѣ отъ положенія равновѣсія, соотвѣтствующее углу θ поворота гальванометра, будемъ имѣть

$$\theta = \frac{y}{2A}.$$

Подставивъ эту величину въ формулу (14) и обозначивъ постоянный коеффиціентъ передъ y одной буквой Г:

$$\Gamma = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{k}{\rho} \left[1 + \frac{q}{Q} \left\{ 1 - \frac{1}{13{,}6} \right\} \right], \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

мы получимъ, окончательно,

$$p = p_0 - \Gamma \cdot y. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

Такимъ образомъ, зависимость между $p - p_0$ и y будетъ простая, линейная.

Численное значеніе коеффиціента Г легко получить прямо изъ опыта, отдѣливъ трубку L (см. черт. 4) отъ каптажной трубы и производя на поверхность ртути въ склянкѣ F опредѣленное давленіе, измѣряемое манометромъ.

Регистрирную часть прибора для измѣренія давленія можно установить въ любомъ разстояніи отъ источника, но непремѣнно въ темномъ помѣщеніи, имѣя въ виду фотографическую регистрацію.

Отмѣтки времени на регистрирномъ валѣ достигаются проще всего при помощи маленькой ширмочки съ электромагнитомъ, соединеннымъ съ хорошими контактными часами. Каждую минуту замыкается контактъ и ширмочка притягивается электромагнитомъ и перехватываетъ, въ теченіе одной или двухъ секундъ, свѣтовой пучекъ лучей.

Сопротивленія проволокъ a, b и R, входящихъ въ составъ мостика, дѣлаются изъ проволоки съ нулевымъ температурнымъ коеффиціентомъ, а потому о постоянствѣ температуры въ помѣщеніи, гдѣ установлена регистрирная часть прибора, особенно заботиться не приходится.

Другое дѣло съ никелевыми проволоками.

Ихъ сопротивленіе зависитъ нѣсколько отъ температуры, но эту, весьма незначительную поправку на температуру легко всегда учесть.

Полезно также закрыть всю склянку F и трубку MN ватой, для предохраненія ея, по возможности, отъ быстрыхъ температурныхъ колебаній.

Постоянная Г, входящая въ формулу (16), остается постоянной, посколько остается неизмѣнной электродвижущая сила элемента E (см. черт. 5).

Хотя сила тока въ мостикѣ и очень незначительная, но съ теченіемъ времени элементъ можетъ всетаки нѣсколько ослабнуть, вслѣдствіе чего постоянная Г нѣсколько измѣнится.

Чтобы контролировать работу элемента, между вершинами C и D мостика Wheatstone'a вводится небольшой чувствительный вольтметръ V. Если элементъ ослабнетъ, то, уменьшая сопротивленіе R_0, можно легко возстановить начальную разность потенціаловъ между точками C и D.

Сопротивленіемъ R_0 можно также пользоваться для регулированія чувствительности записи. Чѣмъ меньше R_0, тѣмъ сильнѣе будетъ токъ въ мостикѣ, и, слѣдовательно, тѣмъ меньше будетъ k и Г, то есть, тѣмъ чувствительнѣе будетъ запись.

При подобныхъ изслѣдованіяхъ, небольшія, *медленныя*, возможныя колебанія въ величинѣ коеффиціента Г не имѣютъ большого практическаго значенія, такъ какъ важно знать, не столько абсолютную величину давленія столба воды въ источникѣ, сколько періодически повторяющіяся, черезъ опредѣленные промежутки времени, *измѣненія* этого давленія, которыя и характеризуютъ собою пульсацію источника, а именно *промежутокъ времени* между двумя послѣдующими пульсаціями.

Вышеописанный приборъ былъ также подвергнутъ г-омъ Веберомъ всестороннему испытанію въ Физической Лабораторіи Академіи Наукъ.

Для этой цѣли соединительная трубка L (см. черт. 4) была соединена

съ трубкой въ формѣ буквы U, въ которую была налита ртуть, а въ одно соединительное колѣно и вода. Приливая и выливая ртуть изъ этой трубки, можно было измѣнять давленіе на поверхность ртути въ склянкѣ F.

Это измѣненіе доходило до 265 $^{м}/_{м}$ ртутнаго столба.

Отсчеты различныхъ уровней воды и ртути дѣлались при помощи катетометра.

Такимъ образомъ, въ любой моментъ можно было знать давленіе въ приборѣ и соотвѣтствующее отклоненіе гальванометра.

Опыты г-на Вебера показали, что зависимость между измѣненіями давленія и отклоненіями гальванометра строго *линейная,* причемъ, при примѣненіи никелевыхъ проволокъ, сопротивленіе тотчасъ-же принимаетъ свою окончательную величину и не наблюдается никакого послѣдѣйствія, какъ, напр., у стальныхъ проволокъ. Всякое внезапное измѣненіе давленія также тотчасъ-же регистрируется приборомъ.

Отклоненія гальванометра наблюдались и визуально, при помощи трубы со шкалой, и записывались, при другой серіи опытовъ, на регистрирномъ валѣ. Въ послѣднемъ случаѣ отклоненіе свѣтовой точки на 1,15 $^{м}/_{м}$ соотвѣтствовало измѣненію давленія на 1 $^{м}/_{м}$ ртутнаго столба.

Измѣняя балластное сопротивленіе R_0, можно, конечно, легко установить приборъ по желанію на бо̀льшую или меньшую чувствительность.

Такимъ образомъ, не подлежитъ никакому сомнѣнію, что вышеописанный приборъ работаетъ вполнѣ правильно и можетъ съ успѣхомъ служить для изслѣдованія пульсацій интермитирующихъ источниковъ.

Въ заключеніе можно указать на то, что было бы вполнѣ цѣлесообразно, вмѣсто того, чтобы опредѣлять измѣненія сопротивленія никелевыхъ проволокъ при помощи мостика Wheatstone'a, воспользоваться особымъ приборомъ, основанномъ на принципѣ омметра, совершенно такого-же устройства, какъ ранѣе описанный электрическій термографъ. Такой приборъ могъ-бы быть изготовленъ фирмой Hartmann und Braun въ Франкфуртѣ по спеціальному заказу и прямо уже градуированъ въ миллиметрахъ давленія, при условіи заданія соотвѣтствующихъ величинъ сопротивленія проволокъ. Можно довольствоваться и произвольной шкалой, но тогда нужно уже самому прокалибрировать приборъ.

Примѣненіе такого автоматически регистрирующаго омметра представило-бы ту весьма значительную выгоду, что тогда можно было-бы совершенно избѣжать дорого стоющей фотографической регистраціи, чѣмъ значительно сократились бы текущіе расходы на наблюденія.

Къ тому-же и обращеніе съ приборомъ много выиграло бы въ простотѣ и удобствѣ.

Мы видимъ, такимъ образомъ, что лабораторныя испытанія, произведенныя съ тремя вышеописанными приборами, предназначенными для различныхъ наблюденій надъ пульсирующими источниками, показали, что всѣ они вполнѣ удовлетворяютъ своему назначенію.

Въ ближайшемъ будущемъ предположено приступить съ ними къ систематическимъ изслѣдованіямъ надъ Екатерининскимъ источникомъ въ Боржомѣ.

О приведенной длинѣ горизонтальнаго маятника съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ.

Кн. Б. Б. Голицынъ.

При обработкѣ сейсмограммъ, полученныхъ съ горизонтальнымъ маятникомъ, въ цѣляхъ полученія абсолютныхъ элементовъ движенія почвы, а еще въ большей степени при изслѣдованіяхъ надъ деформаціями земли подъ вліяніемъ лунно-солнечнаго притяженія, необходимо знать точную величину такъ называемой приведенной длины маятника l.

Обозначимъ черезъ m какую-нибудь массу, находящуюся въ разстояніи r отъ оси вращенія маятника; тогда подъ приведенной длиной маятника понимается слѣдующее выраженіе:

$$l = \frac{\Sigma mr^2}{\Sigma mr}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

гдѣ суммированіе должно быть распространено на всѣ подвижныя массы маятника.

Въ своей статьѣ «Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendel mit galvanometrischer Fernregistrierung»[1]) въ § 4 я указалъ на простой способъ, могущій служить для опредѣленія изъ наблюденій искомой величины l.

Этотъ способъ уже вошелъ въ практику сейсмометрическихъ наблюденій на тѣхъ русскихъ и заграничныхъ сейсмическихъ станціяхъ, гдѣ установлены аперіодическіе, горизонтальные маятники Пулковскаго образца. Этимъ способомъ пользовался и А. Я. Орловъ при своихъ изслѣдованіяхъ надъ деформаціями земли подъ вліяніемъ притяженія луны, причемъ онъ нашелъ этотъ способъ на практикѣ очень удобнымъ[2]).

---

[1]) Извѣстія Постоянной Центральной Сейсмической Комиссіи. Т. IV. Вып. 1.

[2]) См. Извѣстія Постоянной Центральной Сейсмической Комиссіи. Т. III. Вып. 3, стр. 101—104.

Сущность этого метода опредѣленія l заключается въ слѣдующемъ.

Обозначимъ черезъ T' собственный періодъ колебаній маятника при наличіи затуханія, черезъ Λ соотвѣтствующій логариѳмическій декрементъ, т.-е. обыкновенный (Бригговый) логариѳмъ отношенія абсолютныхъ величинъ двухъ послѣдующихъ максимальныхъ отклоненій маятника отъ положенія равновѣсія, черезъ i уголъ, составляемый осью вращенія маятника съ вертикальной линіей, а черезъ g ускореніе силы тяжести въ мѣстѣ наблюденій.

Тогда, какъ извѣстно изъ теоріи горизонтальнаго маятника, будутъ имѣть мѣсто слѣдующія два соотношенія:

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

и

$$n^2 = \frac{g}{l} \cdot i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Прикрѣпивъ къ горизонтальному маятнику, около его оси вращенія, небольшое плоское зеркальце, можно всегда, при помощи трубы съ горизонтальной шкалой и хорошаго, вывѣреннаго секундомѣра, опредѣлить изъ наблюденій соотвѣтствующія величины T' и Λ, а, слѣдовательно, и n.

Чтобы получить изъ формулы (3) искомую величину приведенной длины маятника l, надо еще знать уголъ наклона оси вращенія i.

Самый уголъ i нельзя непосредственно измѣрить, но *измѣненіе* его Δi можно опредѣлить съ большой точностью, пользуясь обычнымъ зеркальнымъ способомъ измѣренія малыхъ угловъ.

При этомъ, чѣмъ больше уголъ i, тѣмъ короче будетъ собственный періодъ колебаній маятника.

Для этой цѣли къ штативу прибора, внизу, прикрѣпляется неподвижное плоское зеркальце, нормаль къ которому находится въ плоскости, проходящей черезъ ось вращенія и вертикальную линію. Противъ этого зеркальца, въ разстояніи D, которое выбираютъ равнымъ 5—7 метрамъ, ставится другая труба съ большимъ увеличеніемъ, имѣющая горизонтальную нить, и *вертикальная* шкала.

Установимъ теперь маятникъ, поворачиваніемъ соотвѣтствующаго винта у штатива прибора, на длинный періодъ въ 30—35 секундъ.

Соотвѣтствующій этому періоду уголъ наклона оси обозначимъ черезъ i_0, величину n черезъ n_0, и пусть въ этомъ случаѣ отсчетъ на вертикальной шкалѣ будетъ h_0. Это будетъ исходное положеніе прибора.

Послѣ этого, дѣйствуя тѣмъ же винтомъ у штатива прибора, увеличиваютъ i_0 на величину $\Delta_1 i$; соотвѣтствующій отсчетъ на вертикальной шкалѣ пусть будетъ h_1.

Тогда

$$\Delta_1 i = \frac{h_1 - h_0}{2D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

При этомъ новомъ положеніи прибора опредѣляютъ вновь періодъ и декрементъ и выводятъ соотвѣтствующую величину постоянной n, которую мы въ этомъ случаѣ обозначимъ черезъ n_1.

Тогда, на основаніи уравненія (3), мы будемъ имѣть слѣдующія два уравненія:

$$n_0^2 \frac{l}{g} = i_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

и

$$n_1^2 \frac{l}{g} = i_0 + \Delta_1 i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Исключивъ изъ нихъ i_0 и, зная величины n_0, n_1 и $\Delta_1 i$, опредѣлимъ легко и искомую величину l.

Если до производства наблюденій значительно ослабить затуханіе прибора, раздвинувъ магниты и замкнувъ ихъ полюсы желѣзными пластинками, то вліяніе остаточнаго затуханія на періодъ маятника будетъ уже совершенно ничтожно, и можетъ сказаться развѣ только при длинныхъ періодахъ.

На практикѣ, однако, не ограничиваются однимъ только опредѣленіемъ $\Delta_1 i$, а производятъ цѣлый рядъ измѣненій наклоновъ, опредѣляя каждый разъ соотвѣтствующую величину n.

Тогда мы получимъ цѣлую группу линейныхъ уравненій, изъ которыхъ легко можемъ опредѣлить искомую величину l по способу наименьшихъ квадратовъ.

Введемъ для этого такія обозначенія:

$$x = i_0$$

$$y = \frac{l}{g}.$$

Если мы s разъ измѣняли наклонъ прибора, переходя все къ меньшимъ и меньшимъ періодамъ колебаній, то мы будемъ имѣть слѣдующую основную группу уравненій:

$$\left.\begin{aligned} n_0^2 y - x &= 0 \\ n_1^2 y - x &= \Delta_1 i \\ n_2^2 y - x &= \Delta_2 i \\ &\vdots \\ n_s^2 y - x &= \Delta_s i \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

Мы разсматриваемъ здѣсь y, какъ новую неизвѣстную.

Для опредѣленія изъ группы уравненій (7) y по способу наименьшихъ квадратовъ удобнѣе всего пользоваться слѣдующимъ пріемомъ.

Возьмемъ ариѳметическое среднее всѣхъ этихъ уравненій и, соотвѣтственно этому, введемъ слѣдующія обозначенія:

$$\left.\begin{aligned} n_m^{\,2} &= \frac{n_0^2 + n_1^2 + n_2^2 + \ldots + n_s^2}{s+1} \\ \Delta_m i &= \frac{\Delta_1 i + \Delta_2 i + \Delta_3 i + \ldots + \Delta_s i}{s+1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Тогда мы будемъ имѣть

$$n_m^{\,2} y - x = \Delta_m i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

Вычтемъ теперь это среднее уравненіе изъ каждаго изъ уравненій группы (7).

Тогда, вводя для удобства слѣдующія обозначенія:

$$\begin{aligned} n_0^{\,2} - n_m^{\,2} &= a_0 \\ n_1^{\,2} - n_m^{\,2} &= a_1 \\ n_2^{\,2} - n_m^{\,2} &= a_2 \\ &\vdots \\ n_s^{\,2} - n_m^{\,2} &= a_s \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned} 0 - \Delta_m i &= m_0 \\ \Delta_1 i - \Delta_m i &= m_1 \\ \Delta_2 i - \Delta_m i &= m_2 \\ &\vdots \\ \Delta_s i - \Delta_m i &= m_s, \end{aligned}$$

мы получимъ, окончательно, слѣдующую группу уравненій:

$$\left.\begin{aligned} a_0 y &= m_0 \\ a_1 y &= m_1 \\ a_2 y &= m_2 \\ &\vdots \\ a_s y &= m_s \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

Въ эти уравненія входитъ уже только одна неизвѣстная y.

Рѣшая ихъ согласно извѣстнымъ пріемамъ способа наименьшихъ квадратовъ и вводя, для сокращенія, слѣдующія извѣстныя обозначенія Гаусса:

$$(aa) = a_0 a_0 + a_1 a_1 + a_2 a_2 + \ldots + a_s a_s$$

$$(am) = a_0 m_0 + a_1 m_1 + a_2 m_2 + \ldots + a_s m_s,$$

мы получимъ слѣдующее нормальное уравненіе

$$(aa)y = (am), \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

изъ котораго и опредѣлится тотчасъ-же наивѣроятнѣйшее значеніе y.

При этомъ коеффиціентъ (aa) у y представитъ собою ничто иное, какъ вѣсъ g_y соотвѣтствующей неизвѣстной y.

Для опредѣленія средней ошибки этого вывода, подставляемъ найденное значеніе y въ уравненія (10) и вычисляемъ величины соотвѣтствующихъ уклоненій υ.

$$m_0 - a_0 y = \upsilon_0$$

$$m_1 - a_1 y = \upsilon_1$$

$$m_2 - a_2 y = \upsilon_2$$

$$\vdots$$

$$m_s - a_s y = \upsilon_s.$$

Составимъ теперь сумму квадратовъ этихъ уклоненій и раздѣлимъ эту сумму на число уравненій $(s+1)$ минусъ первоначальное число неизвѣстныхъ (2), т.-е. на $s-1$.

Тогда мы получимъ

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\Sigma \upsilon^2}{s-1}}.$$

Тогда, какъ извѣстно, средняя ошибка вывода y будетъ

$$\varepsilon_y = \frac{\varepsilon}{\sqrt{g_y}}.$$

Опредѣливши y, можно изъ уравненія (9), въ случаѣ надобности, найти и другую неизвѣстную x; но въ нашемъ случаѣ этого вовсе не требуется.

Опредѣливши y, найдемъ тотчасъ-же и искомую приведенную длину маятника

$$l = g\,y$$

со средней ошибкой

$$\varepsilon_l = g\,\varepsilon_y.$$

Этотъ методъ опредѣленія одной изъ неизвѣстныхъ по способу наименьшихъ квадратовъ особенно удобенъ и простъ и онъ всегда можетъ быть примѣненъ, когда коеффиціенты у другой неизвѣстной въ основной группѣ линейныхъ уравненій равны всѣ $+1$ или -1.

Такова теорія этого способа опредѣленія приведенной длины маятника. Самыя наблюденія и вычисленія очень простыя и производятся сравнительно быстро.

По описанному здѣсь пріему наблюденій былъ изслѣдованъ цѣлый рядъ апериодическихъ горизонтальныхъ маятниковъ съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ.

Разсматривая болѣе подробно результаты этихъ наблюденій, меня поразило то обстоятельство, что, приблизительно при тѣхъ-же самыхъ условіяхъ наблюденій, у разныхъ наблюдателей получаются нѣсколько отличныя другъ отъ друга величины для приведенной длины l. Эта разница доходитъ иногда почти до 2-хъ миллиметровъ.

Правда, такая разница въ $2\,^{м}/_{м}$, при общей величинѣ l, примѣрно, въ $120\,^{м}/_{м}$, не имѣетъ, при обработкѣ сейсмограммъ и при современной точности сейсмометрическихъ наблюденій, никакого практическаго значенія, но эти колебанія всетаки больше того, что можно было ожидать, основываясь на величинѣ средней ошибки ε_l вывода l.

Желая, однако, ближе выяснить дѣйствительную причину этихъ непонятныхъ несогласій, я разсмотрѣлъ болѣе подробно самую теорію этихъ наблюденій.

Этотъ анализъ привелъ меня къ тому выводу, что, при Цельнеровскомъ подвѣсѣ, въ предположеніи даже *полной нерастяжимости* поддерживающихъ стержень маятника проволокъ, приведенная длина маятника l не есть строго постоянная величина, а является *функціей угла наклона оси вращенія* i. Это явленіе обуславливается тѣмъ, что, при Цельнеровскомъ подвѣсѣ, горизонтальный маятникъ не представляетъ собою абсолютно твердой системы, а, при увеличеніи наклона оси вращенія i, самъ стержень маятника подается немного впередъ по отношенію къ штативу прибора, вслѣдствіе чего увеличивается и приведенная длина маятника l. Это обстоятельство можно, однако, легко принять во вниманіе и учесть.

Такимъ образомъ, строго говоря, каждому опредѣленному періоду колебаній маятника соотвѣтствуетъ и вполнѣ опредѣленная приведенная длина l.

Я долженъ, однако, сейчасъ-же оговориться, что эти измѣненія l вообще

чрезвычайно малы и не могутъ объяснить полностью несогласія въ результатахъ опредѣленія l различными наблюдателями. Въ чемъ кроется дѣйствительная причина этихъ несогласій мы увидимъ изъ дальнѣйшаго.

Разсмотримъ теперь подробно теорію Цельнеровскаго подвѣса въ примѣненіи къ горизонтальному маятнику Пулковскаго образца. Растяженіемъ проволокъ, которое во всякомъ случаѣ совершенно ничтожно, мы при этомъ будемъ пренебрегать.

Схематическій чертежъ такого горизонтальнаго маятника представленъ на слѣдующемъ черт. 1.

BH представляетъ собою стержень горизонтальнаго маятника; $AC_1 = l_1$ верхняя, а $B_1O = l_2$ нижняя проволока; A и O неподвижныя точки прикрѣпленія проволокъ.

Другіе концы проволокъ C_1 и B_1 не прикрѣплены непосредственно къ самому стержню маятника, а къ двумъ небольшимъ приливамъ CC_1 и BB_1, причемъ разстояніе точекъ C_1 и B_1 до оси стержня BH равно b.

Центръ тяжести всей подвижной системы находится въ G, въ разстояніи c сантиметровъ отъ оси стержня маятника BH. Вѣсъ всей системы пусть будетъ P.

Oz представляетъ собою вертикальную, а BT горизонтальную линію.

Дѣйствительная ось вращенія маятника будетъ линія OA, наклоненная подъ малымъ угломъ $DOA = i$ къ вертикальной линіи.

Возьмемъ общій случай, что стержень маятника составляетъ малый уголъ $TBH = \beta$ съ плоскостью горизонта.

Введемъ теперь, для удобства, слѣдующія обозначенія:

$$OD = h$$

$$BC = d$$

$$CH = m$$

$$\angle MAC_1 = \gamma$$

$$\angle MC_1A = \varphi$$

$$\angle EOB_1 = \delta$$

и

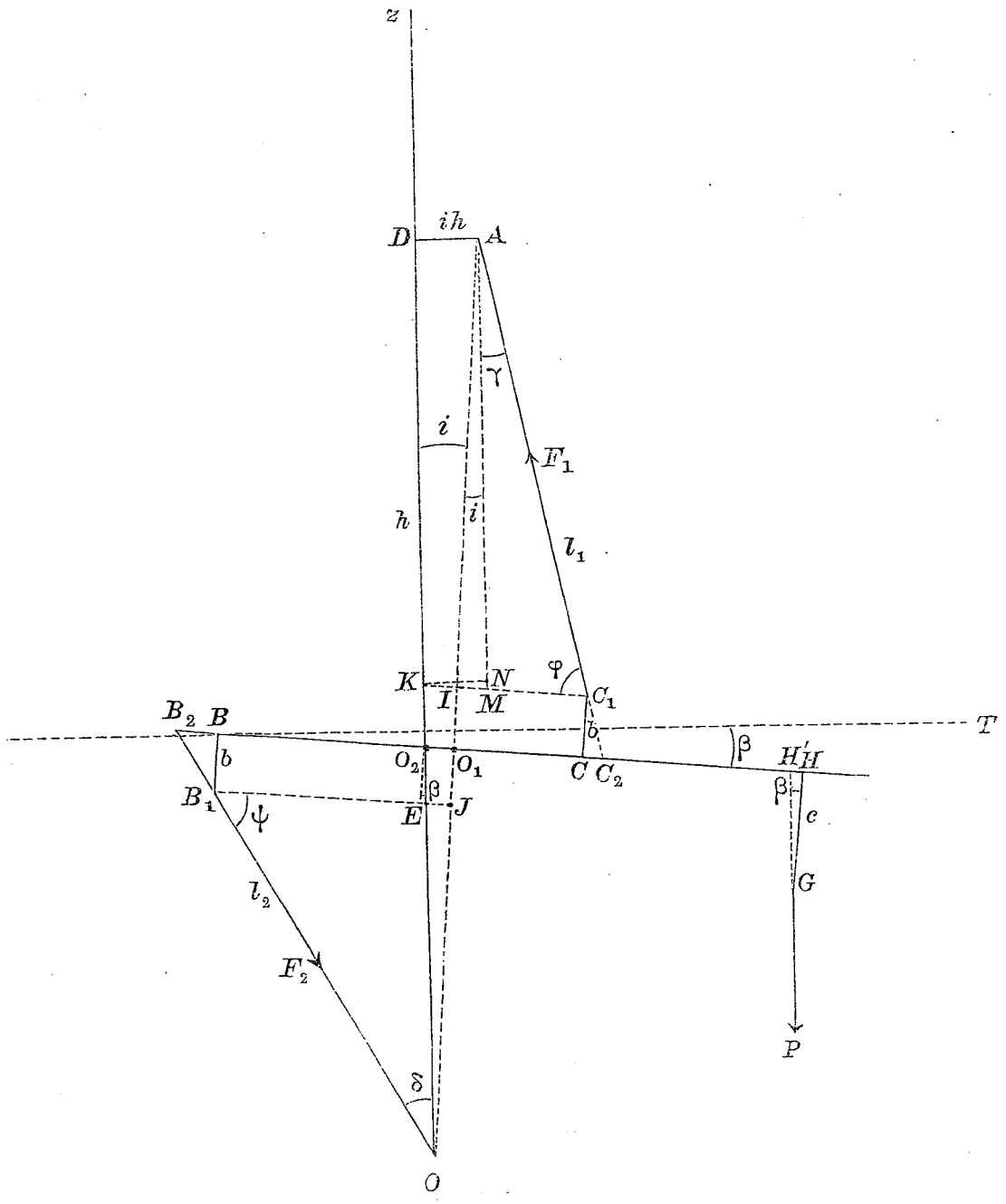
$$\angle EB_1O = \psi.$$

Углы i и β по предположенію суть очень малыя величины, квадратами и произведеніемъ которыхъ мы будемъ въ дальнѣйшемъ пренебрегать.

Выведемъ теперь условія равновѣсія данной системы.

Для этого найдемъ сначала зависимость между нѣкоторыми геометрическими величинами, обозначенными на черт. 1.

Черт. 1.



Изъ треугольниковъ OB_1J и OB_1E мы имѣемъ:

$$\frac{B_1J}{l_2} = \frac{\sin(\delta + i)}{\sin(\psi + \delta + i)}$$

и

$$\frac{OE}{l_2} = \frac{\sin \psi}{\sin (\psi + \delta)}.$$

Точно также изъ треугольниковъ AC_1I и AC_1M слѣдуетъ, что

$$\frac{C_1I}{l_1} = \frac{\sin (\gamma + i)}{\sin (\varphi + \gamma + i)}$$

и

$$\frac{AM}{l_1} = \frac{\sin \varphi}{\sin (\varphi + \gamma)}.$$

Далѣе изъ чертежа находимъ, принимая во вниманіе, что уголъ $NKM = \beta$,

$$DK = AM - NM = AM - ih \operatorname{tg} \beta = AM - i\beta h$$

и

$$KE = \frac{2b}{\cos \beta}.$$

Пренебрегая членами высшихъ порядковъ, получимъ просто

$$DK = AM$$

и

$$KE = 2b.$$

Съ другой стороны,

$$DK + KE + OE = h$$

или

$$AM + 2b + OE = h.$$

Подставляя сюда ранѣе найденныя выраженія для AM и OE, будемъ имѣть

$$l_1 \frac{\sin \varphi}{\sin (\varphi + \gamma)} + l_2 \frac{\sin \psi}{\sin (\psi + \delta)} = h - 2b \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

Далѣе изъ чертежа видно, что уголъ между BB_1 или CC_1 и осью вращенія OA равенъ $i - \beta$, такъ какъ первыя два направленія составляютъ уголъ β, а второе уголъ i съ той-же вертикальной линіей Oz.

Слѣдовательно,

$$BO_1 = B_1J + b(i - \beta)$$

и

$$CO_1 = C_1I + b(i - \beta).$$

Эти выраженія всегда справедливы будетъ ли i больше или меньше β.

Съ другой стороны,

$$BO_1 + CO_1 = BC = d;$$

слѣдовательно,

$$B_1 J + C_1 I = d + 2b(\beta - i).$$

Подставляя сюда ранѣе найденныя выраженія для $B_1 J$ и $C_1 I$, будемъ имѣть

$$l_1 \frac{\sin(\gamma + i)}{\sin(\varphi + \gamma + i)} + l_2 \frac{\sin(\delta + i)}{\sin(\psi + \delta + i)} = d + 2b(\beta - i) \ldots\ldots\ldots (13)$$

Формулы (12) и (13) можно значительно упростить.

Изъ треугольниковъ $B_1 EO$ и $C_1 MA$ мы имѣемъ

$$\psi + \delta + 90^\circ + \beta = 180^\circ$$

и

$$\varphi + \gamma + 90^\circ + \beta = 180^\circ.$$

Слѣдовательно,

$$\psi + \delta = 90^\circ - \beta,$$

$$\varphi + \gamma = 90^\circ - \beta$$

и

$$\psi + \delta + i = 90^\circ - (\beta - i),$$

$$\varphi + \gamma + i = 90^\circ - (\beta - i).$$

Такимъ образомъ,

$$\sin(\psi + \delta) = \cos\beta = 1$$

$$\sin(\varphi + \gamma) = \cos\beta = 1$$

$$\sin(\psi + \delta + i) = \cos(\beta - i) = 1$$

и

$$\sin(\varphi + \gamma + i) = \cos(\beta - i) = 1.$$

Принимая во вниманіе эти соотношенія, предыдущія уравненія (12) и (13) перепишутся въ слѣдующемъ видѣ:

$$l_1 \sin\varphi + l_2 \sin\psi = h - 2b \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

и

$$l_1 \sin(\gamma + i) + l_2 \sin(\delta + i) = d + 2b(\beta - i) \ldots\ldots\ldots (15)$$

Но

$$\varphi = 90^\circ - (\gamma + \beta)$$

и

$$\psi = 90^\circ - (\delta + \beta).$$

Слѣдовательно, уравненіе (14) можно еще представить слѣдующимъ образомъ:

$$l_1 \cos(\gamma + \beta) + l_2 \cos(\delta + \beta) = h - 2b \ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

Разовьемъ теперь уравненія (16) и (15), пренебрегая членами высшихъ порядковъ.

$$l_1 \cos\gamma + l_2 \cos\delta - \{l_1 \sin\gamma + l_2 \sin\delta\} \cdot \beta = h - 2b \ldots\ldots\ldots (17)$$

$$l_1 \sin\gamma + l_2 \sin\delta + \{l_1 \cos\gamma + l_2 \cos\delta\} \cdot i = d + 2b(\beta - i) \ldots (18)$$

Умножимъ уравненіе (18) на β и сложимъ его съ уравненіемъ (17), а потомъ умножимъ уравненіе (17) на $-i$ и сложимъ его съ уравненіемъ (18).

Тогда, пренебрегая членами высшихъ порядковъ, мы получимъ слѣдующія два окончательныя соотношенія:

$$l_1 \cos\gamma + l_2 \cos\delta = h - 2b + d \cdot \beta \ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

и

$$l_1 \sin\gamma + l_2 \sin\delta = d + 2b \cdot \beta - hi \ldots\ldots\ldots\ldots (20)$$

Эти двѣ формулы устанавливаютъ связь между отдѣльными геометрическими величинами черт. 1.

Въ этихъ формулахъ количества l_1, l_2, h, d и b суть нѣкоторыя постоянныя, строго *неизмѣнныя* величины, тогда какъ углы γ, δ, β и i могутъ измѣняться въ зависимости отъ наклона штатива маятника.

Выведемъ теперь *механическія* условія равновѣсія системы.

Обозначимъ черезъ F_1 натяженіе верхней, а черезъ F_2 натяженіе нижней проволоки. Сила F_1 направлена вверхъ, а F_2 внизъ.

Такимъ образомъ, наша подвижная система находится подъ дѣйствіемъ трехъ внѣшнихъ силъ, а именно F_1, F_2 и вѣса всей системы P. Силы эти приложены соотвѣтственно въ точкахъ C_1, B_1 и G.

Выразимъ теперь условія, что, при равновѣсіи, сумма проэкцій всѣхъ силъ на направленіе вертикали Oz и на направленіе стержня маятника BH равны нулю.

Первое условіе даетъ намъ

$$F_1 \cos\gamma = F_2 \cos\delta + P \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (21)$$

Второе условіе приводитъ къ слѣдующему соотношенію:

$$F_1 \cos\varphi = F_2 \cos\psi + P \cdot \beta.$$

Но такъ какъ, какъ мы видѣли раньше,

$$\left.\begin{aligned}\varphi &= 90^\circ - (\gamma + \beta)\\ \psi &= 90^\circ - (\delta + \beta)\end{aligned}\right\}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

и

то мы будемъ имѣть

$$F_1 \sin(\gamma + \beta) = F_2 \sin(\delta + \beta) + P.\beta,$$

или, пренебрегая членами высшихъ порядковъ,

$$F_1 \sin\gamma = F_2 \sin\delta + \{F_2 \cos\delta + P - F_1 \cos\gamma\}\beta.$$

Но, такъ какъ выраженіе, стоящее въ скобкахъ въ правой части этого уравненія, въ силу соотношенія (21), равно нулю, то мы будемъ просто имѣть

$$F_1 \sin\gamma = F_2 \sin\delta. \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (23)$$

Это соотношеніе можно было бы написать и прямо, проектируя силы на направленіе BT (см. черт. 1).

Третье соотношеніе между силами получится, если мы выразимъ условіе, что моменты двухъ силъ F_2 и P относительно точки C_2 (см. черт. 1) должны взаимно уравновѣшиваться.

Плечо первой силы будетъ

$$B_2 C_2 = B_2 B + BC + CC_2 = b\,\mathrm{cotg}\,\psi + d + b\,\mathrm{cotg}\,\varphi,$$

а плечо второй силы

$$H'C_2 = CH - CC_2 - HH' = m - b\,\mathrm{cotg}\,\varphi - c\,\beta.$$

Проэкціи-же этихъ силъ на направленіе перпендикулярное къ плечу, будутъ соотвѣтственно

$$F_2 \sin\psi$$

и

$$P\cos\beta = P.$$

Такимъ образомъ, третье механическое условіе равновѣсія представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$F_2 \sin\psi\,[d + b\,\{\mathrm{cotg}\,\varphi + \mathrm{cotg}\,\psi\}] = P\,[m - b\,\mathrm{cotg}\,\varphi - c\beta].$$

Подставляя сюда значенія φ и ψ изъ формулъ (22), будемъ имѣть

$$F_2 \cos(\delta + \beta)\,[d + b\,\{\operatorname{tg}(\gamma + \beta) + \operatorname{tg}(\delta + \beta)\}] = P\,[m - b\operatorname{tg}(\gamma + \beta) - c\beta] \ldots\ldots (24)$$

Уравненія (21), (23) и (24) и представляютъ собою три механическія условія равновѣсія.

Подставляя значеніе F_1 изъ уравненія (23) въ уравненіе (21), получимъ

$$F_2 \frac{\sin\delta}{\sin\gamma} \cdot \cos\gamma = F_2 \cos\delta + P$$

или

$$F_2 = \frac{P \sin\gamma}{\sin(\delta - \gamma)}.$$

Подставляя это значенія F_2 въ формулу (24), мы видимъ, что P сократится и останется уравненіе, связывающее только углы β, γ и δ съ постоянными величинами d, m, b и c.

Такимъ образомъ, мы будемъ имѣть

$$\sin\gamma \cos(\delta + \beta)\,[d + b\,\{\operatorname{tg}(\gamma + \beta) + \operatorname{tg}(\delta + \beta)\}]$$
$$= \sin(\delta - \gamma)\,[m - b\operatorname{tg}(\gamma + \beta) - c\beta] \ldots . (25)$$

Найдемъ теперь отсюда выраженіе для β, пренебрегая опять членами высшихъ порядковъ.

$$\cos(\delta + \beta) = \cos\delta - \beta\sin\delta,$$

$$\operatorname{tg}(\gamma + \beta) = \frac{\operatorname{tg}\gamma + \beta}{1 - \beta.\operatorname{tg}\gamma} = (\operatorname{tg}\gamma + \beta)(1 + \beta\operatorname{tg}\gamma)$$

$$= \operatorname{tg}\gamma + \beta(1 + \operatorname{tg}^2\gamma) = \operatorname{tg}\gamma + \frac{\beta}{\cos^2\gamma}$$

и

$$\operatorname{tg}(\delta + \beta) = \operatorname{tg}\delta + \frac{\beta}{\cos^2\delta}.$$

Подставляя эти выраженія въ уравненіе (25), получимъ

$$\sin\gamma\,\{\cos\delta - \beta\sin\delta\}\left[d + b(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\delta) + b\beta\left(\frac{1}{\cos^2\gamma} + \frac{1}{\cos^2\delta}\right)\right]$$
$$= \sin(\delta - \gamma)\left[m - b\operatorname{tg}\gamma - \beta\left(c + \frac{b}{\cos^2\gamma}\right)\right].$$

Раздѣлимъ теперь это уравненіе на $d + b(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\delta)$ и введемъ слѣдующія обозначенія:

$$p = \frac{m - b\operatorname{tg}\gamma}{d + b(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\delta)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (26)$$

$$q = \frac{c + \frac{b}{\cos^2 \gamma}}{d + b(\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \delta)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (27)$$

и

$$r = \frac{b\left\{\frac{1}{\cos^2 \gamma} + \frac{1}{\cos^2 \delta}\right\}}{d + b(\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \delta)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (28)$$

Тогда мы будемъ имѣть

$$\sin \gamma \{\cos \delta - \beta \sin \delta\} [1 + r\beta] = \sin(\delta - \gamma)[p - q\beta]$$

или

$$\sin \gamma \cos \delta - p\{\sin \delta \cos \gamma - \sin \gamma \cos \delta\}$$
$$= \beta \sin \gamma \sin \delta - q\beta\{\sin \delta \cos \gamma - \sin \gamma \cos \delta\} - r\beta \sin \gamma \cos \delta.$$

Раздѣлимъ это уравненіе на произведеніе $\cos \gamma \cos \delta$; тогда мы получимъ окончательно

$$\beta = \frac{P}{Q}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (29)$$

гдѣ, для удобства, введены слѣдующія обозначенія:

$$P = \operatorname{tg} \gamma - p\{\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \gamma\} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (30)$$

и

$$Q = \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg} \delta - q\{\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \gamma\} - r \operatorname{tg} \gamma \ldots\ldots\ldots (31)$$

Такъ какъ въ горизонтальныхъ маятникахъ β, вообще говоря, мало отличается отъ нуля, то, слѣдовательно, и P будетъ очень мало.

Уравненія (19), (20) и (29) рѣшаютъ вполнѣ вопросъ о положеніи равновѣсія горизонтальнаго маятника съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ, такъ какъ изъ этихъ трехъ уравненій можно, для каждаго заданнаго угла наклона оси i, опредѣлить соотвѣтствующіе углы β, γ и δ. Эти три угла являются, такимъ образомъ, функціями угла наклона i оси вращенія маятника.

Рѣшеніемъ этихъ уравненій мы, однако, заниматься не будемъ.

Обращаясь теперь къ черт. 1, мы видимъ, что точка O_1 лежитъ на оси вращенія OA.

Разстояніе какой-нибудь точки стержня маятника, напр. B, до точки O_1 будетъ, какъ мы видѣли раньше,

$$BO_1 = B_1 J + b(i - \beta).$$

Съ другой стороны, мы имѣли изъ треугольника OB_1J

$$B_1J = l_2 \frac{\sin(\delta + i)}{\sin(\psi + \delta + i)}.$$

Но, такъ какъ мы видѣли, что, съ точностью до величинъ второго порядка,

$$\sin(\psi + \delta + i) = \cos(\beta - i) = 1,$$

то мы будемъ имѣть

$$BO_1 = l_2 \sin(\delta + i) + b(i - \beta) \ldots\ldots\ldots\ldots (32)$$

или

$$BO_1 = l_2 \sin\delta + (l_2 \cos\delta + b)i - b\beta \ldots\ldots\ldots\ldots (33)$$

Для цѣли настоящаго изслѣдованія эта послѣдняя формула особенно важна.

Она показываетъ, что разстояніе точки B, а, слѣдовательно, и любой другой точки стержня маятника, до точки пересѣченія O_1 оси вращенія OA со стержнемъ маятника BH измѣняется вмѣстѣ съ наклономъ оси. Слѣдовательно, разстояніе r различныхъ массъ маятника до оси вращенія будетъ также измѣняться вмѣстѣ съ i.

Такимъ образомъ, мы видимъ, принимая во вниманіе формулу (1), что приведенная длина l горизонтальнаго маятника съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ не представляетъ собою вполнѣ постоянную величину, а измѣняется нѣсколько вмѣстѣ съ наклономъ оси i.

Иначе говоря, приведенная длина такого горизонтальнаго маятника есть *функція его періода колебаній.*

При абсолютно твердой системѣ, такая зависимость l отъ i не могла бы имѣть мѣсто.

Дѣйствительно, если бы уголъ i увеличился на ∂i, то на такую-же величину увеличился бы и уголъ β, а углы γ и δ уменьшились бы на ∂i.

Это ясно изъ чертежа 1, такъ какъ увеличеніе i на ∂i равносильно тому, какъ-будто линіи Oz и BT повернулись на тотъ-же уголъ ∂i влѣво.

Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ

$$\left.\begin{aligned} \partial\beta &= \partial i \\ \partial\gamma &= -\partial i \\ \partial\delta &= -\partial i \end{aligned}\right\}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (34)$$

и тогда формула (32) показываетъ, что BO_1, а, слѣдовательно и l, остается строго постояннымъ.

При Цельперовскомъ-же подвѣсѣ, такъ какъ стержень маятника, при измѣненіяхъ угла i, можетъ нѣсколько перемѣщаться параллельно самому себѣ, то соотношенія (34) не имѣютъ болѣе мѣста, вслѣдствіе чего и приведенная длина маятника будетъ нѣсколько зависѣть отъ угла наклона оси i.

Воспользуемся теперь ранѣе выведенными формулами, чтобы опредѣлить измѣненіе ∂l приведенной длины маятника, вызванное измѣненіемъ наклона оси вращенія ∂i. Въ дальнѣйшемъ мы будемъ предполагать, что ∂i мало, что, дѣйствительно, и имѣетъ всегда мѣсто на практикѣ.

Пусть $\partial\beta$, $\partial\gamma$ и $\partial\delta$ представляютъ собою измѣненія угловъ β, γ и δ, соотвѣтствующія увеличенію i на ∂i.

Въ формулу (29) i явно не входитъ, а потому, дифференцируя это выраженіе, получимъ

$$\partial\beta = A\partial\gamma + B\partial\delta, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (35)$$

гдѣ

$$A = \frac{1}{Q}\cdot\frac{\partial P}{\partial\gamma} - \frac{P}{Q^2}\cdot\frac{\partial Q}{\partial\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (36)$$

и

$$B = \frac{1}{Q}\cdot\frac{\partial P}{\partial\delta} - \frac{P}{Q^2}\cdot\frac{\partial Q}{\partial\delta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (37)$$

Изъ формулъ (30) и (31) слѣдуетъ далѣе:

$$\frac{\partial P}{\partial\gamma} = (1+p)\frac{1}{\cos^2\gamma} + (\operatorname{tg}\gamma - \operatorname{tg}\delta)\cdot\frac{\partial p}{\partial\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (38)$$

$$\frac{\partial P}{\partial\delta} = -\frac{p}{\cos^2\delta} + (\operatorname{tg}\gamma - \operatorname{tg}\delta)\cdot\frac{\partial p}{\partial\delta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (39)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial\gamma} = \{\operatorname{tg}\delta + q - r\}\cdot\frac{1}{\cos^2\gamma} - \{\operatorname{tg}\delta - \operatorname{tg}\gamma\}\cdot\frac{\partial q}{\partial\gamma} - \operatorname{tg}\gamma\cdot\frac{\partial r}{\partial\gamma} \ldots\ldots (40)$$

и

$$\frac{\partial Q}{\partial\delta} = \{\operatorname{tg}\gamma - q\}\cdot\frac{1}{\cos^2\delta} - \{\operatorname{tg}\delta - \operatorname{tg}\gamma\}\cdot\frac{\partial q}{\partial\delta} - \operatorname{tg}\gamma\cdot\frac{\partial r}{\partial\delta} \ldots\ldots (41)$$

Выраженія для производныхъ $\frac{\partial p}{\partial\gamma}, \frac{\partial p}{\partial\delta}, \frac{\partial q}{\partial\gamma}, \frac{\partial q}{\partial\delta}, \frac{\partial r}{\partial\gamma}$ и $\frac{\partial r}{\partial\delta}$ получатся соотвѣтственно изъ формулъ (26), (27) и (28).

Въ частномъ случаѣ, когда начальный уголъ β очень малъ, что всегда легко на практикѣ осуществить, можно, съ совершенно достаточной точностью, положить въ предыдущихъ *дифференціальныхъ формулахъ* $P = 0$.

Тогда выраженія для A и B значительно упростятся.

Въ этомъ случаѣ мы будемъ просто имѣть

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{1}{Q}\left[(1+p)\frac{1}{\cos^2\gamma} + (\operatorname{tg}\gamma - \operatorname{tg}\delta)\cdot\frac{\partial p}{\partial\gamma}\right] \\ B &= -\frac{1}{Q}\left[\frac{p}{\cos^2\delta} - (\operatorname{tg}\gamma - \operatorname{tg}\delta)\cdot\frac{\partial p}{\partial\delta}\right] \end{aligned}\right\}, \quad \ldots\ldots\ldots(42)$$

и

гдѣ

$$Q = \operatorname{tg}\gamma\operatorname{tg}\delta - q\{\operatorname{tg}\delta - \operatorname{tg}\gamma\} - r\operatorname{tg}\gamma, \quad \ldots\ldots\ldots(43)$$

$$\frac{\partial p}{\partial\gamma} = -\frac{b}{\cos^2\gamma}\cdot\frac{d + m + b\operatorname{tg}\delta}{[d + b\{\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\delta\}]^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(44)$$

и

$$\frac{\partial p}{\partial\delta} = -\frac{b}{\cos^2\delta}\cdot\frac{m - b\operatorname{tg}\gamma}{[d + b\{\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\delta\}]^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(45)$$

Такимъ образомъ, когда начальныя значенія угловъ γ и δ извѣстны, можно всегда легко вычислить значенія коеффиціентовъ A и B.

Обратимся теперь къ уравненіямъ (19) и (20).

Дифференцируя первое изъ нихъ, находимъ

$$-l_1\sin\gamma\,.\,\partial\gamma - l_2\sin\delta\,.\,\partial\delta = d\,.\,\partial\beta.$$

Подставимъ теперь сюда значеніе $\partial\beta$ изъ формулы (35).

Тогда

$$-l_1\sin\gamma\,.\,\partial\gamma - l_2\sin\delta\,.\,\partial\delta = A\,.\,d\,.\,\partial\gamma + B\,.\,d\,.\,\partial\delta.$$

Отсюда находимъ

$$\partial\delta = -\frac{l_1\sin\gamma + A\,.\,d}{l_2\sin\delta + B\,.\,d}\cdot\partial\gamma. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(46)$$

Дифференцируя-же формулу (20) будемъ имѣть, принимая еще во вниманіе соотношеніе (35),

$$l_1\cos\gamma\,.\,\partial\gamma + l_2\cos\delta\,.\,\partial\delta = 2b\{A\partial\gamma + B\partial\delta\} - h\,.\,\partial i$$

или

$$\{l_1\cos\gamma - 2bA\}\,\partial\gamma + \{l_2\cos\delta - 2bB\}\,\partial\delta = -h\,.\,\partial i.$$

Подставимъ теперь сюда значеніе $\partial\delta$ изъ формулы (46).

Тогда мы получимъ

$$\frac{1}{l_2\sin\delta + Bd}[\{l_1\cos\gamma - 2bA\}\{l_2\sin\delta + Bd\} - \{l_2\cos\delta - 2bB\}\{l_1\sin\gamma + Ad\}]\,.\,\partial\gamma = -h\,.\,\partial i$$

или

$$[l_1 l_2 \sin(\delta - \gamma) + 2b\{Bl_1 \sin\gamma - Al_2 \sin\delta\}$$
$$+ d\{Bl_1 \cos\gamma - Al_2 \cos\delta\}] . \partial\gamma = -h\{l_2 \sin\delta + Bd\} . \partial i.$$

Введемъ теперь такое обозначеніе:

$$H = \sin(\delta - \gamma) + 2b\left\{\frac{B}{l_2}\sin\gamma - \frac{A}{l_1}\sin\delta\right\} + d\left\{\frac{B}{l_2}\cos\gamma - \frac{A}{l_1}\cos\delta\right\} \ldots . (47)$$

Тогда мы будемъ имѣть

$$\partial\gamma = -h \cdot \frac{\{l_2 \sin\delta + Bd\}}{l_1 l_2 H} \cdot \partial i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (48)$$

Подставляя это выраженіе въ формулу (46), получимъ

$$\partial\delta = h \cdot \frac{\{l_1 \sin\gamma + Ad\}}{l_1 l_2 H} \cdot \partial i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (49)$$

Подставляя-же эти выраженія въ формулу (35), будемъ имѣть

$$\partial\beta = h \cdot \frac{\{Bl_1 \sin\gamma - Al_2 \sin\delta\}}{l_1 l_2 H} \cdot \partial i$$

или

$$\partial\beta = h \cdot \frac{\left\{\frac{B}{l_2}\sin\gamma - \frac{A}{l_1}\sin\delta\right\}}{H} \cdot \partial i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (50)$$

Формулы (48), (49) и (50) и опредѣляютъ собою приращенія трехъ угловъ γ, δ и β.

Формулы эти имѣютъ довольно симметричный видъ.

Обратимся теперь къ формулѣ (32).

Дифференцируя ее, находимъ

$$\partial(BO_1) = l_2 \cos(\delta + i)\{\partial\delta + \partial i\} - b(\partial\beta - \partial i).$$

Такъ какъ, при увеличеніи наклона оси i, стержень маятника подается впередъ, т.-е. на черт. 1 вправо, то $\partial(BO_1)$ будетъ отрицательно.

Обозначимъ *абсолютную* величину перемѣщенія стержня маятника вправо черезъ ε.

Тогда

$$-\partial(BO_1) = \varepsilon = -l_2 \cos(\delta + i)\{\partial\delta + \partial i\} + b(\partial\beta - \partial i). \ldots (51)$$

Въ виду малости угловъ i и β, можно принять, что на такую-же величину ε измѣнятся и разстоянія r отдѣльныхъ массъ m подвижной части системы до оси вращенія.

Обозначая начальную приведенную длину маятника черезъ l, начальное разстояніе центра тяжести системы до оси вращенія черезъ l_0, гдѣ

$$l_0 = \frac{\Sigma mr}{\Sigma m}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (52)$$

а новую приведенную длину маятника черезъ l', гдѣ

$$l' = l + \partial l, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (53)$$

мы будемъ, на основаніи формулы (1), имѣть

$$l' = \frac{\Sigma m (r + \varepsilon)^2}{\Sigma m (r + \varepsilon)}.$$

Отсюда находимъ

$$l' = \frac{\Sigma mr^2 + 2\varepsilon . \Sigma mr + \varepsilon^2 . \Sigma m}{\Sigma mr + \varepsilon . \Sigma m}$$

или

$$l' = \frac{\Sigma mr^2}{\Sigma mr} \cdot \frac{1 + 2\varepsilon \cdot \frac{\Sigma mr}{\Sigma mr^2} + \varepsilon^2 \cdot \frac{\Sigma m}{\Sigma mr^2}}{1 + \varepsilon \cdot \frac{\Sigma m}{\Sigma mr}}.$$

Въ виду чрезвычайной малости ε, мы можемъ пренебречь его квадратомъ.

Тогда, на основаніи обозначеній (1) и (52), мы будемъ имѣть

$$l' = l \cdot \frac{1 + 2\varepsilon \cdot \frac{1}{l}}{1 + \varepsilon \cdot \frac{1}{l_0}}$$

или

$$l' = l \left\{ 1 + \varepsilon \left(\frac{2}{l} - \frac{1}{l_0} \right) \right\},$$

или, окончательно, согласно формулѣ (53),

$$\partial l = \varepsilon \left(2 - \frac{l}{l_0} \right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (54)$$

Такъ какъ ε пропорціонально ∂i, то мы можемъ положить

$$\partial l = \nu . \partial i, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (55)$$

гдѣ

$$\nu = \left(2 - \frac{l}{l_0}\right)[- l_2 \cos(\delta + i)\{\partial\delta + \partial i\} + b(\partial\beta - \partial i)] \ldots\ldots (56)$$

Входящія въ эту формулу величины $\partial\delta$ и $\partial\beta$ также пропорціональны ∂i. Онѣ опредѣляются соотвѣтственно формулами (49) и (50).

Мы увидимъ изъ дальнѣйшаго, что коеффиціентъ ν положительный, т.-е., что l увеличивается вмѣстѣ съ i.

Формулы (55) и (56) и служатъ для опредѣленія измѣненія приведенной длины маятника l.

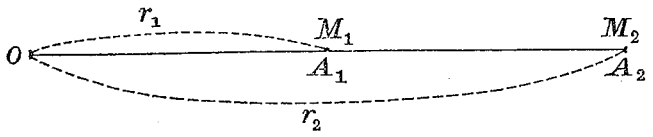
Замѣтимъ здѣсь кстати, что, даже при наличіи смѣщенія стержня маятника на величину ε, расположеніе массъ системы можетъ быть таково, что это смѣщеніе ε не вызоветъ измѣненія приведенной длины маятника l.

Для этого надо только, чтобы было выполнено условіе

$$2 - \frac{l}{l_0} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (57)$$

Что такое условіе дѣйствительно выполнимо, легко показать хотя-бы на частномъ примѣрѣ двухъ отдѣльныхъ массъ M_1 и M_2, какъ-бы сконцентрированныхъ въ двухъ точкахъ A_1 и A_2, въ разстояніяхъ r_1 и r_2 отъ оси вращенія (см. черт. 2).

Черт. 2.



Сохраняя предыдущія обозначенія, мы, на основаніи формулъ (1) и (52), будемъ имѣть

$$l = \frac{M_1 r_1^2 + M_2 r_2^2}{M_1 r_1 + M_2 r_2}$$

и

$$l_0 = \frac{M_1 r_1 + M_2 r_2}{M_1 + M_2}.$$

Тогда

$$\frac{l}{l_0} = \frac{(M_1 + M_2)(M_1 r_1^2 + M_2 r_2^2)}{(M_1 r_1 + M_2 r_2)^2}.$$

Введемъ теперь въ эту формулу отношенія массъ и соотвѣтствующихъ разстояній, и соотвѣтственно этому положимъ

$$v = \frac{M_2}{M_1}$$

и

$$u = \frac{r_2}{r_1}.$$

Тогда мы будемъ имѣть

$$\frac{l}{l_0} = \frac{(1+v)(1+vu^2)}{(1+vu)^2}.$$

Задавъ отношеніе массъ v, мы можемъ всегда подыскать для отношенія разстояній u такую величину, при которой условіе (57) будетъ удовлетворено. Для этого u должно быть корнемъ слѣдующаго квадратнаго уравненія:

$$(1+v)(1+vu^2) = 2(1+vu)^2.$$

Развивая это выраженіе, находимъ

$$1+v+vu^2+v^2u^2 = 2+4vu+2v^2u^2$$

или

$$(v^2-v)u^2+4vu+(1-v) = 0,$$

или еще

$$u^2+\frac{4}{v-1}\cdot u-\frac{1}{v} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (58)$$

Рѣшая это квадратное уравненіе, находимъ

$$u = -\frac{2}{v-1} \pm \sqrt{\frac{4}{(v-1)^2}+\frac{1}{v}}$$

$$= \frac{1}{v-1}\left[-2 \pm \frac{1}{\sqrt{v}}\cdot\sqrt{4v+v^2-2v+1}\right]$$

$$= \frac{1}{v-1}\left[-2 \pm \frac{v+1}{\sqrt{v}}\right].$$

Одинъ корень уравненія (58) будетъ

$$u_1 = \frac{1}{(v-1)\sqrt{v}}\{\sqrt{v}-1\}^2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (59)$$

а другой

$$u_2 = -\frac{1}{(v-1)\sqrt{v}}\{\sqrt{v}+1\}^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (60)$$

Если обѣ массы взяты по ту-же сторону отъ оси вращенія, то u всегда положительно.

Если $v > 1$, то u_1 удовлетворяетъ условіямъ поставленной задачи; если-же $v < 1$, то надо взять второй корень u_2.

Напр., если $v = 4$, то $u = u_1 = \frac{1}{6}$.

Если-же $v = \frac{1}{4}$, то $u = u_2 = 6$.

Такимъ образомъ, мы видимъ, что всякому заданному v, можно подыскать соотвѣтствующее значеніе u, при которомъ условіе (57) будетъ удовлетворено.

Любопытно отмѣтить, что, для $v = 9$ и $v = \frac{1}{9}$, получаются тѣ-же значенія для u, что и при $v = 4$ и $v = \frac{1}{4}$.

Установивши фактъ зависимости приведенной длины маятника отъ угла наклона оси вращенія i, посмотримъ, какъ это обстоятельство отразится на ранѣе выведенныхъ формулахъ, служащихъ для опредѣленія приведенной длины маятника изъ наблюденій надъ качаніями при различныхъ наклонахъ оси i.

Пусть l представляетъ собою приведенную длину маятника при наибольшемъ періодѣ колебаній.

Тогда формула (5) сохраняетъ свою силу и мы попрежнему будемъ имѣть

$$n_0^2 \cdot \frac{l}{g} = i_0.$$

Если теперь наклонъ оси увеличится на $\Delta_1 i$, то, согласно формулѣ (55), l увеличится на $\nu \Delta_1 i$, и тогда, вмѣсто формулы (6), мы должны написать

$$n_1^2 \cdot \frac{l + \nu \Delta_1 i}{g} = i_0 + \Delta_1 i$$

или

$$n_1^2 \cdot \frac{l}{g} = i_0 + \left(1 - n_1^2 \cdot \frac{\nu}{g}\right) \Delta_1 i.$$

Тогда, сохраняя прежнія обозначенія для x и y, мы получимъ, взамѣнъ уравненій (7), слѣдующую группу уравненій:

$$\left.\begin{aligned} n_0^2 y - x &= 0 \\ n_1^2 y - x &= \left(1 - n_1^2 \cdot \frac{\nu}{g}\right) \Delta_1 i \\ n_2^2 y - x &= \left(1 - n_2^2 \cdot \frac{\nu}{g}\right) \Delta_2 i \\ &\vdots \\ n_s^2 y - x &= \left(1 - n_s^2 \cdot \frac{\nu}{g}\right) \Delta_s i \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (61)$$

Коеффиціентъ ν можно легко опредѣлить изъ наблюденій, наблюдая микроскопомъ дѣйствительное смѣщеніе ε стержня маятника параллельно самому себѣ, при значительномъ измѣненіи угла наклона i (см. формулы (54) и (55)). Но можно также опредѣлить ν изъ наблюденій надъ качаніями, разсматривая въ группѣ уравненій (61) количество $\frac{\nu}{g}$ какъ новую неизвѣстную z. Эту группу уравненій надо также трактовать по способу наименьшихъ квадратовъ.

Мы увидимъ дальше, что отношеніе $\frac{\nu}{g} = z$ представляетъ собою въ дѣйствительности очень малую величину.

Передъ тѣмъ, чтобы привести результаты наблюденій, произведенныхъ съ цѣлью провѣрить вышеизложенную теорію, разсмотримъ еще одинъ вопросъ, касающійся теоріи Цельнеровскаго подвѣса и относящійся до положенія его оси вращенія.

Самыя простыя, элементарныя соображенія указываютъ на то, что осью вращенія маятника будетъ линія, соединяющая верхнюю точку прикрѣпленія верхней нити съ нижней точкой прикрѣпленія нижней нити, т.-е. линія, соединяющая точки A и O (см. черт. 1).

Но можно еще, чисто геометрическимъ путемъ, показать, что точка пересѣченія двухъ линій, соединяющихъ соотвѣтствующіе концы нитей, т.-е. точки A и O, и B_1 и C_1, остается, при вращеніи маятника, неподвижной, иначе говоря, на линіи AO лежитъ еще одна неподвижная точка системы O' (см. черт. 3), т.-е. AO будетъ дѣйствительной осью вращенія маятника.

Чтобы всесторонне разсмотрѣть теорію Цельнеровскаго подвѣса, сдѣлаемъ еще эту провѣрку.

На слѣдующемъ чертежѣ 3 представлена схема Цельперовскаго подвѣса, причемъ сохранены тѣ-же обозначенія, что и на черт. 1.

Вопросъ сводится къ тому, чтобы доказать чисто геометрическимъ путемъ, что, при вращеніи маятника, точка O' остается неподвижной.

Обозначимъ уголъ, составляемый направленіемъ $B_1 C_1 H_1$ съ горизонтальной линіей BT, черезъ β_1, а уголъ между BH и $B_1 H_1$ черезъ α.

Тогда ясно, что

$$\alpha = \beta + \beta_1$$

или

$$\beta_1 = \alpha - \beta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (62)$$

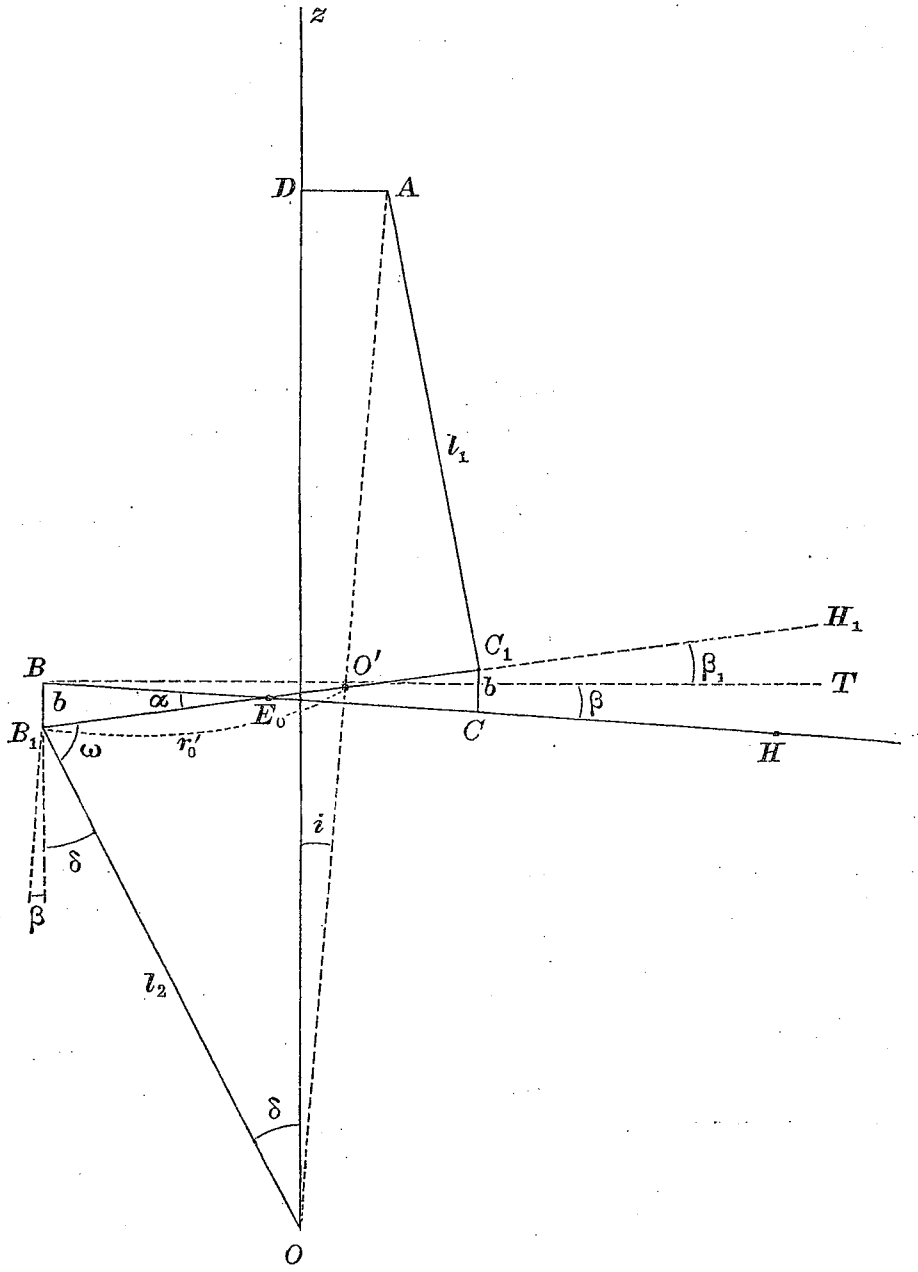
Изъ треугольниковъ $BE_0 B_1$ и $CE_0 C_1$ слѣдуетъ, что

$$BE_0 . \operatorname{tg} \alpha = b \qquad BE_0 \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = B_1 E_0$$

и

$$CE_0 . \operatorname{tg} \alpha = b \qquad CE_0 \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = C_1 E_0 .$$

Черт. 3.



Обозначимъ разстояніе между точками B_1 и C_1 черезъ d_1.

Тогда, складывая эти равенства и принимая во вниманіе, что, согласно предыдущимъ обозначеніямъ,

$$BE_0 + CE_0 = BC = d,$$

будемъ имѣть

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{2b}{d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (63)$$

и

$$d_1 = \frac{d}{\cos\alpha} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (64)$$

Найдемъ еще разстояніе точки B_1 до O'. Это разстояніе мы обозначимъ черезъ r_0'.

Изъ треугольника $B_1 O' O$, въ которомъ мы уголъ $OB_1 O'$ обозначимъ черезъ ω, будемъ имѣть

$$\frac{r_0'}{l_2} = \frac{\sin(\delta + i)}{\sin(\omega + \delta + i)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (65)$$

Но изъ черт. 3 легко видѣть, что

$$90° - \alpha + \omega + \delta + \beta = 180°$$

или

$$\omega + \delta + i = (90° + \alpha) - (\beta - i).$$

Слѣдовательно,

$$\sin(\omega + \delta + i) = \cos\alpha\cos(\beta - i) + \sin\alpha\sin(\beta - i),$$

или, отбрасывая члены высшихъ порядковъ и принимая во вниманіе соотношеніе (63),

$$\sin(\omega + \delta + i) = \cos\alpha\left[1 + (\beta - i)\frac{2b}{d}\right].$$

Подставляя это выраженіе въ формулу (65), мы получимъ, окончательно,

$$r_0' = l_2\frac{\sin(\delta + i)}{\cos\alpha}\left[1 - (\beta - i)\frac{2b}{d}\right]. \ldots\ldots\ldots\ldots (66)$$

Выраженіе для $\sin(\delta + i)$ мы разлагать не будемъ, такъ какъ это для нашей цѣли излишне.

Установивши эти соотношенія, приступимъ къ рѣшенію поставленной задачи.

Возьмемъ прямоугольную систему координатныхъ осей и проведемъ плоскость zx черезъ положеніе стержня маятника при равновѣсіи.

Эти оси представлены на слѣдующемъ черт. 4, гдѣ опять таки сохранены предыдущія обозначенія.

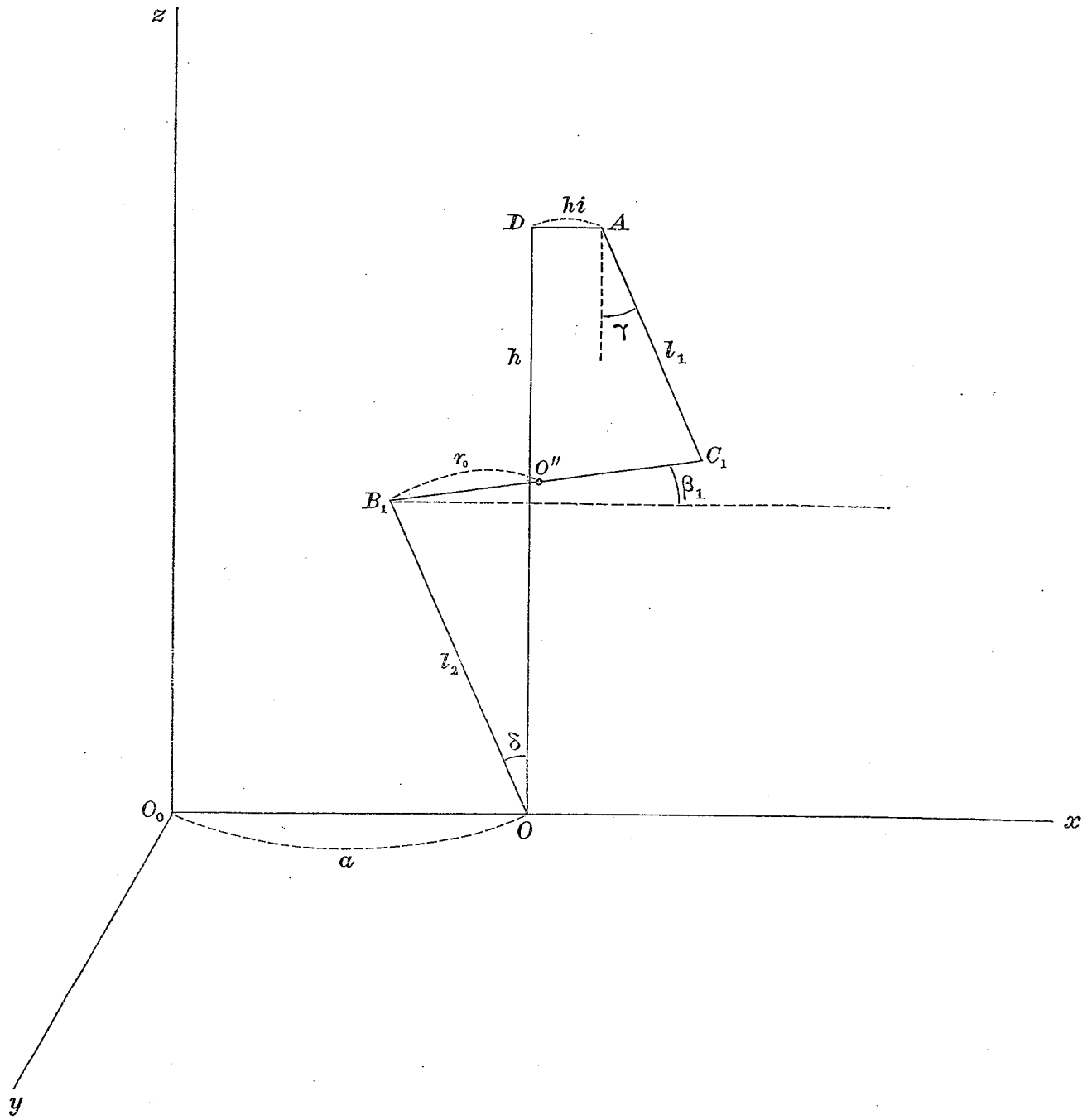
Обозначимъ координаты точекъ C_1 и B_1, при равновѣсіи маятника, соотвѣтственно черезъ

$$x_1, y_1, z_1$$

и

$$x_2, y_2, z_2.$$

Черт. 4.



На линіи $B_1 C_1$ должна лежать *какая-то точка* O'', которая, при вращеніи маятника, остается неподвижной. Обозначимъ разстояніе точки O'' до B_1 черезъ r_0.

Тогда

$$B_1 O'' = r_0,$$

и

$$C_1 O'' = d_1 - r_0.$$

Координаты точки O'' пусть будутъ x_0, y_0, z_0.

Весь вопросъ сводится къ тому, чтобы опредѣлить разстояніе r_0 этой неподвижной точки O'' до B_1.

На основаніи этихъ обозначеній мы будемъ имѣть

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= x_0 + (d_1 - r_0)\cos\beta_1 \\ y_1 &= y_0 = 0 \\ z_1 &= z_0 + (d_1 - r_0)\sin\beta_1 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (67)$$

и

$$\left.\begin{aligned} x_2 &= x_0 - r_0\cos\beta_1 \\ y_2 &= y_0 = 0 \\ z_2 &= z_0 - r_0\sin\beta_1 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (68)$$

Предположимъ теперь, что маятникъ отклоненъ немного отъ своего положенія равновѣсія.

Тогда новыя координаты точекъ C_1 и B_1 мы можемъ положить соотвѣтственно равными

$$x_1 + \xi_1$$

$$y_1 + \eta_1$$

$$z_1 + \zeta_1$$

и

$$x_2 + \xi_2$$

$$y_2 + \eta_2$$

$$z_2 + \zeta_2.$$

Пусть новое направленіе линіи $B_1 C_1$ составляетъ съ осями координатъ углы λ, μ и ν.

Тогда

$$\cos\lambda = \frac{(x_1 - x_2) + (\xi_1 - \xi_2)}{d_1}$$

$$\cos\mu = \frac{(y_1 - y_2) + (\eta_1 - \eta_2)}{d_1}$$

$$\cos\nu = \frac{(z_1 - z_2) + (\zeta_1 - \zeta_2)}{d_1}$$

или, на основаніи соотношеній (67) и (68),

$$\left.\begin{aligned} \cos\lambda &= \frac{d_1\cos\beta_1 + (\xi_1 - \xi_2)}{d_1} \\ \cos\mu &= \frac{\eta_1 - \eta_2}{d_1} \\ \cos\nu &= \frac{d_1\sin\beta_1 + (\zeta_1 - \zeta_2)}{d_1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (69)$$

Кромѣ того,

$$\begin{aligned} x_1 + \xi_1 &= x_0 + (d_1 - r_0)\cos\lambda \\ y_1 + \eta_1 &= y_0 + (d_1 - r_0)\cos\mu \\ z_1 + \zeta_1 &= z_0 + (d_1 - r_0)\cos\nu \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned} x_2 + \xi_2 &= x_0 - r_0\cos\lambda \\ y_2 + \eta_2 &= y_0 - r_0\cos\mu \\ z_2 + \zeta_2 &= z_0 - r_0\cos\nu. \end{aligned}$$

Подставляя сюда значенія $\cos\lambda$, $\cos\mu$ и $\cos\nu$ изъ формулъ (69) и принимая еще во вниманіе соотношенія (67) и (68), будемъ имѣть

$$\left.\begin{aligned} (d_1 - r_0)\cos\beta_1 + \xi_1 &= (d_1 - r_0)\frac{d_1\cos\beta_1 + (\xi_1 - \xi_2)}{d_1} \\ \eta_1 &= (d_1 - r_0)\frac{\eta_1 - \eta_2}{d_1} \\ (d_1 - r_0)\sin\beta_1 + \zeta_1 &= (d_1 - r_0)\frac{d_1\sin\beta_1 + (\zeta_1 - \zeta_2)}{d_1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (70)$$

и

$$\left.\begin{aligned} -r_0\cos\beta_1 + \xi_2 &= -r_0\frac{d_1\cos\beta_1 + (\xi_1 - \xi_2)}{d_1} \\ \eta_2 &= -r_0\frac{\eta_1 - \eta_2}{d_1} \\ -r_0\sin\beta_1 + \zeta_2 &= -r_0\frac{d_1\sin\beta_1 + (\zeta_1 - \zeta_2)}{d_1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (71)$$

Изъ уравненій (70) и (71) получаются непосредственно слѣдующія соотношенія:

$$\left.\begin{aligned} \xi_2 &= -\frac{r_0}{d_1 - r_0}\xi_1 \\ \eta_2 &= -\frac{r_0}{d_1 - r_0}\eta_1 \\ \zeta_2 &= -\frac{r_0}{d_1 - r_0}\zeta_1 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (72)$$

Эти послѣднія формулы очевидны сами собою, если точка O'', при вращеніи системы, остается неподвижной.

Выразимъ теперь геометрическое условіе, что разстояніе между точками B_1 и C_1 остается неизмѣннымъ (d_1).

Тогда мы будемъ имѣть

$$\{(x_1 - x_2) + (\xi_1 - \xi_2)\}^2 + \{(y_1 - y_2) + (\eta_1 - \eta_2)\}^2 + \{(z_1 - z_2) + (\zeta_1 - \zeta_2)\}^2 = d_1^2,$$

или, принимая во вниманіе соотношенія (67), (68) и (72),

$$\left\{d_1 \cos\beta_1 + \frac{d_1}{d_1 - r_0}\xi_1\right\}^2 + \left\{\frac{d_1}{d - r_0}\eta_1\right\}^2 + \left\{d_1 \sin\beta_1 + \frac{d_1}{d_1 - r_0}\zeta_1\right\}^2 = d_1^2.$$

Раздѣливъ это уравненіе на d_1^2 и раскрывъ скобки, получимъ

$$\frac{2}{d_1 - r_0}\{\cos\beta_1 \cdot \xi_1 + \sin\beta_1 \cdot \zeta_1\} + \frac{1}{(d_1 - r_0)^2}\{\xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2\} = 0$$

или, окончательно,

$$2(d_1 - r_0)\{\cos\beta_1 \cdot \xi_1 + \sin\beta_1 \cdot \zeta_1\} + \xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2 = 0. \ldots . (73)$$

Выразимъ теперь второе геометрическое условіе, что разстояніе между точками C_1 и A остается неизмѣннымъ (l_1).

Координаты точки A суть

$$a + hi$$

$$0$$

$$0D = h.$$

Слѣдовательно,

$$\{x_1 + \xi_1 - a - hi\}^2 + \{y_1 + \eta_1\}^2 + \{z_1 + \zeta_1 - h\}^2 = l_1^2$$

или (см. черт. 4)

$$\{l_1 \sin\gamma + \xi_1\}^2 + \eta_1^2 + \{-l_1 \cos\gamma + \zeta_1\}^2 = l_1^2.$$

Отсюда слѣдуетъ, что

$$2l_1\{\sin\gamma \cdot \xi_1 - \cos\gamma \cdot \zeta_1\} + \xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2 = 0. \ldots . (74)$$

Выразимъ теперь третье геометрическое условіе, что разстояніе между точками B_1 и O остается неизмѣннымъ (l_2).

Координаты точки O суть a, 0, 0.

Слѣдовательно,

$$\{x_2 + \xi_2 - a\}^2 + \{y_2 + \eta_2\}^2 + \{z_2 + \zeta_2\}^2 = l_2^2$$

или

$$\{-l_2 \sin\delta + \xi_2\}^2 + \eta_2^2 + \{l_2 \cos\delta + \zeta_2\}^2 = l_2^2.$$

Подставляя сюда значенія ξ_2, η_2 и ζ_2 изъ формулъ (72), будемъ имѣть

$$2l_2 \cdot \frac{r_0}{d_1 - r_0}\{\sin\delta . \xi_1 - \cos\delta . \zeta_1\} + \frac{r_0^2}{(d_1 - r_0)^2}\{\xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2\} = 0$$

или, окончательно,

$$2l_2 \cdot \frac{d_1 - r_0}{r_0}\{\sin\delta . \xi_1 - \cos\delta . \zeta_1\} + \xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2 = 0 \ldots\ldots (75)$$

Мы выразили, такимъ образомъ, три нашихъ геометрическихъ условія.

Вычитая поочередно уравненія (74) и (75) изъ уравенія (73), мы получимъ слѣдующія два соотношенія:

$$(d_1 - r_0)\{\cos\beta_1 . \xi_1 + \sin\beta_1 . \zeta_1\} = l_1\{\sin\gamma . \xi_1 - \cos\gamma . \zeta_1\}$$

и

$$(d_1 - r_0)\{\cos\beta_1 . \xi_1 + \sin\beta_1 . \zeta_1\} = l_2 \frac{d_1 - r_0}{r_0}\{\sin\delta . \xi_1 - \cos\delta . \zeta_1\}.$$

Введемъ теперь такое обозначеніе

$$u = \frac{\xi_1}{\zeta_1}.$$

Тогда мы будемъ имѣть

$$(d_1 - r_0)\{\cos\beta_1 . u + \sin\beta_1\} = l_1\{\sin\gamma . u - \cos\gamma\} \ldots\ldots (76)$$

и

$$r_0\{\cos\beta_1 . u + \sin\beta_1\} = l_2\{\sin\delta . u - \cos\delta\} \ldots\ldots\ldots (77)$$

Исключивъ изъ этихъ двухъ уравненій u, мы получимъ одно уравненіе, которое и послужитъ намъ для опредѣленія искомаго разстоянія r_0 неподвижной точки O'' отъ точки B_1.

Изъ уравненій (76) и (77) мы находимъ

$$\{(d_1 - r_0)\cos\beta_1 - l_1 \sin\gamma\} u = -\{(d_1 - r_0)\sin\beta_1 + l_1 \cos\gamma\}$$

и

$$\{r_0 \cos\beta_1 - l_2 \sin\delta\} u = -\{r_0 \sin\beta_1 + l_2 \cos\delta\}.$$

Раздѣливъ одно уравненіе на другое, получимъ

$$\{(d_1 - r_0)\cos\beta_1 - l_1\sin\gamma\}\{r_0\sin\beta_1 + l_2\cos\delta\}$$
$$= \{(d_1 - r_0)\sin\beta_1 + l_1\cos\gamma\}\{r_0\cos\beta_1 - l_2\sin\delta\}$$

или

$$l_1 r_0\cos(\gamma - \beta_1) - l_2(d_1 - r_0)\cos(\delta - \beta_1) - l_1 l_2\sin(\delta - \gamma) = 0.$$

Отсюда находимъ слѣдующее окончательное выраженіе для r_0:

$$r_0 = l_2 \cdot \frac{d_1\cos(\delta - \beta_1) + l_1\sin(\delta - \gamma)}{l_1\cos(\gamma - \beta_1) + l_2\cos(\delta - \beta_1)}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (78)$$

Эту формулу легко преобразовать, принимая во вниманіе соотношенія (19) и (20).

Знаменатель въ формулѣ (78) можно представить въ слѣдующемъ видѣ:

$$\{l_1\cos\gamma + l_2\cos\delta\}\cos\beta_1 + \{l_1\sin\gamma + l_2\sin\delta\}\sin\beta_1$$
$$= \{h - 2b + d.\beta\}\cos\beta_1 + \{d + 2b.\beta - hi\}\sin\beta_1 \ldots\ldots (79)$$

Но изъ формулъ (62) и (63) слѣдуетъ, отбрасывая члены высшихъ порядковъ,

$$\cos\beta_1 = \cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta = \cos\alpha\left\{\cos\beta + \frac{2b}{d}\cdot\sin\beta\right\} = \cos\alpha\left\{1 + \frac{2b}{d}\cdot\beta\right\} \ldots (80)$$

и

$$\sin\beta_1 = \sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta = \cos\alpha\left\{\frac{2b}{d}\cdot\cos\beta - \sin\beta\right\} = \cos\alpha\left\{\frac{2b}{d} - \beta\right\} \ldots (81)$$

Подставимъ эти выраженія въ формулу (79) и отбросимъ опять члены высшихъ порядковъ.

Тогда мы будемъ имѣть

$$l_1\cos(\gamma - \beta_1) + l_2\cos(\delta - \beta_1) = \cos\alpha\left[\{h - 2b + d.\beta\}\left\{1 + \frac{2b}{d}\cdot\beta\right\}\right.$$
$$\left. + \{d + 2b.\beta - hi\}\left\{\frac{2b}{d} - \beta\right\}\right]$$
$$= \cos\alpha\left[h - 2b + d.\beta + h\cdot\frac{2b}{d}\cdot\beta - \frac{4b^2}{d}\beta + 2b + \frac{4b^2}{d}\cdot\beta - h\frac{2b}{d}\cdot i - d.\beta\right]$$
$$= h\cos\alpha\left[1 + \frac{2b}{d}(\beta - i)\right]. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (82)$$

Таково выраженіе знаменателя въ формулѣ (78).

Обратимся теперь къ числителю.

Преобразуемъ первую его слагающую.

$$d_1 \cos(\delta - \beta_1) = d_1 \{\cos\delta \cos\beta_1 + \sin\delta \sin\beta_1\}.$$

Подставляя сюда значенія $\cos\beta_1$ и $\sin\beta_1$ изъ формулъ (80) и (81) и принимая во вниманіе соотношеніе (64), будемъ имѣть

$$d_1 \cos(\delta - \beta_1) = \frac{d}{\cos\alpha} \cdot \left[\cos\delta \cos\alpha \left\{1 + \frac{2b}{d} \cdot \beta\right\} + \sin\delta \cos\alpha \left\{\frac{2b}{d} - \beta\right\}\right]$$

$$= (d + 2b \,.\, \beta) \cos\delta + (2b - d \,.\, \beta) \sin\delta.$$

Но изъ формулъ (19) и (20) слѣдуетъ, что

$$2b - d \,.\, \beta = h - \{l_1 \cos\gamma + l_2 \cos\delta\}$$

и

$$d + 2b \,.\, \beta = hi + \{l_1 \sin\gamma + l_2 \sin\delta\}.$$

Подставляя эти выраженія въ предыдущую формулу, будемъ имѣть

$$d_1 \cos(\delta - \beta_1) = \{l_1 \sin\gamma + l_2 \sin\delta\} \cos\delta + hi \cos\delta$$

$$- \{l_1 \cos\gamma + l_2 \cos\delta\} \sin\delta + h \sin\delta$$

$$= - l_1 \sin(\delta - \gamma) + h(\sin\delta + i \cos\delta)$$

или

$$d_1 \cos(\delta - \beta_1) + l_1 \sin(\delta - \gamma) = h \sin(\delta + i). \ldots\ldots\ldots (83)$$

Таково выраженіе для числителя въ формулѣ (78).

Подставляя теперь въ формулу (78) найденныя выраженія изъ формулъ (82) и (83), получимъ

$$r_0 = l_2 \frac{\sin(\delta + i)}{\cos\alpha \left[1 + \frac{2b}{d}(\beta - i)\right]}$$

или, окончательно,

$$r_0 = \frac{l_2 \sin(\delta + i)}{\cos\alpha} \left[1 - \frac{2b}{d}(\beta - i)\right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (84)$$

Таково разстояніе неподвижной точки O'' до точки B_1.

Сравнивая это выраженіе съ формулой (66) (см. также черт. 3), мы видимъ, что

$$r_0 = r_0',$$

т.-е., что неподвижная точка O'' совпадаетъ съ точкой O' на черт. 3, т.-е. она лежитъ на линіи AO, соединяющей неподвижные концы нитей.

Такимъ образомъ, линія AO дѣйствительно представляетъ собою ось вращенія маятника.

Послѣ этого небольшого отступленія вернемся опять къ вопросу объ опредѣленіи приведенной длины горизонтальнаго маятника съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ.

Въ цѣляхъ экспериментальной провѣрки ранѣе изложенной теоріи, я произвелъ, совмѣстно съ моимъ ассистентомъ И. И. Вилипомъ, рядъ возможно тщательныхъ наблюденій надъ періодами качаній горизонтальнаго маятника № V при различныхъ наклонахъ оси вращенія i.

Наблюденія велись въ одномъ изъ помѣщеній новой Пулковской сейсмической станціи, гдѣ условія для подобныхъ работъ особенно благопріятны.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены результаты этихъ наблюденій, причемъ здѣсь сохранены тѣ обозначенія, которыя приведены въ началѣ этой статьи (k есть нѣкоторый порядковый номеръ).

k	T'	A	h
0	31,607	0,0081	— 0,1 $^{м}/_{м}$ (h_0)
1	27,470	0,0060	+ 2,05
2	23,136	0,0038	+ 5,3
3	19,209	—	+ 10,65
4	15,310	—	+ 20,18
5	11,555	—	+ 40,25
6	7,668	—	+ 99,85

Разстояніе неподвижнаго зеркала у маятника до вертикальной шкалы $D = 6408\,^{м}/_{м}$.

Ускореніе силы тяжести въ Пулковѣ $g = 9818{,}7\ \frac{^{м}/_{м}}{сек.^2}$.

Вліяніе декремента на періодъ сказывается только при первомъ, наибольшемъ періодѣ и тогда эта поправка на декрементъ составляетъ всего только 0,001 с.

Магниты для затуханія были раздвинуты и полюсы каждаго изъ нихъ соединены между собою желѣзными планками.

Такимъ образомъ, первый собственный періодъ колебаній маятника, освобожденный отъ вліянія затуханія, а именно

$$T = \frac{2\pi}{n},$$

будетъ равенъ 31^s,606; во всѣхъ же прочихъ случаяхъ, съ точностью до 0,001 секунды, $T = T'$.

Съ этими данными получились слѣдующія значенія коеффиціентовъ n_k^2 и $\Delta_k i$, входящихъ въ группу формулъ (7).

Къ нимъ прибавлены еще значенія $n_k^2 . \Delta_k i$, примѣнительно къ пополненнымъ уравненіямъ (61).

k	n^2	Δi	$n^2 . \Delta i$
0	0,039520	0	0
1	0,052317	0,00016776	0,000008777
2	0,073753	0,00042135	0,000031076
3	0,10699	0,00083880	0,000089743
4	0,16842	0,0015824	0,00026651
5	0,29568	0,0031484	0,00093092
6	0,67143	0,0077988	0,0052364

Чтобы измѣрить дѣйствительное смѣщеніе ε стержня маятника при увеличеніи наклона i, на мѣдной пластинкѣ, связанной со стержнемъ маятника и служащей обыкновенно для затуханія прибора, и на сосѣднемъ магнитѣ были нанесены марки.

При помощи микроскопа съ горизонтальной осью, который могъ перемѣщаться вправо и влѣво по линейкѣ, раздѣленной на миллиметры и снабженной ноніусомъ, какъ у компаратора, можно было измѣрить *относительное* смѣщеніе ε стержня маятника по отношенію къ штативу прибора.

При этомъ оказалось, что, при измѣненіи періода колебаній маятника T отъ 31^s,606 до 7^s,668, что соотвѣтствуетъ увеличенію угла наклона $\Delta i = 0{,}0077988 = 0°26'48''{,}6$, стержень маятника подался впередъ на 1,1 $^м/_м$.

Такимъ образомъ, *непосредственныя* наблюденія дали

$$\varepsilon = 1{,}1\ ^м/_м .$$

Эта величина, хотя и очень незначительная, но она тѣмъ не менѣе показываетъ, что горизонтальный маятникъ съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ нельзя разсматривать, какъ абсолютно твердую систему, и что приведенная длина маятника l нѣсколько увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ наклона оси вращенія прибора.

Чтобы провѣрить ранѣе изложенную теорію, спеціально, чтобы провѣрить справедливость формулы (51), дающую теоретическую величину ε, у даннаго маятника штангенциркулемъ были измѣрены длины отдѣльныхъ его составныхъ частей.

При наибольшемъ періодѣ колебаній, стержень маятника былъ достаточно горизонталенъ и соотвѣтственно этому было принято $\beta = 0$.

Результатомъ этихъ измѣреній и нѣкоторыхъ простыхъ вычисленій, получились слѣдующія данныя (см. предыдущія обозначенія и черт. 1):

$$d = 107{,}7 \text{ м/м}.$$

$$h = 597$$

$$m = 54{,}8$$

$$c = 30{,}8$$

$$b = 17$$

$$l_1 = 271$$

$$l_2 = 291$$

$$l_0 = HO_1 = 80{,}2$$

$$\beta = 0$$

$$P = 0$$

$$\gamma = 5°20'$$

$$\delta = 16°24'$$

$$p = 0{,}4656. \qquad \text{(см. формулу (26))}$$

Съ этими данными получились слѣдующія значенія различныхъ величинъ, входящихъ въ предыдущія формулы:

$$Q = -0{,}08593 \qquad \text{(см. формулу (31))}$$

$$\left.\begin{aligned} A &= -17{,}72 \\ B &= +5{,}712 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(см. формулы (42) и (35))}$$

$$\partial\gamma = -0{,}542 \,.\, \partial i \qquad \text{(см. формулу (48))}$$

$$\partial\delta = -1{,}463 \,.\, \partial i \qquad \text{(см. формулу (49))}$$

$$\partial\beta = +1{,}243 \,.\, \partial i \qquad \text{(см. формулу (50)).}$$

Мы видѣли раньше (см. соотношенія (34)), что, если нашъ маятникъ представлялъ бы собою твердую систему, то мы должны были бы всегда имѣть

$$\partial\beta = \partial i$$

и

$$\partial\gamma = \partial\delta = -\partial i,$$

т.-е. *численное* значеніе коеффиціентовъ при ∂i въ только что приведенныхъ выраженіяхъ должно было бы быть всегда равно 1. На самомъ-же дѣлѣ это не соотвѣтствуетъ дѣйствительности, и измѣненіе γ меньше, а измѣненіе δ и β больше, чѣмъ ∂i.

Другими словами, при увеличеніи наклона оси вращенія i, относительное положеніе стержня маятника и штатива не остается неизмѣннымъ, а самъ стержень подается немного впередъ, даже въ предположеніи, что проволоки, на которыхъ подвѣшенъ маятникъ, совершенно нерастяжимы.

Величина смѣщенія стержня ε опредѣляется формулой (51).

Подставивъ предыдущія числа, получимъ

$$\varepsilon = 133{,}4 \cdot \partial i, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (85)$$

гдѣ ε выражено въ миллиметрахъ, а ∂i въ абсолютной мѣрѣ.

Для $\partial i = 0{,}0077988$, что соотвѣтствуетъ измѣненію собственнаго періода маятника T отъ $31^s{,}606$ до $7^s{,}668$, получается

$$\varepsilon = 1{,}04\ {}^{м}/_{м}.$$

Непосредственныя-же измѣренія, какъ мы видѣли, дали

$$\varepsilon = 1{,}1\ {}^{м}/_{м}.$$

Разница между этими числами менѣе $0{,}1\ {}^{м}/_{м}$, что несомнѣнно находится въ предѣлахъ возможныхъ ошибокъ наблюденій и измѣреній.

Мы можемъ поэтому принять, что вышеизложенная теорія вполнѣ оправдывается непосредственными наблюденіями.

Посмотримъ теперь, какъ отразится такое смѣщеніе стержня маятника на величинѣ приведенной длины маятника l.

Возьмемъ для этого не вычисленную, а дѣйствительно наблюденную величину

$$\varepsilon = 1{,}1\ {}^{м}/_{м}.$$

Тогда, вмѣсто формулы (85), мы будемъ имѣть

$$\varepsilon = 141\,\partial i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (86)$$

Съ другой стороны, формула (54) даетъ намъ

$$\partial l = \varepsilon\left(2 - \frac{l}{l_0}\right);$$

слѣдовательно, на основаніи соотношенія (86),

$$\partial l = 141\left(2 - \frac{l}{l_0}\right)\cdot \partial i.$$

При періодѣ маятника $T = 31^{s}{,}606$, какъ мы увидимъ дальше, $l = 120{,}5\ ^{м}/_{м}$; а, такъ какъ разстояніе центра тяжести до оси вращенія l_0 равно $80{,}2\ ^{м}/_{м}$, то мы будемъ имѣть

$$\partial l = \nu\,\partial i, \qquad \text{(см. формулу (55))}$$

гдѣ

$$\nu = 70{,}2.$$

Такимъ образомъ, мы получимъ съ округленіемъ

$$z = \frac{\nu}{g} = 0{,}0072.$$

Вводя теперь поправку на z въ уравненія (61), мы, на основаніи наблюденныхъ величинъ n^2 и Δi, получимъ слѣдующую группу уравненій:

k		
0	$0{,}039520\,y - x = 0$	
1	$0{,}052317\,y - x = 0{,}00016770$	
2	$0{,}073753\,y - x = 0{,}00042113$	
3	$0{,}10699\ \ y - x = 0{,}00083815$	$\ldots\ldots\ldots (87)$
4	$0{,}16842\ \ y - x = 0{,}0015805$	
5	$0{,}29568\ \ y - x = 0{,}0031417$	
6	$0{,}67143\ \ y - x = 0{,}0077611$	

Здѣсь

$$y = \frac{l}{g} \quad \text{и} \quad x = i_0.$$

l представляетъ собою приведенную длину маятника при первомъ, наибольшемъ періодѣ ($T = 31^{s},606$), а i_0 соотвѣтствующій уголъ наклона оси вращенія.

Рѣшая группу уравненій (87) по способу наименьшихъ квадратовъ, получимъ

$$l = 120{,}5\ ^{м}/_{м}$$

и

$$i_0 = 0^\circ\, 1'\, 39''{,}3.$$

Вычислимъ теперь величины измѣненія l, а именно ∂l, а также величины угла i, для нѣкоторыхъ другихъ періодовъ маятника T.

На основаніи формулъ (6) и (55) мы будемъ имѣть, принимая еще во вниманіе, что $n = \frac{2\pi}{T}$,

$$\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot \frac{l + \nu\, \partial i}{g} = i_0 + \partial i$$

или

$$\partial i = \frac{\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot \frac{l}{g} - i_0}{1 - \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot \frac{\nu}{g}} \cdot \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (88)$$

По этой формулѣ мы, для каждаго заданнаго T, можемъ найти соотвѣтствующую величину ∂i, а затѣмъ уже, по формулѣ (55), зная величину ν, найдемъ и соотвѣтствующую величину ∂l.

Произведя вычисленія, мы получимъ рядъ данныхъ, сгруппированныхъ въ слѣдующей табличкѣ:

T	l	∂l	i
$31^{s},606$	$120{,}50\ ^{м}/_{м}$	$+ 0{,}00\ ^{м}/_{м}$	$0^\circ\ 1'\ 39''{,}3$
30	120,50	0,00	0 1 51,0
25	120,52	0,02	0 2 39,9
20	120,55	0,05	0 4 10,0
15	120,62	0,12	0 7 24,6
10	120,81	0,31	0 16 42,0
5	121,84	1,34	1 7 22,3

Эта таблица показываетъ намъ, что измѣненіе приведенной длины маятника при Цельнеровскомъ подвѣсѣ въ дѣйствительности очень незначительно, причемъ оно становится ощутительнымъ только при переходѣ къ

сравнительно короткимъ періодамъ. Тѣмъ не менѣе, при особо точныхъ изслѣдованіяхъ съ горизонтальнымъ маятникомъ, слѣдуетъ несомнѣнно считаться съ вышеуказаннымъ измѣненіемъ его приведенной длины l.

При предыдущихъ вычисленіяхъ мы положили въ основаніе величину непосредственно измѣреннаго смѣщенія стержня ε, откуда и вывели величину коеффиціента $z = \frac{\nu}{g}$.

Но можно, съ достаточной для практической сейсмометріи точностью, получить величину z непосредственно изъ наблюденій надъ періодомъ качаній маятника T при различныхъ углахъ наклона i.

Тогда въ группѣ уравненій (61) надо уже разсматривать величину $z = \frac{\nu}{g}$, какъ новую, третью неизвѣстную.

Тогда, на основаніи наблюденнаго цифрового матеріала, мы получимъ слѣдующую группу уравненій съ тремя неизвѣстными:

k	T		
0	$31^{s},606$	$0{,}039520\,y - x = 0$	
1	27,470	$0{,}052317\,y - x + 0{,}000008777\,z = 0{,}00016776$	
2	23,136	$0{,}073753\,y - x + 0{,}000031076\,z = 0{,}00042135$	
3	19,209	$0{,}10699\,y - x + 0{,}000089743\,z = 0{,}00083880$	....(89)
4	15,310	$0{,}16842\,y - x + 0{,}00026651\,z = 0{,}0015824$	
5	11,555	$0{,}29568\,y - x + 0{,}00093092\,z = 0{,}0031484$	
6	7,668	$0{,}67143\,y - x + 0{,}0052364\,z = 0{,}0077988$	

Группу уравненій (89) можно трактовать различнымъ образомъ.

Первое уравненіе, при $k = 0$, нужно для исключенія неизвѣстной x.

Изъ другихъ уравненій наибольшимъ вѣсомъ обладаютъ послѣднія уравненія.

Можно, напримѣръ, комбинировать три уравненія, для $k = 0$, $k = 5$ и $k = 6$, и изъ нихъ опредѣлить всѣ три неизвѣстныя y, x и z.

Произведя вычисленія, получимъ:

$$l = 120{,}3\ ^{м}/_{м}$$

$$i_0 = 0^\circ\,1'\,39''{,}9$$

и

$$z = 0{,}011.$$

l и i_0 чрезвычайно мало отличаются отъ ранѣе приведенныхъ чиселъ ($l = 120{,}5\,{}^{м}/_{м}$ и $i_0 = 0^\circ\,1'\,39''{,}3$).

z получилось нѣсколько больше, но это обстоятельство не имѣетъ существеннаго значенія, такъ какъ нѣкоторая неточность въ величинѣ z мало отражается на вычисляемыхъ величинахъ l и i_0.

Если-же трактовать всю группу уравненій (89) по способу наименьшихъ квадратовъ, то получается

$$l = 120{,}3\,{}^{м}/_{м}$$

$$i_0 = 0^\circ\,1'\,38''{,}9$$

и

$$z = 0{,}010.$$

l получилось то-же самое, а i_0 на $1''$ мепьше.

Изъ этого видно, что промежуточныя уравненія, отъ $k = 1$ до $k = 4$, благодаря ихъ незначительному вѣсу, мало вліяютъ на результатъ вычисленій.

Если-бы мы пренебрегли въ уравненіяхъ (89) поправкой на z, то, рѣшая всю систему по способу наименьшихъ квадратовъ, получили-бы

$$l = 121{,}1\,{}^{м}/_{м}$$

и

$$i_0 = 0^\circ\,1'\,40''{,}4.$$

Въ этомъ случаѣ l получается на цѣлыхъ $0{,}8\,{}^{м}/_{м}$ больше. Изъ этого видно, что, при точныхъ изслѣдованіяхъ, поправкой на z пренебрегать нельзя.

Отбросивъ теперь послѣднее уравненіе для $k = 6$ и рѣшая остальныя по способу наименьшихъ квадратовъ, получимъ

$$l = 120{,}5\,{}^{м}/_{м}$$

$$i_0 = 0^\circ\,1'\,39''{,}0$$

и

$$z < 0{,}005.$$

Опредѣленіе *точной* величины z изъ группы уравненій (89) недостижимо, такъ какъ вычисленія показываютъ, что, при полной даже тщательности самихъ наблюденій, возможная ошибка въ опредѣляемой величинѣ z достигаетъ какъ разъ 0,005. Это обстоятельство, какъ раньше было ука-

зано, не имѣетъ существеннаго значенія, такъ какъ такая ошибка въ z очень мало отражается на вычисляемыхъ величинахъ l и i_0.

Можно, слѣдовательно, считать, что разницы между величинами z, полученными изъ уравненій (89), и непосредственно измѣреннымъ числомъ $z = 0{,}007$ заключены въ предѣлахъ возможныхъ ошибокъ наблюденій.

Далѣе, если вычислять l, i и z еще изъ меньшаго числа уравненій, напр., отбросивъ уравненія для $k = 5$ и $k = 6$, то получаются уже совершенно ненадежныя числа, что понятно и само собою, такъ какъ вообще, чѣмъ меньше періодъ T, тѣмъ больше будетъ вѣсъ соотвѣтственнаго уравненія.

Такимъ образомъ, промежуточныя уравненія отъ $k = 1$ до $k = 4$ не имѣютъ на самомъ дѣлѣ никакого значенія и являются, слѣдовательно, излишними.

Изъ этого вытекаетъ слѣдующее практическое правило для опредѣленія приведенной длины маятника l.

Надо производить наблюденія при одномъ очень длинномъ, исходномъ періодѣ въ 30—35 секундъ и затѣмъ еще два наблюденія при сравнительно короткихъ періодахъ въ 11—12 и 7—8 секундъ.

Этихъ данныхъ совершенно достаточно, чтобы опредѣлить поправку на z и получить весьма надежную величину приведенной длины маятника l (при наибольшемъ періодѣ) и угла наклона оси вращенія i_0. Всѣ промежуточные періоды отъ 30 до 12 секундъ можно отбросить, такъ какъ они не содѣйствуютъ въ сколько-нибудь значительной мѣрѣ улучшенію результата вычисленій.

Этимъ вопросъ о точномъ опредѣленіи приведенной длины маятника l значительно упрощается.

Можно, конечно, также опредѣлить величину z изъ непосредственно измѣреннаго смѣщенія стержня ε, какъ то раньше было указано, и тогда уже достаточно двухъ наблюденій, одного при большомъ, а другого при маломъ періодѣ.

Когда l для исходнаго періода разъ опредѣлено, то, примѣняя горизонтальный маятникъ при какомъ-нибудь другомъ періодѣ, надо, конечно, всегда брать ту величину l, которая соотвѣтствуетъ именно этому періоду. Приведеніе на соотвѣтствующую величину di производится легко по формулѣ (55).

Итакъ, настоящее изслѣдованіе устанавливаетъ несомнѣннымъ образомъ тотъ фактъ, что приведенная длина горизонтальнаго маятника съ Цельнеровскимъ подвѣсомъ не есть строго постоянная величина, а она мѣняется нѣсколько съ измѣненіемъ наклона оси вращенія маятника. При точныхъ изслѣдованіяхъ это обстоятельство надо, конечно, учитывать.

Однако, это измѣненіе l, если только не переходить къ очень короткимъ періодамъ, на самомъ дѣлѣ такъ мало, что этимъ никоимъ образомъ нельзя объяснить упоминавшіяся въ началѣ настоящей статьи несогласія между отдѣльными величинами l, полученными для того-же маятника различными наблюдателями. Не подлежитъ сомнѣнію, что эти несогласія объясняются почти исключительно только неточностью самихъ наблюденій, такъ какъ въ огромномъ большинствѣ случаевъ наблюдатели не доходили до очень короткихъ періодовъ, а ограничивались рядомъ промежуточныхъ періодовъ, для которыхъ соотвѣтствующія уравненія имѣютъ сравнительно малый вѣсъ. Только комбинируя одинъ очень длинный періодъ съ короткими періодами можно надѣяться получить вполнѣ надежную величину l. Тѣмъ не менѣе, можетъ показаться страннымъ, почему средняя ошибка величины l, выводимая изъ тѣхъ-же уравненій съ промежуточными періодами по способу наименьшихъ квадратовъ, получается вообще значительно меньше разницы между результатами отдѣльныхъ опредѣленій l различными наблюдателями. Это кажущееся противорѣчіе объясняется, по всей вѣроятности, тѣмъ, что вся теорія способа наименьшихъ квадратовъ основана на предположеніи, что имѣется большой рядъ наблюденныхъ величинъ, для которыхъ алгебраическая сумма случайныхъ ошибокъ, дѣленная на общее число наблюденій, мало отличается отъ нуля. Только при этомъ условіи выводимая средняя ошибка результата дѣйствительно характеризуетъ собою точность опредѣленія искомой неизвѣстной. При маломъ-же числѣ наблюденій, какъ въ настоящихъ случаяхъ, выводимая по способу наименьшихъ квадратовъ средняя ошибка вывода не можетъ имѣть реальнаго значенія и характеризовать собою точность самихъ наблюденій.

Для цѣлей современной практической сейсмометріи и прежній способъ опредѣленія приведенной длины маятника l является, конечно, совершенно достаточнымъ, такъ какъ ошибка въ 1 или 2 процента въ абсолютной величинѣ l, при обработкѣ сейсмограммъ, не имѣетъ почти никакого практическаго значенія. Но, такъ какъ современная точная сейсмометрія должна всегда стремиться къ тому, чтобы, по возможности, улучшать результаты своихъ выводовъ изъ наблюденій, то желательно, въ будущемъ, при новыхъ опредѣленіяхъ приведенной длины маятниковъ l, пользоваться уже тѣми пріемами, которые изложены въ настоящей статьѣ.