ПРОВЕРЕНО
1951 г.

Н. Оглоблинскій.

Шифр
Инв.№ 18918

НАУЧНЫЙ ФОНД

НОВЫЙ
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ТЕОДОЛИТЪ
ДЛЯ ОПРЕДѢЛЕНІЯ
ЭЛЕМЕНТОВЪ ЗЕМНОГО МАГНИТИЗМА.

БИБЛИОТЕКА
Московского
Гидро-Метеорологическ.
ИНСТИТУТА

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
Метеорологического
8365

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Морского Министерства, въ Главномъ Адмиралтействѣ.
1913.

Печатано по распоряженію Главнаго Гидрографическаго Управленія.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Въ кругъ изслѣдованій, возложенныхъ на русскихъ гидрографовъ, входитъ опредѣленіе элементовъ земного магнитизма на протяженіи береговой линіи около 42000 верстъ длиною и на пространствѣ четырехъ морей и части двухъ океановъ, прилегающихъ къ предѣламъ нашего отечества. Выполненіе столь обширной задачи особенно важно въ данную эпоху потому, что такой трудъ русской гидрографіи завершилъ бы предпринимаемую въ настоящее время магнитную съемку всей Россійской Имперіи. Это исключительное по своимъ размѣрамъ научное изслѣдованіе распредѣленія элементовъ земного магнитизма на громадномъ пространствѣ нашей родины предположено осуществить въ теченіе ближайшаго десятилѣтія при участіи многихъ вѣдомствъ, учрежденій и отдѣльныхъ лицъ подъ руководствомъ особой Магнитной Комиссіи при Императорской Академіи Наукъ.

Для магнитныхъ работъ гидрографическихъ экспедицій, съемокъ и партій, которыя вѣдаетъ Главное Гидрографическое Управленіе Морского Министерства, пока не имѣется опредѣленнаго типа измѣрительныхъ приборовъ. Въ концѣ 1909 года, когда въ Управленіи возникъ вопросъ о выработкѣ магнитнаго теодолита для съемокъ, мною былъ представленъ начальнику Управленія, покойному генералъ-лейтенанту А. И. Вилькицкому проектъ новаго теодолита, основаннаго на особыхъ, чѣмъ обычно, принципахъ съ нѣкоторыми расчетами. Проектъ встрѣтилъ у А. И. Вилькицкаго полное сочувствіе и былъ немедленно переданъ для детальной разработки и изготовленія въ Мастерскую Мореходныхъ Инструментовъ при Главномъ Гидрографическомъ Управленіи начальнику ея Г. А. Фрейбергу, искусство и знаніе котораго въ области производства астрономическихъ и магнитныхъ инструментовъ пользуются заслуженной извѣстностью. Въ февралѣ 1911 года приборъ былъ готовъ

настолько, что можно было приступить къ первымъ испытаніямъ. Настоящая статья заключаетъ въ себѣ краткій отчетъ объ измѣреніи горизонтальнаго и вертикальнаго напряженій силъ земного магнитизма съ помощью новаго теодолита на Константиновской обсерваторіи въ Павловскѣ въ теченіе 1911 и 1912 г.

Лѣтомъ 1912 года новый теодолитъ былъ подвергнутъ испытанію при *походныхъ* условіяхъ въ магнитной съемкѣ на берегахъ Финскаго залива около Кронштадта; отчетъ объ этой съемкѣ будетъ опубликованъ въ ближайшіе мѣсяцы.

Важнѣйшій изъ результатовъ, полученныхъ при измѣреніи элементовъ земного магнитизма новымъ приборомъ, заключается въ томъ, что наблюденія на обсерваторіи и въ полѣ установили полную возможность обходиться безъ опредѣленія наклоненія и измѣрять вертикальную составляющую магнитной силы земли въ абсолютныхъ единицахъ непосредственно и при томъ съ большею точностью, чѣмъ при посредствѣ наклоненія. Практическое значеніе этого вывода, равно какъ и затрудненія, которыя пришлось преодолѣть, чтобы рѣшить удовлетворительно задачу, легче всего, конечно, оцѣнить наблюдателямъ, занимающимся точными измѣреніями напряженія силы земного магнитизма.

Существенной поддержкой послужило мнѣ въ принятомъ на себя трудѣ сочувственное отношеніе, которое пришлось испытать повсюду, куда бы мнѣ ни приходилось обращаться за содѣйствіемъ.

Съ чувствомъ глубокой благодарности связано у меня воспоминаніе о покойномъ генералъ-лейтенантѣ А. И. Вилькицкомъ, который далъ мнѣ возможность избѣжать заказа прибора за границей и изготовить его въ Россіи; благодаря широкому взгляду покойнаго на дѣло, въ Мастерской Мореходныхъ Инструментовъ вмѣстѣ съ изготовленіемъ перваго магнитнаго теодолита положено начало производству точныхъ магнитныхъ инструментовъ.

Приношу искреннѣйшую благодарность Константиновской Обсерваторіи въ Павловскѣ въ лицѣ Завѣдывающаго ею Владиміра Христіановича Дубинскаго, со стороны котораго я въ теченіе двухъ лѣтъ неизмѣнно встрѣчалъ полнѣйшую предупредительность и содѣйствіе во всѣхъ работахъ; также главному механику Главной Палаты Мѣръ и Вѣсовъ Ф. И. Блумбаху за помощь, оказанную мнѣ нанесеніемъ дѣленій на линейкахъ и при изслѣдованіи поправокъ шкалъ прибора.

Въ заключеніе считаю пріятнымъ долгомъ поблагодарить за труды по изготовленію перваго теодолита Г. А. Фрейберга и за дружную помощь въ наблюденіяхъ и вычисленіяхъ моихъ сотрудниковъ полковника К. Оглоблинскаго, капитана 2 ранга В. Павлинова, А. Н. Струйскую, а также лейтенанта К. Емельянова и механика М. Формаго.

Сентябрь 1913 годъ.

Н. Оглоблинскій.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

		Стр.
	Предисловіе	I—III
	Введеніе	1 — 8
Глава I.	§ 1. Основанія для измѣренія горизонтальнаго напряженія. § 2. Основанія для измѣренія вертикальнаго напряженія. § 3. Наблюденія для измѣренія H и Z. Расположеніе наблюденій для исключенія ошибокъ. Схемы № 1 и № 2. § 4. Формула качаній для двухъ магнитовъ, ея преобразованіе для удобства вычисленій; вспомогательная таблица 2-ая. Окончательныя формулы для вычисленія H, M и Z. § 5. Таблица 1-ая для нахожденія количествъ $F=\frac{1}{R^3}\left\{1+\frac{\omega_0}{R^2}\right\}$. § 6. О нахожденіи приближенныхъ H и Z для вычисленія поправочныхъ членовъ, зависящихъ отъ индукціоннаго и температурнаго коефиціентовъ . . .	8 – 21
Глава II.	Описаніе прибора, составныя его части. § 7. Горизонтальный кругъ. § 8. Система двухъ подвижныхъ линеекъ. Дѣленія на линейкахъ. Магниты прибора. § 9. Коллиматоръ. § 10 Приборъ для измѣренія горизонтальной силы. Масляный успокоитель розмаховъ стрѣлки. Крѣпленіе нитей; крѣпленіе стрѣлокъ прибора. Раскручиваніе нити. § 11. Приборъ для измѣренія вертикальной силы или инклинаторъ. Подвѣсъ стрѣлокъ. Закрѣпленіе ихъ. Винты для перемѣщенія центра тяжести системы стрѣлокъ. Раскручиваніе нитей. Предосторожности при обращеніи со стрѣлками. Замѣна нитей. § 12. Приборъ для наблюденія качаній и склоненія. Раскручиваніе нитей. Наблюденіе склоненія. Крѣпленіе подвѣса для похода, перемѣны магнитовъ и т. д. Электрическій успокоитель. § 12. Астрономическая часть прибора. § 13. Треножникъ, установка его относительно магнитнаго меридіана	21— 40
Глава III.	§ 14. Общая формула для вращательнаго момента отъ магнита на стрѣлку для положенія, имѣющаго мѣсто въ теодолитѣ. § 15. Примѣненіе ея къ случаю двухъ магнитовъ. Взаимная индукція магнитовъ. Упрощеніе общей формулы и величина отбрасываемыхъ членовъ. § 16. Теоретическія основанія для исключенія инструментальныхъ и другихъ ошибокъ при измѣреніи горизонтальнаго напря-	

Стр.

женія; вліяніе несимметричнаго расположенія магнитизма въ магнитахъ. § 17. Вывѣрка вспомогательнаго магнитика. Чувствительность прибора при измѣреніи горизонтальнаго напряженія. § 18. Теоретическія основанія для исключенія ошибокъ при измѣреніи вертикальнаго напряженія. Чувствительность измѣренія Z. . . . . 40— 66

Глава IV. О нахожденіи постоянныхъ теодолита. § 19. О нахожденіи коефиціентовъ ω и ψ въ рядѣ для вращательнаго момента. Данныя для ω. Ошибки отъ отбрасыванія члена разложенія съ $\frac{1}{R^7}$. Данныя для сужденія о точности измѣренія проэкцій напряженія. § 20. О нахожденіи индукціонныхъ и температурныхъ коефиціентовъ. Спеціальный приборъ для этой цѣли. Формулы, примѣры и окончательныя данныя опредѣленій. § 21. Поправки шкалъ прибора и ихъ опредѣленіе. § 22. Опредѣленіе размѣровъ кольца для нахожденія моментовъ инерціи. Опредѣленіе моментовъ инерціи качающейся системы съ обоими магнитами. Окончательныя данныя . . . . . 66— 95

Глава V. § 23. Испытанія прибора на Константиновской обсерваторіи въ Павловскѣ. Постоянныя прибора, входящія въ основныя формулы. Таблицы постоянныхъ поправокъ прибора относительно Обсерваторіи. Выводы, получаемые на основаніи этихъ таблицъ относительно точности измѣренія H, Z и M. О сравненіи напряженій въ двухъ мѣстахъ при помощи новаго теодолита. «Ползеніе» стрѣлокъ при измѣреніи Z. Преимущества новаго теодолита . . . . . 95—106

Таблицы 1, 2, 3 результатовъ опредѣленія поправокъ теодолита . . . . 107—109

Примѣръ сравненія вертикальныхъ напряженій въ двухъ мѣстахъ Константиновской обсерваторіи 110

Таблица I для нахожденія $F = \frac{1}{R^3}\left\{1 + \frac{\omega}{R^2}\right\}$ . . . . . 111—120

Таблица II для нахожденія $\mathrm{Log}\sqrt{1+\varepsilon}$, гдѣ $\varepsilon = \frac{1}{2}\left\{\frac{M_B}{M_A} - 1\right\}$ . . 121—123

Схемы 1—7.

Фототипіи 1—6.

Новый универсальный теодолитъ для опредѣленія элементовъ земного магнитизма.

Способъ измѣренія магнитной силы земли въ такъ называемыхъ абсолютныхъ единицахъ остался по своей сущности и до настоящаго времени почти въ томъ же видѣ, въ какомъ онъ былъ данъ Гауссомъ въ его извѣстномъ трудѣ Intensitas vis magneticae terrestris et cet. въ 1833 году. Наиболѣе употребительный способъ опредѣленія полнаго напряженія магнитной силы земли въ данномъ мѣстѣ состоитъ, какъ извѣстно, въ нахожденіи ея горизонтальной составляющей и въ опредѣленіи угла наклоненія полной силы къ горизонту; въ свою очередь величину горизонтальной составляющей находятъ, измѣряя уголъ отклоненія магнитной стрѣлки отъ меридіана подъ вліяніемъ измѣрительнаго магнита и продолжительность колебанія того-же измѣрительнаго магнита подъ дѣйствіемъ горизонтальной составляющей. Ни полное напряженіе, ни его горизонтальная и вертикальная составляющія, непосредственно не измѣряются; основой опредѣленія величины магнитной силы служатъ три количества: періодъ колебанія магнита и два угла. Несмотря на высокую степень совершенства и точности, которыхъ наука и техника достигли въ измѣреніи угловъ, обстоятельства и данныя, обусловливающія измѣреніе угловъ въ магнитныхъ изслѣдованіяхъ, настолько сложны благодаря природѣ самаго явленія, что нахожденіе двухъ основныхъ угловъ даже съ умѣренной степенью точности требуетъ продолжительныхъ и тщательныхъ наблюденій.

Опредѣленія магнитныхъ элементовъ на постоянныхъ обсерваторіяхъ можно обставить такъ, что результаты измѣреній въ смыслѣ точности и благонадежности удовлетворятъ всѣмъ требованіямъ науки. Иное дѣло въ полѣ; здѣсь затрудненія въ полученіи благонадежныхъ результатовъ изъ одного измѣренія довольно существенны, несмотря на то, что требованія въ смыслѣ точности къ искомымъ

величинамъ весьма понижены. Между тѣмъ этотъ родъ наблюденій въ настоящее время получилъ важное значеніе въ наукѣ. Современное направленіе по изученію явленій земного магнитизма выдвинуло вопросъ объ изслѣдованіи дѣйствительнаго распредѣленія магнитныхъ элементовъ на значительныхъ пространствахъ земной поверхности, и для рѣшенія его потребовались подробныя магнитныя съемки; явилась необходимость изученія перемѣнъ этихъ элементовъ во времени не только на постоянныхъ обсерваторіяхъ, но и на всемъ пространствѣ изслѣдуемой территоріи, а это вызвало увеличеніе числа опорныхъ пунктовъ для постоянныхъ и болѣе точныхъ измѣреній магнитной силы.

Однимъ изъ основныхъ условій современной магнитной съемки является извѣстная густота сѣти, а затѣмъ надежность каждаго отдѣльнаго опредѣленія, такъ какъ при большомъ числѣ пунктовъ измѣреніе въ каждомъ мѣстѣ приходится дѣлать лишь одинъ разъ. Успѣхъ осуществленія задачъ съемки много зависитъ и отъ типа инструмента, принятаго для работъ въ полѣ.

Въ этомъ отношеніи, если обратиться къ походнымъ инструментамъ новѣйшаго типа, то легко видѣть, что самые принципы измѣренія магнитной силы въ теченіе многихъ десятковъ лѣтъ остались неизмѣнными, прогрессъ сказался главнымъ образомъ въ улучшеніи способовъ нахожденія двухъ основныхъ угловъ и разнаго рода механическихъ усовершенствованіяхъ, имѣющихъ весьма важное значеніе въ практикѣ.

Существенное усовершенствованіе внесъ въ опредѣленіе наклоненія—въ наиболѣе слабую сторону магнитныхъ измѣреній—покойный Генр. Вильдъ, создавшій типъ походнаго индукціоннаго инклинатора; благодаря этому прибору самое измѣреніе упростилось, увеличилась точность и получился независимый контроль для опредѣленія наклоненія со стрѣлочнымъ инклинаторомъ.

Въ послѣднее время вошли въ употребленіе теодолиты, у которыхъ непосредственное абсолютное опредѣленіе горизонтальной составляющей H въ походѣ замѣняется относительными измѣреніями слѣдующаго рода: у прибора не опредѣляются ни основныя данныя, необходимыя для нахожденія H въ абсолютной мѣрѣ, ни постоянная поправка инструмента; для каждаго его измѣрительнаго магнита въ отдѣльности на обсерваторіяхъ находятъ до и послѣ похода нѣкоторый переводный множитель, въ который неявнымъ образомъ входитъ и поправка инструмента, выраженная въ частяхъ горизонтальной составляющей на обсерваторіи; при выводѣ H изъ

полевыхъ наблюденій множитель этотъ принимается постояннымъ; но при большой постоянной поправкѣ инструмента, которая остается неизвѣстною, такой способъ можетъ внести чувствительную даже для полевыхъ наблюденій ошибку, если разность горизонтальныхъ составляющихъ въ полѣ и на обсерваторіи велика.

На обсерваторіи съ современными солидными походными приборами, наблюдая на столбахъ въ помѣщеніи съ ровной температурой, при условіи тщательнаго опредѣленія основныхъ данныхъ, можно достигнуть точности опредѣленія H до $\pm 0{,}00001$ *C.G.S.* изъ ряда 6—8 отдѣльныхъ измѣреній; при наблюденіи въ полѣ, на штативѣ, точность понижается въ нѣсколько разъ. Причины такого уменьшенія въ точности получаемыхъ результатовъ заключаются частью въ основахъ измѣренія, частью въ конструктивныхъ особенностяхъ инструментовъ. Такъ напр. измѣряемый во всѣхъ теодолитахъ *уголъ отклоненія стрѣлки *) отъ меридіана необходимо зависитъ отъ колебаній въ направленіи и величинѣ горизонтальной составляющей.* Ослабить вліяніе этой причины можно данными съ магнитографа ближайшей обсерваторіи, но при безпокойномъ состояніи магнитной стрѣлки, при большомъ разстояніи наблюдателя отъ обсерваторіи результаты исправленія наблюденнаго угла отклоненія не всегда будутъ благонадежны. Далѣе, во всѣхъ теодолитахъ предполагается, что *основное разстояніе между центрами стрѣлокъ и измѣрительнаго магнита остается неизмѣннымъ*, равнымъ тому, которое у прибора было на обсерваторіи при опредѣленіи его поправки или его переводнаго множителя; но при разборкѣ и сборкѣ инструментовъ въ походѣ нельзя разсчитывать на сохраненіе постоянства этого разстоянія и ошибка въ немъ, въ зависимости отъ конструкціи теодолита и другихъ причинъ можетъ въ походѣ доходить до $\pm$ 0,1 м.м.; такъ какъ основное разстояніе только у нѣкоторыхъ теодолитовъ (англійскаго и американскаго типовъ) доходитъ до 30 с.м., а у большинства меньше этой величины, напр. въ теодолитѣ Вильда оно равно 20,0 с.м. а у Муро 15,3 с.м., то соотвѣтственныя ошибки въ H составятъ: $\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{3000} H$, $\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2000} H$ и $\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{1530} H$ или для Павловска при $H = 0{,}164$ отъ 8γ до 16γ **).

---

*) Здѣсь и въ послѣдующемъ изложеніи мы называемъ «стрѣлкою» отклоняемый магнитъ у прибора для нахожденія горизонтальной составляющей.

**) Этимъ обстоятельствомъ, можетъ быть, объясняется то, что относительную точность опредѣленія H приборомъ Вильда опытнѣйшіе изслѣдователи въ разныхъ

Соображенія такого рода, а также личный опытъ приводятъ насъ къ заключенію, что въ современныхъ походныхъ инструментахъ *точность отдѣльнаго опредѣленія* или *средняя ошибка одного наблюденія въ полѣ* врядъ ли достигнетъ $\frac{1}{5000} H$ и даже $\frac{1}{4000} H$, какъ это имѣетъ мѣсто при наблюденіяхъ съ лучшими инструментами такого рода на постоянныхъ обсерваторіяхъ; на самомъ дѣлѣ точность будетъ много ниже.

Разсмотримъ теперь, съ какой точностью находится вертикальная составляющая Z по наклоненію, наблюденному въ полѣ. Прежде всего слѣдуетъ замѣтить, что для походныхъ наблюденій наиболѣе распространенъ инклинаторъ стрѣлочный. Средняя ошибка одного наблюденія наклоненія имъ даже на постоянныхъ обсерваторіяхъ немногимъ менѣе $0',5 — 0',7$; для увеличенія точности необходимъ цѣлый рядъ измѣреній съ нѣсколькими стрѣлками; лучшіе результаты даетъ инклинаторъ индукціонный, но при условіи точной его установки въ меридіанѣ или особой провѣркѣ щетокъ коммутатора *). Въ полѣ точность однократнаго измѣренія наклоненія не превыситъ $1'—1^1/_2'$, уклоненія же до $2'—3'$ вполнѣ возможны. При такомъ условіи для весьма большого пояса земной поверхности, гдѣ наклоненіе равно $65° — 70°$ и болѣе, ошибка въ Z составитъ отъ $\frac{1}{1300} Z$ до $\frac{1}{370} Z$ и это только отъ ошибочности самаго наклоненія. Другими словами, въ результатѣ принятаго теперь способа нахожденія Z одна изъ составляющихъ полной силы, и при томъ преобладающая по величинѣ, находится съ весьма грубымъ приближеніемъ сравнительно съ другой составляющей; для нахожденія Z даже съ такой точностью необходимо сдѣлать по крайней мѣрѣ 16 отсчетовъ (если наблюдаютъ съ одной стрѣлкой) и отъ 40 до 45 мин. времени. Къ этому слѣдуетъ добавить, что и постоянная поправка прибора, опредѣляемая на обсерваторіи, справедлива, строго говоря, только для наклоненія, близкаго къ наклоненію на обсер-

---

странахъ оцѣниваютъ различно: въ то время, какъ средняя точность изъ четырехъ съемокъ выходитъ около $\pm \frac{1}{4800} H$, Chistoni въ Италіи даетъ всего $\pm \frac{1}{2000} H$, а Eschengagen въ Германіи $\pm \frac{1}{1300} H$. См. статью Вильда Theodolith für magnetische Landesaufnahmen, seite 3. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellshaft 1896, Zurich.

*) Сообщеніе старшаго лейтенанта В. Я. Павлинова въ Физико-Математическомъ Обществѣ въ С.-Петербургѣ 13 декабря 1911 г.

ваторіи; для другихъ же наклоненій разница въ поправкѣ можетъ превышать 1′. Поучительныя и интересныя указанія по этому вопросу можно извлечь изъ послѣдней статьи J. A. Flemming'a «Comparisons of magnetic observatory standards by the Carnegie Institution of Washington №№ I и II, Terrestrial Magnetism. June and September 1911.

Вопросъ о величинѣ поправокъ магнитныхъ инструментовъ и ихъ постоянствѣ является въ магнитныхъ измѣреніяхъ вообще однимъ изъ наиболѣе неопредѣленныхъ и трудно поддающихся изслѣдованію; разности поправокъ даже основныхъ инструментовъ обсерваторій, какъ видно изъ тщательныхъ сравненій, сдѣланныхъ институтомъ Carnegie (см. указанную выше статью J. A. Flemming'a) достигаютъ до $\frac{1}{2000} H - \frac{1}{1250} H$ и иногда доходятъ до $\frac{1}{800} - \frac{1}{500} H$, а въ наклоненіи болѣе 1′, т. е. до $\frac{1}{1000} Z$ даже въ среднихъ широтахъ. Происхожденіе этихъ поправокъ приписывается неизбѣжному присутствію желѣза въ инструментахъ, а также неточностямъ въ опредѣленіи основныхъ данныхъ теодолитовъ. Опредѣленіе постоянныхъ поправокъ, свойственныхъ извѣстному роду инструментовъ, представляетъ большія затрудненія, когда съ этимъ опредѣленіемъ связывается вопросъ какъ объ ихъ происхожденіи, такъ и о степени постоянства ихъ величины при полевой службѣ инструмента.

Всѣ такія соображенія, а также нѣкоторые выводы и заключенія, полученныя изъ опыта по опредѣленію элементовъ земного магнитизма на особомъ приборѣ и при особыхъ условіяхъ въ компасной части Главнаго Гидрографическаго Управленія, побудили насъ заняться разработкою и осуществленіемъ новаго универсальнаго магнитнаго теодолита на иныхъ основаніяхъ.

Требованія, которыя мы имѣли въ виду, были слѣдующія:

1) Приборъ измѣряетъ склоненіе двумя магнитами, при чемъ крученіе нити въ приборѣ устраняется въ полѣ наиболѣе простымъ и дѣйствительнымъ способомъ.

2) Приборъ долженъ измѣрять непосредственно самыя величины H горизонтальной составляющей и Z вертикальной (или количества $\frac{H}{M}$ и $\frac{Z}{M}$) однимъ и тѣмъ же магнитомъ или системой магнитовъ при помощи *самаго ограниченнаго числа отсчетовъ*.

3) Колебанія въ 30′—40′ въ направленіи магнитнаго меридіана въ теченіи наблюденія не должны имѣть ощутительнаго вліянія на

величину измѣряемой силы H; ошибка отъ неточной установки инструмента въ горизонтальномъ или вертикальномъ направленіяхъ не должна отзываться на точности измѣренія H или Z.

4) Точно также результаты измѣренія H и Z не должны зависѣть отъ перемѣщеній центра стрѣлокъ въ предѣлахъ до $\pm\ ^1/_2$ м.м.

5) Всѣ части прибора, которыя при измѣреніи остаются неподвижными относительно стрѣлокъ, должны сохранять по отношенію къ послѣднимъ всегда одно и тоже неизмѣнное положеніе, какъ при опредѣленіи поправки на обсерваторіи, такъ и на походѣ; подвижныя же части должны быть легко доступны изслѣдованію на присутствіе желѣза.

6) По измѣреннымъ H и Z и по наблюденной продолжительности качанія магнита (или магнитовъ) приборъ долженъ давать самостоятельно H и Z въ единицахъ *C.G.S.* въ предѣлахъ силъ отъ 0,700 *C.G.S.* до 0,070 *C.G.S.*; при этомъ точность измѣренія H отъ 0,070 до 0,400 *C.G.S.*, т. е. средняя ошибка одного наблюденія должна быть около $\frac{1}{3000}$ H, но по желанію можетъ быть доведена и до $\frac{1}{6000}$ H; , точность измѣренія Z должна быть отъ $\frac{1}{1500}Z$ до $\frac{1}{3000}Z$.

7) Приборъ долженъ давать возможность опредѣлять моментъ инерціи качающейся системы, а также коефиціенты, зависящіе отъ размѣровъ магнитовъ и стрѣлокъ и распредѣленія въ нихъ магнитизма.

8) Астрономическая часть инструмента должна давать возможность опредѣлять поправку часовъ и азимутъ предмета по солнцу и звѣздамъ.

Опредѣленіе индукціоннаго и температурнаго коефиціентовъ, которое дѣлается обыкновенно на обсерваторіяхъ, предположено выполнять отдѣльно на особомъ приборѣ и на иномъ основаніи, взамѣнъ обычно принятаго способа Ламона.

Для достиженія всѣхъ такихъ требованій наилучшимъ рѣшеніемъ представлялся намъ способъ измѣренія силъ, въ которомъ стрѣлка отклоняется на *прямой уголъ* отъ направленія измѣряемой силы при помощи магнита, расположеннаго осью по направленію силы; *мѣрою этой послѣдней* *) *принимается удаленіе магнита отъ стрѣлки*, когда послѣдняя отклонена на прямой уголъ. Успѣхи современной метрологіи, дающей возможность дѣлить линейки меха-

---

*) Точнѣе: количествъ $\frac{H}{M}$ или $\frac{Z}{M}$.

ническимъ путемъ такъ, что ошибки дѣленій не превышаютъ нѣсколькихъ микронъ, позволяютъ осуществить на практикѣ идею точнаго измѣренія магнитныхъ силъ посредствомъ измѣренія разстояній.

Основа предлагаемаго нами способа не представляетъ ничего новаго; въ нѣсколько иномъ видѣ она въ теченіе 30 лѣтъ примѣняется въ русскомъ военномъ флотѣ и принадлежитъ покойному ученому и дѣятелю по компасному и магнитному дѣлу во флотѣ генералъ-маіору Ивану Петровичу де-Колонгу. Еще въ 1875 г. де-Колонгъ разработалъ съ большимъ успѣхомъ эту идею для измѣренія магнитныхъ силъ, дѣйствующихъ на компасную стрѣлку на кораблѣ; въ первыхъ его опытахъ измѣрительный магнитъ помѣщался въ нактоузѣ компаса подъ стрѣлкою, параллельно измѣряемой силѣ, и первоначально величина силы, развиваемой магнитомъ на стрѣлку, принималась обратно пропорціональною кубу разстоянія. Въ 1880 году появился дефлекторъ де-Колонга для измѣренія горизонтальныхъ и вертикальныхъ силъ на кораблѣ *) со шкалами силъ, посылаемыхъ магнитомъ на стрѣлку въ зависимости отъ разстоянія. Въ 1884 году измѣреніе вертикальныхъ силъ было усовершенствовано введеніемъ картушки барона Штемпеля съ качающимися стрѣлками, была разбита новая шкала вертикальныхъ силъ и провѣрена снова горизонтальная шкала при участіи А. Н. Крылова **). Съ тѣхъ поръ дефлекторъ де-Колонга вошелъ постепенно во всеобщее и обыденное употребленіе въ Императорскомъ русскомъ флотѣ для уничтоженія девіаціи компаса и опредѣленія его поправокъ безъ помощи свѣтилъ или береговыхъ предметовъ посредствомъ одного лишь измѣренія горизонтальныхъ и вертикальныхъ силъ на ограниченномъ числѣ курсовъ.

Въ нашемъ теодолитѣ осуществленъ тотъ же принципъ де-Колонга, но принято иное расположеніе магнита, чѣмъ у де-Колонга для того же, чтобы величина измѣряемой силы не зависѣла отъ перемѣнъ въ положеніи стрѣлки, а также съ той цѣлью, чтобы при той же силѣ имѣть магнитъ болѣе удаленнымъ отъ стрѣлки и тѣмъ сдѣлать рядъ для разложенія для $\frac{H}{M}$ или $\frac{Z}{M}$ болѣе сходящимся, мы помѣстили вмѣсто одного магнита — два, прибли-

*) Новый приборъ де-Колонга и Брауэра для уничтоженія и измѣренія девіаціи. Морской Сборникъ. 1880 г. № 11.

**) Вычисленіе дѣленій дефлектора компаса А. Н. Крылова. Записки по Гидрографіи, выпускъ 2-й 1887 г.

зительно равныхъ магнитныхъ моментовъ, по одному съ каждой стороны стрѣлки. Это, кажущееся на первый взглядъ осложненіе, даетъ чрезвычайно большія выгоды, а именно, образуетъ весьма равномѣрное поле въ серединѣ разстоянія между магнитами, уничтожаетъ надобность въ перекладкѣ магнита съ одной стороны стрѣлки на другую, а главное для походнаго прибора дѣлаетъ измѣреніе почти независимымъ отъ малыхъ перемѣщеній стрѣлки (до ± 1 м.м.) по линіи, соединяющей центры магнитовъ. На выгоду расположенія двухъ магнитовъ вмѣсто одного указывалъ лордъ Кэльвинъ; такое расположеніе магнитовъ для нахожденія горизонтальной составляющей H при помощи отклоненій стрѣлки въ первомъ Гауссовомъ положеніи было осуществлено около 1885 г. профессоромъ Thomas Gray'емъ въ физической лабораторіи университета въ Глазго *). На томъ же принципѣ компасной частью Главнаго Гидрографическаго Управленія былъ построенъ спеціальный приборъ для разнаго рода изслѣдованій, который даетъ возможность по извѣстному магнитному моменту магнитовъ опредѣлить горизонтальное напряженіе поля въ 3 — 4 минуты съ точностью до $^1/_{3000}$ его величины.

Эти особенности и примѣнены въ новомъ теодолитѣ.

Ниже мы даемъ описаніе прибора и краткую теорію его, а теперь изложимъ самыя начала измѣренія.

I.

Основы измѣренія H и Z.

Основанія для измѣренія горизонтальныхъ и вертикальныхъ напряженій при помощи новаго теодолита заключаются въ слѣдующемъ:

§ 1. Расположимъ вдоль меридіана OM на одной горизонтальной прямой (фиг. 1) два магнита A и B на подвижной системѣ изъ двухъ линеекъ, при помощи которой магниты A и B могутъ сдвигаться и раздвигаться отъ центра прибора O на равныя отъ него

*) См. Theory and Practice of Absolute Measurements in Electricity and Magnetism by A. Gray, London 1893. Vol. II part I p.p. 82 — 94.

удаленія; оба магнита могутъ поворачиваться на 180° около вертикальныхъ осей rr, r_1r_1, проходящихъ черезъ центры магнитовъ A и B; разстояніе между точками A и B отсчитываются по шкалѣ на каждой линейкѣ. Въ центрѣ O подвѣшена на нити система горизонтальныхъ стрѣлокъ ns, n_1s_1, которая можетъ вращаться около вертикальной оси KO; наконецъ на колонкѣ, поддерживающей нить, укрѣпленъ вспомогательный магнитикъ PQ, магнитная ось котораго горизонтальна и перпендикулярна къ вертикальной плоскости, проходящей черезъ центры магнитовъ A и B; откуда слѣдуетъ, что при расположеніи магнитовъ A и B по меридіану, магнитикъ PQ къ послѣднему перпендикуляренъ.

Сближая или раздвигая магниты A и B, можно найти такое удаленіе между центрами магнитовъ, равное, положимъ $2R_0'$, *при которомъ стрѣлки ns, n_1s_1 расположатся перпендикулярно къ меридіану и*, слѣдовательно, параллельно магнитику PQ. Въ этомъ и состоитъ собственно *измѣреніе горизонтальнаго напряженія*.

Фиг. 1.

Обозначимъ: удаленія AO и BO (фиг. 1) черезъ R_A и R_B и, слѣдовательно, $R_A + R_B = 2R_0'$; черезъ $2R_0$ — отсчетъ по шкалѣ, равный $2R_0'$, приведенному къ 15° *Ц.*; черезъ M_{15} сумму магнитныхъ моментовъ магнитовъ A и B при 15° *Ц*, т. е. $M_{15} = M_A + M_B$; черезъ M' — магнитный моментъ системы стрѣлокъ; черезъ H горизонтальную составляющую силы земного магнитизма. Условіе равновѣсія даетъ:

$$M'H = \frac{2M'M_{15}}{R_0^3}\left[1 + \frac{\omega}{R_0^2} + \frac{\psi}{R_0^4}\right]\left\{1 - \nu_1 H - (\mu + 3\sigma)\,\Delta\tau_H\right\}$$

Здѣсь ν_1 — коефиціентъ индукціи отъ H и взаимнаго вліянія магнитовъ A и B; μ — средній изъ температурныхъ коефиціентовъ магнитовъ A и B; σ — линейный коефиціентъ расширенія матеріала

линейки; $\Delta\tau_н$ — избытокъ температуры линеекъ и магнитовъ надъ 15° *Ц.*; коефиціенты ω и ψ суть нѣкоторыя постоянныя, зависящія главнымъ образомъ отъ размѣровъ магнитовъ и стрѣлокъ, отъ расположенія въ нихъ магнитныхъ массъ и распредѣленія стрѣлокъ въ системѣ; обѣ онѣ опредѣляются особыми наблюденіями; для размѣровъ магнитовъ и стрѣлокъ, принятыхъ у теодолитовъ и для предѣльныхъ приближеній магнитовъ къ стрѣлкамъ, можно принять величину члена $\frac{\psi}{R_0^4}$ равнымъ 0 въ сравненіи съ 1. Поэтому, положивъ для сокращенія $\mu + 3\sigma = \mu_1$ и раздѣливъ обѣ части предыдущаго равенства на $2M'M_{15}$, найдемъ слѣдующее выраженіе для $\frac{H}{2M_{15}}$:

$$\frac{H}{2M_{15}} = \frac{1}{R_0^3}\left[1 + \frac{\omega}{R_0^2}\right]\left\{1 - \nu_1 H - \mu_1 \Delta\tau_н\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

§ 2. Поставимъ систему линеекъ и магниты вертикально (фиг. 2), а систему стрѣлокъ ns, $n_1 s_1$, тожественную съ первой, подвѣсимъ горизонтально на нитяхъ Ka и Kb, взятыхъ за середину крайнихъ стрѣлокъ; нити расположимъ такъ, чтобы ось вращенія была перпендикулярна къ меридіану OM: стрѣлки будутъ вращаться въ плоскости магнитнаго меридіана. Легко видѣть, что относительное расположеніе магнитовъ и стрѣлокъ здѣсь будетъ тоже, что и въ первомъ случаѣ, только тамъ вся система была горизонтальна, а здѣсь вертикальна. Предположимъ, что центръ тяжести стрѣлокъ лежитъ на оси вращенія ab. *Измѣреніе вертикальнаго напряженія будетъ состоять въ томъ, чтобы сдвигая или раздвигая магниты A и B, найти такое удаленіе между центрами магнитовъ A и B, при которомъ оси стрѣлокъ станутъ горизонтально*, т. е. ихъ магнитная ось расположится по направленію составляющей H;

Фиг. 2.

послѣдняя въ данномъ случаѣ играетъ ту же роль, какую въ первомъ измѣреніи исполнялъ магнитикъ PQ (фиг. 1).

Называя черезъ Z вертикальную составляющую силы земного магнитизма; черезъ R'_A, R'_B и $2R_1$ соотвѣтственно удаленія магнитовъ A и B отъ центра O и другъ отъ друга по вертикали, гдѣ $2R'_1 = R'_A + R'_B$; черезъ $2R'_1$ отсчетъ по шкалѣ, равный $2R'_1$, приведенному къ 15° Ц, будемъ имѣть изъ условія равновѣсія:

$$M''Z = \frac{2M_{15}M''}{R_1^3}\left[1+\frac{\omega_1}{R_1^2}\right]\left\{1-\nu_1 Z-\mu_1\Delta\tau_z\right\}$$

здѣсь $\Delta\tau_z$ избытокъ температуры линейки (тоже что и магнитовъ) надъ 15° Ц; ν_1, μ_1 и ω_1 тѣже коефиціенты, что и въ первомъ измѣреніи, но при этомъ численная величина коефиціента ω_1 нѣсколько иная и магнитный моментъ M'' можетъ быть иной, такъ какъ система стрѣлокъ не та же самая. Раздѣливъ обѣ части равенства на $2M''M_{15}$ найдемъ:

$$\frac{Z}{2M_{15}} = \frac{1}{R_1^3}\left[1+\frac{\omega_1}{R_1^2}\right]\left\{1-\nu_1 Z-\mu_1\Delta\tau_z\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

Обѣ формулы (1) и (2) вытекаютъ изъ болѣе сложныхъ выраженій условій равновѣсія, написанныхъ для случая I и II, но ради упрощенія изложенія эти преобразованія изложены позже въ §§ 15 и 16-мъ.

Отсюда слѣдуетъ, *что основою измѣренія составляющихъ H и Z служатъ два разстоянія R_0 и R_1*. Въ нашемъ теодолитѣ они получаются удвоенными: отсчетъ на шкалѣ линейки даетъ разстоянія $2R_0$ и $2R_1$ между центрами магнитовъ съ точностью вообще до $\pm 0{,}02$ м.м.; такъ какъ въ приборѣ наименьшее разстояніе AB составляетъ около 37 см. и постоянныя ошибки могутъ быть извѣстны съ точностью до нѣсколькихъ микронъ, то измѣреніе разстоянія до $\frac{1}{18500}R$ достигается свободно. Пронаблюдавъ затѣмъ въ отдѣльности качанія обоихъ магнитовъ A и B подъ вліяніемъ горизонтальнаго напряженія H и найдя изъ нихъ количество $H(M_A + M_B) = HM_{15}$, мы вмѣстѣ съ измѣренными $\frac{H}{M}$ и $\frac{Z}{M}$ получимъ данныя для нахожденія M_{15}, H и Z въ абсолютной мѣрѣ.

Коефиціенты: индукціонный ν_1 и температурный μ_1, входящіе въ формулы (1) и (2), опредѣляются обыкновенно на обсерваторіяхъ; удобнѣе для этой цѣли вмѣсто обычно употребляемаго способа

Ламона (по весьма малымъ разностямъ двухъ большихъ величинъ) примѣнить методы непосредственнаго ихъ измѣренія, для чего слѣдуетъ имѣть особый приборъ несложной конструкціи, позволяющій въ сравнительно короткое время получать цѣлый рядъ этихъ двухъ количествъ.

Постоянныя ω и ω_1, какъ будетъ указано ниже въ § 18, опредѣляются изъ наблюденій количества $\frac{H}{2M}$ и нѣкоторой доли отъ $\frac{H}{2M}$, напр. $\frac{1}{2}\frac{H}{2M}$, путемъ весьма простыхъ наблюденій.

Для нахожденія отношеній $\frac{H}{2M_{15}}$ и $\frac{Z}{2M_{15}}$ остается вычислить количества:

$$F_{\text{н}} = \frac{1}{R_0^3}\left[1 + \frac{\omega}{R_0^2}\right] \quad \text{и} \quad F_z = \frac{1}{R_1^3}\left[1 + \frac{\omega_1}{R_1^2}\right] \quad . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

Но эти величины *прямо выбираются* по аргументамъ R_0 или R_1 въ таблицѣ I-й, составленной спеціально для нашего прибора.

§ 3. Отклоненіе стрѣлокъ отъ меридіана на прямой уголъ при измѣреніи количества $\frac{H}{2M_{15}}$ достигается при помощи обыкновеннаго коллиматора и зеркальца, укрѣпленнаго перпендикулярно къ магнитной оси стрѣлокъ. Коллиматоръ устанавливается на приборѣ всегда перпендикулярно къ линейкамъ. Чтобы измѣрить $\frac{H}{2M}$ предварительно находятъ на горизонтальномъ кругѣ прибора отсчетъ, соотвѣтствующій положенію оси коллиматора въ меридіанѣ. Для этого устанавливаютъ на мѣсто: линейки безъ магнитовъ, коллиматоръ и приборъ со стрѣлками, но безъ вспомогательнаго магнитика PQ (фиг. 1)—всѣ эти приборы составятъ тогда одно цѣлое съ подвижною крышкою надъ горизонтальнымъ кругомъ—и открѣпляютъ стрѣлки, которыя расположатся въ меридіанѣ. Вращая крышку съ коллиматоромъ, достигаютъ того, чтобы въ коллиматорѣ постоянная черта и ея отраженіе отъ зеркала совпали бы, что случится, когда нормаль къ зеркалу и ось коллиматора будутъ совмѣщены въ одной плоскости и именно въ меридіанѣ. Замѣчаютъ отсчетъ на кругѣ и затѣмъ поворачиваютъ подвижную часть прибора по кругу точно на 90° вправо или влѣво отъ меридіана. Вложивъ на мѣсто магнитикъ PQ и измѣрительные магниты A и B,—послѣдніе оба S-выми концами къ N-ду—, достигаютъ опять совмѣщенія обѣихъ чертъ въ коллиматорѣ передвиженіемъ магни-

товъ A и B; въ этотъ моментъ нормаль къ зеркалу и ось коллиматора совпадутъ въ одной вертикальной плоскости, перпендикулярной къ меридіану; стрѣлки будутъ имъ параллельны. Средній изъ отсчетовъ по двумъ шкаламъ и даетъ величину $2R_0$, соотвѣтствующую измѣренному $\frac{H}{2M}$.

Точно также для нахожденія количества $\frac{Z}{2M}$ устанавливаютъ на крышку горизонтальнаго круга: линейку съ магнитами A и B вертикально, коллиматоръ и затѣмъ инклинаторъ (§ 11) съ качающимися стрѣлками, у которыхъ нормально къ ихъ магнитной оси укрѣплено зеркальце. Вращеніемъ крышки устанавливаютъ ось коллиматора въ меридіанѣ по извѣстному, хотя бы приблизительно, отсчету; у коллиматора поворачиваютъ шкалу вертикально—черезъ это обѣ черты постоянная и подвижная будутъ горизонтальны—и приводятъ ось его по уровню въ горизонтальное положеніе. Открѣпивъ стрѣлки въ инклинаторѣ, приводятъ въ совпаденіе подвижную черту съ постоянной въ коллиматорѣ передвиженіемъ магнитовъ A и B; въ этотъ моментъ нормаль къ зеркалу, а слѣдов. и магнитная ось стрѣлокъ, будутъ горизонтальны. Отсчетъ по шкалѣ и дастъ разстояніе $2R_1$, соотвѣтствующее измѣренному $\frac{Z}{2M}$.

Указанныя въ §§ 1 и 2 условія взаимнаго расположенія магнитовъ и стрѣлокъ по отношенію меридіана въ точности осуществить было бы трудно; проистекающія отъ этого ошибки въ измѣряемыхъ разстояніяхъ R_0 и R_1 исключаются соотвѣтственными наблюденіями. Перечислимъ тѣ ошибки, которыя могутъ быть исключены, и наблюденія, которыя для этой цѣли должны быть сдѣланы.

а) При измѣреніи $\frac{H}{2M_{15}}$ наиболѣе существенныя ошибки происходятъ:

1) отъ того, что при отклоненіи стрѣлки отъ меридіана на прямой уголъ (или на $90° \pm \varepsilon$, гдѣ ε не превышаетъ $40'$—$50'$) магнитная ось системы стрѣлокъ не будетъ параллельна магнитной оси PQ вспомогательнаго магнита.

2) отъ несимметричнаго расположенія магнитизма въ магнитахъ A и B относительно поперечнаго сѣченія черезъ оси rr и r_1r_1.

3) отъ силы крученія нити.

Вліяніе этихъ ошибокъ исключимъ, если произведемъ измѣреніе количества $\frac{H}{2M_{15}}$, отклоняя стрѣлку въ обѣ стороны отъ меридіана; среднее изъ соотвѣтственныхъ отсчетовъ R_0^{I} и R_0^{II}, т. е.

$$\frac{1}{2}\left\{ R_0^{\mathrm{I}} + R_0^{\mathrm{II}} \right\}$$

даетъ величину R_0 формулы 1-й, свободную отъ перечисленныхъ погрѣшностей.

Замѣтимъ, что для перехода отъ измѣренія R_0^{I} къ R_0^{II} требуется лишь повернуть всю верхнюю часть прибора съ линейками, стрѣлками ns и вспомогательнымъ магнитикомъ PQ около оси Ka (фиг. 1) на 180° по горизонтальному кругу, и въ то же время перевернуть магниты A и B около осей rr, r_1r_1 на 180°; небольшое передвиженіе линеекъ дастъ R_0^{II}.

Для полученія контроля все наблюденіе повторяютъ въ обратномъ порядкѣ, для чего потребуется не болѣе 5—8 минутъ времени.

в) При измѣреніи $\frac{Z}{2M_{15}}$ величина R_1 формулы 2-й можетъ заключать погрѣшности:

1) отъ несовпаденія центра тяжести системы стрѣлокъ съ осью вращенія ab (фиг. 2).

2) отъ крученія нитей, на которыхъ подвѣшена система стрѣлокъ.

3) отъ наклона оси коллиматора къ горизонту; также отъ несовпаденія нормали къ зеркалу съ магнитной осью системы стрѣлокъ.

4) отъ несимметричнаго расположенія магнитизма въ магнитахъ A и B относительно поперечнаго сѣченія черезъ оси вращенія rr и r_1r_1.

5) отъ несовпаденія центра линеекъ или, точнѣе, середины между кромками упорокъ, которыми линейки съ магнитами ставятся на приборъ при вертикальномъ положеніи, съ центромъ стрѣлокъ.

Первыя три ошибки исключаются перемагничиваніемъ стрѣлокъ, а послѣднія двѣ перекладываніемъ линейки концами и переворачиваніемъ магнитовъ A и B около осей rr, r_1r_1. Поэтому, надлежало бы, сдѣлавъ измѣреніе $\frac{Z}{2M_{15}}$ и получивъ отсчетъ R_1': a) повернуть ось коллиматора на 180° со всей верхней частью прибора около вертикальной оси, b) перемагнитить стрѣлки, c) переложить

линейку концами и d) перевернуть магниты около осей на 180° и снова измѣрить $\frac{Z}{2M_{15}}$; положимъ, это было сдѣлано, и пусть новый отсчетъ будетъ R_1''. Средній изъ двухъ отсчетовъ

$$R_1 = \frac{1}{2}(R_1' + R_1'')$$

дастъ количество R_1 формулы 2-й.

Предпочтителенъ однако слѣдующій способъ наблюденій, дающій контроль.

Измѣряемъ $\frac{Z}{2M_{15}}$ сначала, не перемагничивая стрѣлки, а только перекладывая линейку концами и поворачивая магниты около осей rr, r_1r_1 на 180°; пусть соотвѣтственные отсчеты будутъ

$$R_1^{\mathrm{I}} \text{ и } R_1^{\mathrm{II}}$$

Затѣмъ перемагничиваемъ стрѣлки и, повернувъ ось коллиматора на 180° со всѣмъ приборомъ около вертикальной оси, измѣряемъ $\frac{Z}{2M_{15}}$ два раза, сначала не перекладывая линейки, а затѣмъ опять переложивъ ее концами; пусть соотвѣтственные отсчеты будутъ

$$R_1^{\mathrm{III}} \text{ и } R_1^{\mathrm{IV}}$$

Не трудно видѣть, что два среднихъ

$$\frac{1}{2}(R_1^{\mathrm{I}} + R_1^{\mathrm{III}}) \text{ и } \frac{1}{2}(R_1^{\mathrm{II}} + R_1^{\mathrm{IV}})$$

дадутъ двѣ независимыя величины R_1, свободныя отъ перечисленныхъ выше погрѣшностей.

На основаніи этихъ соображеній составлены схемы наблюденій № 1 и № 2 для измѣренія напряженій H и Z, приведенныя въ концѣ статьи.

§ 4. Количество HM_{15} находятъ, наблюдая, какъ обыкновенно, продолжительность качанія магнитовъ A и B въ отдѣльности. Для этой цѣли имѣется особый приборъ качаній—онъ же служитъ и для опредѣленія склоненія—въ которомъ къ особому подвѣсу (см. описаніе прибора § 12) присоединяется сначала одинъ магнитъ, а затѣмъ другой. Въ приборѣ приняты мѣры къ тому, чтобы маг-

ниты присоединялись къ подвѣсу всегда одинаковымъ образомъ относительно оси вращенія.

Мы предполагаемъ, что моменты инерціи качающейся системы съ магнитомъ $A = J_A$ и съ магнитомъ $B = J_B$ опредѣлены на обсерваторіи. Но въ случаѣ надобности наблюдатель имѣетъ возможность и въ полѣ быстро произвести необходимыя для опредѣленія J качанія съ кольцомъ, опустивъ на подвѣсъ кольцо, которое всегда хранится надъ подвѣсомъ въ самомъ приборѣ качаній. Впослѣдствіи съ обсерваторіи необходимо лишь получить разность среднихъ H за время качаній съ кольцомъ и безъ кольца.

Для каждаго качанія примѣняется обычная формула, но такъ какъ у насъ имѣется два магнита, то формулы для HM_{15} или $\sqrt{2M_{15}H}$ получатся нѣсколько сложнѣе обыкновенныхъ, но помощью простого преобразованія это затрудненіе можетъ быть избѣгнуто.

Прежде чѣмъ дать окончательныя формулы для вычисленія, введемъ необходимыя обозначенія, кромѣ сдѣланныхъ выше въ §§ 1 и 2-мъ.

	Магнитъ A	Магнитъ B.
Моментъ инерціи магнита съ подвѣсомъ при 15°Ц	J_A	J_B
Магнитный моментъ при 15°Ц	M_A	M_B
Индукціонный коефиціентъ	ν_A	ν_B
Температурный коефиціентъ	μ_A	μ_B
Средній коефиціентъ линейнаго расширенія подвѣса съ магнитомъ	σ_0	
Уголъ отклоненія при закручиваніи на 360° въ ′	Δ_A	Δ_B
Продолжительность одного колебанія непосредственно по хронометру . . .	T_A	T_B
Избытокъ температуры при качаніяхъ надъ 15°Ц.	dt_A	dt_B
Избытокъ средняго H при качаніяхъ надъ H_0 при измѣреніи $\frac{H}{2M_{15}}$.	ΔH_A	ΔH_B
Амплитуда качанія въ °	α_A	α_B
Ходъ хронометра (+ если отстаетъ) . .	s	

Извѣстныя формулы дадутъ:

$$T_A = \pi\sqrt{\frac{J_A\, p_A}{M_A\, H_0}} \quad \text{и} \quad T_B = \pi\sqrt{\frac{J_B\, p_B}{M_B\, H_0}} \quad \ldots\ldots (4)$$

гдѣ:

$$\left.\begin{aligned} \sqrt{p_A} &= 1 - \frac{1}{2}\nu_A H + \frac{1}{2}(\mu_A + 2\sigma_0)dt_A - \frac{1}{2}\Delta_A r - 2m\frac{s}{2} + \\ &\quad + 2n\frac{\alpha_A^2}{2} - \frac{1}{2}\frac{\Delta H_A}{H} \\ \sqrt{p_B} &= 1 - \frac{1}{2}\nu_B H + \frac{1}{2}(\mu_B + 2\sigma_0)dt_B - \frac{1}{2}\Delta_B r - 2m\frac{s}{2} + \\ &\quad + 2n\frac{\alpha_B^2}{2} - \frac{1}{2}\frac{\Delta H_B}{H} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (5)$$

здѣсь r, $2\,m$ и $2\,n$ суть извѣстные постоянные множители. Изъ формулъ (4), принявъ во вниманіе наше прежнее обозначеніе $M_{15} = M_A + M_B$, найдемъ:

$$\sqrt{2M_{15}H_0} = \pi\sqrt{2}\sqrt{\frac{J_A\, p_A}{T_A^2} + \frac{J_B\, p_B}{T_B^2}} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

Изъ формулы (1) по извлеченіи $\sqrt{\ }$ изъ обѣихъ частей равенства получимъ:

$$\sqrt{\frac{H_0}{2M_{15}}} = \frac{1}{R_0^{3/2}}\left[1 + \frac{\omega}{R_0^2}\right]^{1/2}\left\{1 - \frac{1}{2}\nu_1 H_0 - \frac{1}{2}\mu_1 \Delta\tau_H\right\} \quad \ldots (7)$$

Изъ этихъ двухъ основныхъ формулъ, пользуясь равенствомъ (5), вычислимъ H_0 и $2M_{15}$ а затѣмъ и Z изъ формулы (2):

$$Z = 2M_{15}\frac{1}{R_1^3}\left[1 + \frac{\omega}{R_1^2}\right]\left\{1 - \nu_1 Z - \mu_1 \Delta\tau_Z\right\} \quad \ldots\ldots (8)$$

Но вторая часть выраженія (6) можетъ быть представлена иначе. Пусть $M_B > M_A$; на основаніи (4) имѣемъ:

$$\sqrt{\frac{M_B}{M_A}} = \sqrt{\frac{J_B}{J_A}} \cdot \frac{T_A}{T_B} \cdot \sqrt{\frac{p_B}{p_A}} = c\,\frac{T_A}{T_B}\sqrt{\frac{p_B}{p_A}}$$

2
БИБЛИОТЕКА
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ОГИЧЕСКОГО
8365

гдѣ c постоянно, и тогда вторая часть (6) можетъ быть представлена такъ:

$$\pi \sqrt{2}\ \frac{1}{T_A} \sqrt{J_A} \cdot \sqrt{p_A} \sqrt{1 + \frac{M_B}{M_A}}$$

Магнитамъ A и B легко придать почти равные магнитные моменты, и тогда отношеніе $\frac{M_B}{M_A}$ будетъ мало отличаться отъ единицы, и такъ какъ $M_B > M_A$, то можно положить $\frac{M_B}{M_A} = 1 + 2\varepsilon$, гдѣ ε малая величина, и слѣдовательно:

$$\sqrt{H_0 2M_{15}} = 2\pi \sqrt{J_A}\ \frac{\sqrt{p_A}}{T_A} \sqrt{1 + \varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

Для нахожденія величины $Log\sqrt{1+\varepsilon}$ по аргументу $Log\left[c\frac{T_A}{T_B}\frac{\sqrt{p_B}}{\sqrt{p_A}}\right]$ нами составлена таблица 2-я, благодаря чему вычисленіе H и $2M_{15}$ ведется почти также, какъ съ однимъ магнитомъ.

Сдѣлаемъ еще обозначенія въ формулахъ (7), (8) и (9);

$$\left.\begin{aligned} \left\{1 - \tfrac{1}{2}\nu_1 H - \tfrac{1}{2}\mu_1 \Delta\tau_H\right\} &= \sqrt{f_H} \\ \left\{1 - \nu_1 Z - \mu_1 \Delta\tau_Z\right\} &= f_z \\ \text{и} \quad 2\pi\sqrt{J_A} &= K \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (10)$$

и не забудемъ, что вслѣдствіе формулы (3)

$$\frac{1}{R_0^{3/2}}\left[1 + \frac{\omega}{R_0^2}\right]^{1/2} = \sqrt{F_H} \quad \text{и} \quad \frac{1}{R_1^3}\left[1 + \frac{\omega_1}{R_1^2}\right] = F \ ; \ldots \ (11)$$

отсюда на основаніи (7), (8) и (9) получимъ:

$$\sqrt{\frac{H_0}{2M_{15}}} = \sqrt{F_H} \cdot \sqrt{f_H}; \quad \sqrt{H_0 2M_{15}} = K\frac{\sqrt{p_A}}{T_A}\sqrt{1+\varepsilon}$$

$$\text{и} \quad Z = 2M_{15} \cdot F_z \cdot f_z \, .$$

Таблица 1-ая даетъ по аргументамъ R_0 и R_1 количества $F'_н = 4000\ F_н$ и $F'_z = 4000\ F_z$; поэтому окончательныя формулы для вычисленія H, Z и $2M_{15}$ выразятся слѣдующимъ образомъ:

$$\left.\begin{aligned} H_0 &= K\frac{\sqrt{p_A}}{T_A}\sqrt{1+\varepsilon}\cdot\sqrt{\frac{1}{4000}F_н'}\cdot\sqrt{f_н} = U\,.\,V \\ 2M_{15} &= K\frac{\sqrt{p_A}}{T_A}\sqrt{1+\varepsilon}\cdot\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4000}F_н'}\sqrt{f_н}} = U\,.\,\frac{1}{V} \\ Z &= \frac{1}{4000}F'_z\,.\,f_z\,.\,2M_{15} \end{aligned}\right\}\ .\ .\ .\ (12)$$

гдѣ $\sqrt{p_A}$ и $\sqrt{p_B}$ найдутся по формулѣ (5), $\sqrt{f_н}$ и f_z по формуламъ (10) и аргументъ для нахожденія $Log\sqrt{1+\varepsilon}$ изъ таблицы 2-й по формулѣ:

$$Log\left[c\,\frac{T_A\sqrt{p_B}}{T_B\sqrt{p_A}}\right],\ \text{гдѣ}\ \ c = \frac{\sqrt{J_B}}{\sqrt{J_A}}$$

Если $2M_{15}$ извѣстно, то H_0 вычислится такъ:

$$H_0 = \frac{1}{4000}\,F'_н\,f_н\,2M_{15}\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ (12\ \text{bis})$$

Для вычисленія можетъ служить схема № 5 вмѣстѣ съ примѣромъ, приложенная въ концѣ настоящей статьи.

§ 5. Величины $F_н'$ и F_z' находятся изъ таблицы 1-й. Въ этой таблицѣ для разстоянія R отъ $R = 18{,}50$ с.м. до $R = 40{,}00$ с.м. и для $\omega_0 = 10{,}10$ по аргументу R, выраженному въ миллиметрахъ, даны черезъ каждые 0,2 м.м. количества $F_н' = 4000\ F_н$ или $F'_z = 4000\ F_z$ до пятаго десятичнаго знака. Относительно множителя 4000 надо замѣтить, что онъ былъ бы равенъ удвоенной величинѣ магнитнаго момента $2M_{15} = 2(M_A + M_B)$, если бы M_{15} въ точности равнялось 2000 ед. *C.G.S.*; это послѣднее число представляетъ среднюю величину M_{15} для магнитовъ, принятыхъ въ теодолитѣ. Отъ умноженія всѣхъ

$$F = \frac{1}{R^3}\left[1 + \frac{\omega_0}{R^2}\right]$$

на 4000 получились числа, болѣе удобныя для таблицы; кромѣ того отсчетъ F', выбранный непосредственно изъ таблицъ и испра-

вленный на отношеніе дѣйствительнаго магнитнаго момента къ 2000, которое всегда извѣстно съ достаточнымъ приближеніемъ, даетъ прямо H или Z въ единицахъ *C.G.S.* *).

Послѣдній знакъ таблицъ можетъ заключать ошибку до ± 1; такъ какъ аргументъ R вообще находится не точнѣе, чѣмъ до 0,01 м.м., то нетрудно видѣть изъ разсмотрѣнія самихъ таблицъ, что точность выборки F' изъ таблицъ при $R = 20{,}00$ с.м. не превыситъ $^1/_{6000}$ ея величины и при $R = 30{,}00$ с.м. — $^1/_{10000}$ F'.

Строго говоря для каждаго теодолита таблицы величинъ F' должны бы быть свои особыя, такъ какъ количество ω можетъ отличаться отъ принятаго для таблицы $\omega_0 = 10{,}10$ на нѣкоторую величину $d\omega_0$; кромѣ того таблица для горизонтальныхъ напряженій можетъ быть иная, чѣмъ для вертикальныхъ вслѣдствіе того, что система стрѣлокъ въ обоихъ случаяхъ не одна и та же; но такъ какъ величина ω зависитъ главнымъ образомъ отъ размѣра магнитовъ и стрѣлокъ и распредѣленія послѣднихъ въ системѣ, а всѣ эти элементы остаются тѣми же, то $d\omega_0$ должно быть мало; поэтому можно во всѣхъ случаяхъ пользоваться тою же таблицею 1-й, но присоединять къ выбранному изъ нея F' поправку $4000\frac{d\omega_0}{R^5}$, гдѣ $d\omega_0 = \omega - 10{,}10$. Для этой цѣли въ таблицѣ противъ R, кромѣ F', даны соотвѣтствующіе $Log\frac{1}{R^5}$ съ 4-мя знаками, что вполнѣ достаточно.

Поправки эти не велики и для каждаго прибора могутъ быть сгруппированы въ особую табличку; онѣ постоянны въ теченіе даже нѣсколькихъ лѣтъ, пока не мѣняются элементы, обусловливающіе величину ω.

§ 6. При вычисленіи H и Z необходимо впередъ знать приближенныя ихъ значенія для нахожденія произведеній $^1/_2\nu_A H$, $^1/_2\nu_B H$, $^1/_2\nu_1 H$ и $\nu_1 Z$ формулъ (5) и (10). Эти произведенія присоединяются къ 1 и наибольшей величины изъ нихъ достигаетъ

*) Отсюда слѣдуетъ, что помощью таблицы легко рѣшается обратная задача: зная по магнитнымъ картамъ напередъ приближенно H и Z, найти разстоянія R_0 или R_1 формулъ (1) и (2); для этого достаточно умножить H на $\frac{2000}{M_{15}}(1 + \nu_1 H)$ и Z на $\frac{2000}{M_{15}}(1 + \nu_1 Z)$, чтобы найти приближенныя F_0' и F_1', а по нимъ изъ таблицы искомыя R_0 и R_1. Это полезно при установкѣ линеекъ напередъ въ полѣ. Замѣтимъ, что множитель $\frac{2000}{M_{15}}$ величина близкая къ 1 и довольно постоянная.

$\nu_1 Z$; положимъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ нашемъ теодолитѣ, $\nu_1 = 0{,}005$ *C.G.S.* (приблизит.) и пусть $Z = 0{,}700$ *C.G.S.*; въ такомъ случаѣ $\nu_1 Z = 0{,}00350$ (приблиз.); чтобы не ввести въ вычисленіе ошибки, бо́льшей напр. $^1/_{15000} Z$, произведеніе $\nu_1 Z$ должно быть извѣстно съ точностью около $^1/_{60}$ его величины, и, слѣдовательно, каждый изъ производителей приблизительно съ точностью до $1^0/_0$. Поэтому позволительно при вычисленіи произведенія $\nu_1 Z$ найти Z по слѣдующей упрощенной формулѣ изъ (12):

$$Z = 2M_{15} F_z' \frac{1}{4000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

въ которой f_z на основаніи сказаннаго выше принято $=1$. Изъ предшествующихъ наблюденій и вычисленій $2M_{15}$, извѣстно всегда гораздо точнѣе, чѣмъ до $1^0/_0$, а $Log\left(F_z' \frac{1}{4000}\right)$ находится попутно при вычисленіи Z. Точно также a fortiori мы можемъ для нахожденія $^1/_2 \nu_A H$, $^1/_2 \nu_B H$, $^1/_2 \nu_1 H$ принять для H формулу:

$$H = 2M_{15} \frac{1}{4000} F_H' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

гдѣ $Log\left(\frac{1}{4000} F_H'\right)$ тоже находится при вычисленіи H.

Магнитный моментъ магнитовъ M_{15} мѣняется весьма мало въ теченіе года—менѣе $^1/_2{}^0/_0$,—а потому при вычисленіи наблюденій можно заранѣе имѣть $Log(^1/_2 \nu_A 2M_{15})$, $Log(\nu_1 2M_{15})$ и т. д. съ 4-мя знаками. Отсюда видно, что для вычисленія $\sqrt{p_A}$, $\sqrt{p_B}$, f_H и f_z нѣтъ надобности преобразовывать формулы (5) и (9), какъ это иногда дѣлается для вычисленія наблюденій, произведенныхъ съ теодолитами другихъ системъ.

II.

Описаніе прибора.

Новый магнитный теодолитъ построенъ для опредѣленія абсолютнаго склоненія, для непосредственнаго измѣренія горизонтальнаго и вертикальнаго напряженія въ абсолютной мѣрѣ и, наконецъ,

для опредѣленія азимута земного предмета и поправки часовъ, какъ по солнцу, такъ и по звѣздамъ.

При проектированіи инструмента мы имѣли въ виду достигнуть той же точности въ опредѣленіи всѣхъ элементовъ, какая получается въ лучшихъ современныхъ походныхъ приборахъ, но сверхъ того мы поставили себѣ задачей устроить приборъ такъ, чтобы при однократномъ измѣреніи H и Z наблюдатель уходилъ съ мѣста наблюденій, имѣя нѣкоторый контроль надежности результатовъ; чтобы въ случаѣ сомнѣнія, на повтореніе основныхъ измѣреній количествъ $\frac{H}{M}$ и $\frac{Z}{M}$ требовалось бы не болѣе двадцати—тридцати минутъ. Въ виду того, что инструментъ предназначался для гидрографическихъ экспедицій и солидныхъ магнитныхъ работъ на основныхъ станціяхъ, возможное уменьшеніе вѣса инструмента не входило въ число заданій; поэтому вѣсъ всѣхъ приборовъ безъ ящика и статива вышелъ около 12 килограммовъ, но уменьшеніе его по меньшей мѣрѣ на одну треть не представляетъ никакихъ затрудненій.

Чертежи магнитной части прибора были разработаны авторомъ настоящей статьи, астрономическая же часть всецѣло проектирована извѣстнымъ механикомъ Г. Фрейбергомъ, стоящимъ во главѣ Мастерской мореходныхъ инструментовъ Главнаго Гидрографическаго Управленія; ему же принадлежитъ разработка всѣхъ деталей теодолита, а также наблюденіе за осуществленіемъ прибора; все принятое на себя г. Фрейбергъ выполнилъ съ присущимъ ему талантомъ и превосходнымъ знаніемъ дѣла.

Приборъ изготовлялся въ Мастерскихъ Главнаго Гидрографическаго Управленія на Охтѣ русскими мастерами и изъ русскихъ матеріаловъ; лишь объективы и окуляры были выписаны изъ Германіи отъ фирмы Штейнгель. Микроскопы-лупы и микроскопы были изготовлены въ мастерской Г. Герцыкъ-Полубинскаго. Линейки прибора—основаніе всѣхъ измѣреній—были раздѣлены въ Главной палатѣ мѣръ и вѣсовъ при любезномъ содѣйствіи и подъ наблюденіемъ главнаго механика Палаты Ф. И. Блумбаха.

Магнитный теодолитъ состоитъ изъ слѣдующихъ отдѣльныхъ частей:

1) Горизонтальнаго круга на солидной подставкѣ съ крышкой для помѣщенія на ней перечисленныхъ ниже приборовъ.

2) Особой системы двухъ раздвижныхъ линеекъ со шкалами и двумя измѣрительными магнитами для непосредственнаго нахожденія количествъ $\frac{H}{M}$ и $\frac{Z}{M}$.

3) Коллиматора съ уровнями.

4) Колонки для измѣренія H съ системой стрѣлокъ, подвѣшенныхъ на вертикальной нити, иначе: *прибора горизонтальной силы.*

5) *Инклинатора* или прибора для измѣренія Z съ качающейся системой стрѣлокъ, подвѣшенныхъ горизонтально на нитяхъ.

6) Прибора для наблюденія качаній магнитовъ и для опредѣленія склоненія.

7) Подставки съ горизонтальной осью, астрономической трубой и вертикальнымъ кругомъ и двумя уровнями для наблюденій солнца и звѣздъ.

8) Солидной треноги съ буссолью къ ней и электрическимъ успокоителемъ.

§ 7. *Горизонтальный кругъ* (фот. 1—6) съ серебряннымъ лимбомъ, діаметромъ въ 130 м.м. укрѣпленъ на солидной конической подставкѣ, поддерживаемой треножникомъ съ тремя опорными винтами. Въ подставкѣ вращается ось, съ которой связана крышка P, закрывающая кругъ съ дѣленіями и служащая основаніемъ для всѣхъ приборовъ. Лимбъ подраздѣленъ отъ 10′ до 10′; цифры для обозначенія градусовъ нанесены черезъ два градуса. Крышка P крѣпится винтомъ G (фот. 2), винтъ L служитъ для микрометрическаго движенія.

Крышка P извнутри имѣетъ концентричное съ кругомъ кольцо, на которомъ по концамъ діаметра нанесены два верньера; въ крышкѣ надъ ними сдѣланы отверстія, закрытыя слюдой; снаружи на боковой кромкѣ крышки въ особыя салазки (фот. 2 и 6) вдвигаются держатели съ микроскопами-лупами. При наблюденіи напряженій H и Z, при качаніяхъ и при опредѣленіи крученія пользуются однимъ правымъ (отъ коллиматора) микроскопомъ; второй ставится на мѣсто лишь при опредѣленіи склоненія и при наблюденіяхъ азимута. На крышкѣ имѣются два рельса rr, составляющихъ съ ней одно цѣлое, (фот. 2 и 6); въ рельсы вдвигается съ одной стороны коллиматоръ своимъ основаніемъ (фот. 1, 2, 5), съ другой стороны—линейка съ магнитами. Коллиматоръ крѣпится къ крышкѣ зажимнымъ винтомъ q, линейки же удерживаются въ рельсахъ въ

должномъ положеніи при помощи сквозного штифтика f съ пружинкой (фот. 3, 6), скользящаго въ стойкѣ на рельсѣ; пружинка жметъ штифтикъ внутрь. Коллиматоръ и линейка располагаются на крышкѣ P эксцентрично. Съ основаніемъ коллиматора скрѣпленъ уровень X (фот. 2), по которому приводится въ вертикальное положеніе ось крышки P послѣ того, какъ коллиматоръ скрѣпленъ съ крышкой нажимнымъ винтомъ q; цѣна дѣленія уровня около $17''$.

На крышкѣ P, въ нѣкоторомъ удаленіи отъ ея центра, между рельсами, въ сторонѣ, противоположной коллиматору, сдѣлана круговая выемка съ заплечикомъ; въ нее вставляются основанія приборовъ 4), 5) и 6) и зажимаются одновременно съ двухъ сторонъ задвижками при помощи особаго рычажка. Треніе конической оси съ крышкой P на втулку регулируется снизу шайбой съ пружиной g (фот. 2, 6).

§ 8. *Система двухъ подвижныхъ линеекъ* съ измѣрительными магнитами, представленная на фот. 1, 2, 3, и фиг. 3, есть основная и отличительная часть инструмента. Устроена она такъ. Двой-

Фиг. 3.

ная рамка DD, D_1D_1, имѣющая внизу полозья d, d (фот. 2), можетъ вдвигаться въ рельсы rr крышки P или этими полозьями— въ этомъ случаѣ линейки будутъ горизонтальны (фот. 1),—или ребрами DD, D_1D_1, и тогда линейка будетъ вертикальна (фот. 2 и 3). Черезъ стѣнки, соединяющія рамки DD и D_1D_1, пропущены двѣ полыя трубки TT, составляющія съ рамкой одно цѣлое;

на концахъ трубокъ TT укрѣплены держатели RR съ роульсами, черезъ которые скользятъ двѣ линейки. Обѣ онѣ устроены совершенно одинаково: на одномъ концѣ каждой линейки укрѣплена неподвижно коробка KK (фот. 1, 2), несущая на себѣ втулку съ заплечикомъ и съ коническимъ отверстіемъ (см. фиг. 3 и фот. 1 и 2); въ эту втулку вкладывается коническій стержень, которымъ оканчиваются оправы магнитовъ A и B; стержень имѣетъ заплечикъ, который придерживается къ такому же заплечику на втулкѣ коробки закидными болтиками съ гайками WW (фот. 1 и 2); коробка K одной стороной скрѣплена съ линейкой наглухо, а съ другой стороны полуоткрыта и несетъ на нижней кромкѣ ноніусъ; черезъ эту половину коробки пропускается свободный конецъ другой линейки. Линейка въ сѣченіи имѣетъ форму ⊏; обѣ онѣ обращены отверстіемъ другъ къ другу, внутрь. На боковой наружной поверхности каждой изъ линеекъ вдѣлана серебряная шкала, раздѣленная на миллиметры. Нуль дѣленій каждой шкалы и нуль дѣленій ноніуса на коробкѣ соотвѣтствуютъ оси конуса той же коробки; такимъ образомъ *отсчетъ по ноніусу даетъ разстояніе по шкалѣ отъ одной оси втулки до другой* *). Ноніусы даютъ непосредственно отсчеты до 0,05 м.м., но при небольшомъ навыкѣ легко отсчитывать разстоянія до 0,01 м.м. Каждая изъ линеекъ внизу имѣетъ кремальеру; помощью зубчатой системы колесъ, прикрѣпленной къ трубкамъ TT, линейки могутъ раздвигаться отъ центра рамокъ DD, D_1D_1 въ разныя стороны на одинаковыя удаленія. Для микрометрическаго движенія вводятъ добавочную зубчатку съ головкой Q (фот. 1, 2, 3), поднимая рычагъ p; для быстрыхъ и большихъ передвиженій добавочная зубчатка выводится опусканіемъ рычага p **), а на одинъ изъ концовъ осей шестеренъ надѣвается шляпка m съ накаткой. (фот. 1, 2, 3).

Для удержанія линеекъ въ должномъ положеніи у рамки DD_1 имѣются два стопора S, S (фот 2, 3); завинчивая любой изъ нихъ, прижимаютъ линейки къ прокладкѣ между линейками и въ то же время скрѣпляютъ ихъ съ рамкой DD_1.

---

*) Точнѣе: ноніусы установлены въ приборѣ такъ, что при температурѣ 15°Ц. они даютъ разстояніе между точками пересѣченія осей rr, r_1r_1 съ діагональнымъ сѣченіемъ магнитовъ, расположеннымъ горизонтально. Для гнутія линеекъ вводится особая поправка.

**) Отнюдь не слѣдуетъ забывать опускать рычагъ p прежде, чѣмъ надѣть шляпку m, иначе можно сломать зубцы кремальеры линеекъ.

Для измѣренія горизонтальнаго напряженія линейки вдвигаются обыкновенно только одной стороной на крышку P, именно такъ, чтобы головка для микрометрическаго движенія приходилась съ лѣвой стороны наблюдателя, смотрящаго въ коллиматоръ (фот. 1). Для измѣренія вертикальнаго напряженія при перекладкѣ концовъ линейки по очереди вверхъ и внизъ, головка Q придется для наблюдателя, смотрящаго въ коллиматоръ, или слѣва наверху, или справа внизу.

До вдвиганія линейки на крышку P необходимо стопорный штифтикъ f вытянуть и поставить его на стопорокъ; затѣмъ, когда конецъ полоза dd или стойки DD минуетъ столбикъ f, этотъ штифтикъ надо поворотомъ головки отпустить со стопора и когда приборъ будетъ на мѣстѣ, штифтикъ самъ вдвинется въ отверстіе на полозѣ d или стойкѣ D и щелкнетъ. При вдвиганіи и выдвиганіи и особенно при измѣреніи вертикальныхъ силъ слѣдуетъ одной рукой двигать линейки, а другой придерживать инструментъ съ противоположной стороны.

Замѣтимъ, что крѣпительныя гайки W, W (фот. 1, 2) закидныхъ болтиковъ не слѣдуетъ зажимать слишкомъ туго.

При вкладываніи магнитовъ въ гнѣзда и при поворотѣ ихъ на 180° надо слѣдить, чтобы кромки ихъ были параллельны кромкамъ линеекъ.

Температура шкалъ и соединяющихся съ ними магнитовъ опредѣляется двумя чувствительными термометрами t, t (фот. 1, 2), вдѣланными въ полую часть каждой линейки; металлъ накрѣпко соединенъ со шкалой и непосредственно касается шарика со ртутью.

Термометры раздѣлены черезъ 0°,2, но отсчеты легко дѣлать до 0°,1; дѣленія имѣются отъ — 25° до + 70°.

Измѣрительные магниты прибора сдѣланы изъ самозакаливающейся стали г.-м. Ѳеодосьева, приготовляемой Путиловскимъ заводомъ въ С.-Петербургѣ. Эта сталь, будучи нагрѣта до нѣкоторой температуры, заключающейся между 900° и 1000°, закаливается сама собою на воздухѣ.

Размѣры магнитовъ приблизительно $76 \times 9 \times 9$ м.м.; боковая поверхность ихъ отполирована грубо, а торцы отполированы до зеркальной поверхности.

Полированная поверхность магнитовъ, повидимому, не подвергается легко ржавчинѣ; магниты прибора хотя и испытывали разнообразныя атмосферныя вліянія, но послѣ трехъ лѣтъ службы съ

1909 года до 1912 года не обнаружили ни малѣйшаго слѣда ржавчины. Послѣ шлифовки магниты были намагничены въ соленоидѣ въ магнитномъ полѣ около 1600 ед. *C.G.S.* и затѣмъ были испытаны на коэрситивную силу: она оказалась для обоихъ магнитовъ 88 ед. *C.G.S*; коефиціентъ средней напряженности намагниченія получился около 200. Далѣе магниты были снова намагничены до насыщенія и наконецъ нѣсколько размагничены въ полѣ = 21 ед. *C.G.S.*, причемъ уменьшеніе магнитнаго момента оказалось въ среднемъ около $9^0/_0$; кромѣ того магниты были подвергнуты бросанію съ высоты $1^1/_2$ метра.

Начиная съ весны 1911 года оба магнита прибора: № 8 и № 10 тщательно сохранялись и приведенныя въ главѣ 5-ой наблюденія показываютъ, что отъ начала августа 1911 года до конца октября 1912 года совокупный магнитный моментъ $M = M_8 + M_{10}$ уменьшился всего на $0{,}25^0/_0$. Величина индукціонныхъ и температурныхъ коефиціентовъ дана ниже въ § 20.

§ 9. *Коллиматоръ* (фот. 2 и 5)—распространеннаго типа—состоитъ изъ горизонтальной трубы на особой подставкѣ, вдвигаемой въ рельсы *rr* на крышку *P* (§ 7); труба снабжена объективомъ Штейнгеля діаметра 21 мм. съ фокуснымъ разстояніемъ 160 м.м.; въ фокусѣ объектива помѣщается стеклянная пластинка съ нанесенными на ней вертикальной и горизонтальной чертами и дѣленіями, идущими въ каждую сторону отъ вертикальной черты, параллельно горизонтальной чертѣ; каждое дѣленіе соотвѣтствуетъ дугѣ въ 2′ (между дѣленіями, слѣдов., разстояніе около 0,09 м.м.); окуляръ *O* можетъ передвигаться вдоль этихъ дѣленій винтомъ *E*. Для исправленія коллимаціонной ошибки трубы пластинка съ дѣленіями можетъ передвигаться двумя взаимно перпендикулярными парами упорныхъ винтовъ, на которыхъ она укрѣплена въ трубѣ. Освѣщеніе шкалы и нитей достигается при помощи зеркальца *J* (фот. 1 и 2), вращающагося около двухъ взаимно перпендикулярныхъ осей; зеркальце отбрасываетъ свѣтъ черезъ отверстіе въ оправѣ окуляра на призму $\mathscr{P}$ (фиг. 4); послѣдняя укрѣплена у верхней части стеклянной пластинки съ дѣленіями, гранью прямого угла къ пластинкѣ; свѣтъ, отразившись отъ гипотенузы призмы, падаетъ на пластинку. Лучи отъ передней грани призмы и части *ab* вертикальной черты противъ грани, выйдя изъ объектива коллиматора параллельными, отражаются затѣмъ отъ зеркала на магнитѣ или отъ зеркальца *m* у системы стрѣлокъ, возвращаются черезъ объ-

ективъ и даютъ на пластинкѣ свѣтлое изображеніе освѣщенной грани призмы съ частью *ab* вертикальной нити; разсѣянный свѣтъ достаточно хорошо освѣщаетъ остальную часть пластинки; при совпаденіи въ одной плоскости нормали къ зеркалу и оптической оси трубы обѣ черты—прямовидимая и отраженная—совпадутъ; отсюда слѣдуетъ также, что при вращеніи зеркала и связаннаго съ нимъ магнита или стрѣлки на уголъ, равный, положимъ, 1′ черта перейдетъ на 2′, т. е. на одно дѣленіе шкалы. Въ темныхъ помѣщеніяхъ свѣтъ въ коллиматоръ отражается зеркальцемъ *J* или отъ боковыхъ оконъ или отъ искусственнаго источника свѣта.

Особенность въ устройствѣ коллиматора у теодолита состоитъ въ томъ, что труба его лежитъ въ лагерахъ *hh*, въ которыхъ она можетъ поворачиваться; вмѣстѣ съ лагерами труба вращается около

Фиг. 4.

горизонтальной оси у передней стойки подставки и можетъ по накладному уровню помощью винта *H* приводиться въ горизонтальное положеніе; внизъ коллиматоръ кромѣ своей тяжести увлекается еще пружинкой ψ; цѣна дѣленія накладного уровня около 20″. Для наблюденія горизонтальнаго напряженія, склоненія и качаній шкала съ дѣленіями въ трубѣ и винтъ *E* располагаются горизонтально; для наблюденія же вертикальнаго напряженія шкала и винтъ *E* располагаются вертикально, для чего, отдавъ крѣпительные винты у лагеровъ *hh*, поворачиваютъ всю трубу на 90° (винтомъ *E* внизъ), какъ показано на фот. 2.

§ 10. *Приборъ горизонтальной силы* состоитъ изъ домика съ колонкой (фот. 1). Въ немъ подвѣшена на коконовой нити система изъ шести параллельныхъ стрѣлокъ; изъ нихъ каждая имѣетъ длину 36 м.м. и діаметръ 1 м.м; къ концамъ стрѣлки сточены на конусъ.

Основу системы составляетъ центральная рамка съ зеркальцемъ; отъ рамки внизъ и вверхъ идетъ по стержню; въ каждомъ изъ нихъ перпендикулярно къ зеркальцу вставлено по три стрѣлки; нижній стержень оканчивается зажимомъ, въ которомъ вставленъ кусокъ тонкой прямой платиновой проволоки; конецъ проволоки опускается въ костяной сосудъ, въ который на время наблюденій наливаютъ немного масла; такое приспособленіе умѣряетъ колебанія системы стрѣлокъ, не препятствуя ей вращаться около оси и занимать должное положеніе по азимуту. Верхній стержень своимъ продолженіемъ входитъ въ колонку, оканчиваясь такимъ же зажимомъ, какъ и нижній; къ нему укрѣпляется нить.

Устройство крѣпленія нитей, общее для всѣхъ приборовъ, слѣдующее. Конецъ стержня нарѣзанъ винтомъ, слегка коническимъ, половина этого винта параллельно оси стержня срѣзана (фиг. 5). По оси оставшейся части винта укладывается конецъ нити, предварительно пропущенный черезъ гайку, и затѣмъ продѣвается черезъ отверстіе въ стержнѣ у срѣза къ наружной поверхности; послѣ этого на нить накладывается срѣзанная половина винта и наконецъ на обѣ половины навинчивается гайка, которая зажимаетъ винтъ.

Фиг. 5.

Зеркало системы стрѣлокъ послѣ надлежащей пригонки укрѣпляется въ рамкѣ разъ навсегда лакомъ; оно вывѣряется такъ, чтобы уголъ нормали къ зеркалу съ магнитной осью системы стрѣлокъ не превышалъ нѣсколькихъ минутъ дуги.

Система стрѣлокъ крѣпится въ приборѣ посредствомъ зажима системы Тэпфера. Зажимъ помѣщается между колонной и домикомъ и состоитъ изъ двухъ поршней въ гильзахъ, въ которыхъ они могутъ одновременно сдвигаться къ оси прибора и раздвигаться отъ

нея поворотомъ шайбы *e* (фот. 1); чтобы шайба не могла отдаться, къ ней нормально опускается стопорокъ *f'* съ пружинкой и задержкой подобной стопору *f* у рельса *rr* на крышкѣ *P*, описанному выше. Поршни приходятся противъ верхней части стержня системы стрѣлокъ и при поворотѣ шайбы *e* плотно его сжимаютъ.

Зажимъ съ шайбой *e* служитъ и для успокоенія большихъ колебаній стрѣлки; для этой цѣли, застопоривъ стрѣлки, плавно ихъ отпускаютъ, поворачивая медленно шайбу *e*; для наблюденія за верхней частью стержня оправы стрѣлокъ и за концами зажимающихъ поршней служитъ небольшое сквозное оконце въ самомъ стопорѣ. Въ приборѣ горизонтальнаго напряженія стрѣлки всегда сохраняютъ одно и то же положеніе, а именно: *S*-вые концы и зеркальце всегда обращены къ коллиматору; у *N*-выхъ концовъ стрѣлокъ съ обѣихъ сторонъ сдѣланы задержки въ видѣ костяныхъ вертикальныхъ стоекъ, которыя не позволяютп стрѣлкамъ перевернуться на 180°.

Для наведенія коллиматора на зеркало въ верхней части домика имѣется круглое окно, закрытое стекломъ съ плоскими параллельными поверхностями; такое же окно, но съ простымъ стекломъ, сдѣлано и съ другой стороны для осмотра внутренности прибора; задняя крышка, кромѣ того, легко снимается; на кромкѣ коробки нарѣзаются марки, соотвѣтствующія уровню концовъ стрѣлокъ; прикладывая къ нимъ линейку или кусокъ бумаги, легко привести стрѣлки по маркамъ въ надлежащее положеніе по высотѣ до $\pm^1/_2$ м.м., опуская или поднимая вручную стержень на верху колонки. При этомъ центръ стрѣлокъ будетъ на линіи, соединяющей центры магнитовъ.

Приборъ внизу имѣетъ цилиндрическую подставку съ круговымъ основаніемъ; эта подставка прорѣзана снизу на ширину линеекъ, которыя такимъ образомъ проходятъ черезъ подставку прямо подъ стрѣлками.

Круговое основаніе устанавливается на выемку въ крышкѣ *P* и крѣпится двойной задвижкой.

Для оріентированія прибора на крышкѣ *P* въ выемкѣ имѣется два шпенька, а въ основаніи соотвѣтствующія отверстія. Колонка наверху оканчивается подвижной головкой съ зажимомъ системы Фрейберга; уголъ поворота головки относительно прибора опредѣляется по дѣленіямъ, нанесеннымъ на головкѣ отъ 0° до 360° черезъ 5° противъ движенія стрѣлки часовъ, и по индексу на неподвижной части прибора. Головка крѣпится винтомъ *l*. На верхней ея

грани около двухъ вертикальныхъ осей вращается два рычага, которые зажимаютъ посредствомъ винтовъ *и*,*и* (см. фот. 4) стержень со шляпкой; на нижнемъ концѣ его устроено описанное выше приспособленіе для зажима верхняго конца нити. Шляпка на стержнѣ можетъ отвинчиваться. Вѣсъ стержня со шляпкой равняется вѣсу системы стрѣлокъ. Благодаря малому вѣсу стрѣлокъ и всей оправы для подвѣшиванія всей системы достаточна очень тонкая коконовая нить; крученіе на 360° всего 12′ при полѣ 0,164 *C.G.S.* Магнитный моментъ системы стрѣлокъ около 80 ед. *C.G.S.*

Въ срединѣ колонки (фот. 1) имѣется гнѣздо съ лагерами для вспомогательнаго магнитика *PQ* (о вывѣркѣ его см. § 17). Лагеры вывѣряются и закрѣпляются прочно винтиками; когда эти винты отданы, лагеры для вывѣрки могутъ вращаться около оси прибора микрометрически помощью винта; они пригоняются такъ, чтобы магнитная ось вспомогательнаго магнитика *PQ* была бы направлена параллельно меридіану, когда стрѣлки расположены въ меридіанѣ (магниты измѣрители должны быть убраны), а въ коллиматорѣ обѣ черты—прямовидимая и отраженная—совпадаютъ; магнитикъ на походѣ убирается.

Для раскручиванія нити стопорятъ стрѣлки шайбой *e*; тщательно крѣпятъ головку винтомъ *l*; затѣмъ приборъ переворачивается и помѣщается на особую вилку домикомъ вверхъ, колонкой внизъ. Отдавъ крѣпительные винты *и*, *и* (фот. 1) на головкѣ, раздвигаютъ въ сторону осторожно оба рычага и освобождаютъ стержень съ нитью. Помощью винтовъ на вилкѣ приводятъ колонку точно въ отвѣсное положеніе для того, чтобы стержень могъ свободно вращаться; по чертѣ на шляпкѣ слѣдятъ за раскручиваніемъ нити и когда оно прекратится, схватываютъ стержень рычагами и зажимаютъ крѣпительные винты *ии*.

§ 11. *Инклинаторъ* или *приборъ вертикальной силы*, представленный на фот. 2 и 3, состоитъ изъ домика на подставкѣ, основаніе которой вставляется въ круговую выемку на крышкѣ *P*. По бокамъ домика ввинчиваются наглухо двѣ горизонтальныя трубки съ зажимами Фрейберга на концахъ; въ центрѣ домика подвѣшивается горизонтально точно такая же система шести стрѣлокъ, какъ и у прибора горизонтальной силы. Для этого на каждый конецъ оправы, черезъ которую пропущены стрѣлки, навинчивается маленькій конусъ съ прикрѣпленной къ нему прочно коконовой нитью; другой конецъ нити зажимается къ стержню въ головкѣ боковой трубки. Чтобы крѣпить систему стрѣлокъ для перемагни-

чиванія, для похода и т. д. въ инклинаторѣ устроено приспособленіе слѣдующаго рода. Въ подставкѣ прибора помощью муфты θ, имѣющей винтовой пазъ на внутренней поверхности, двигается вверхъ и внизъ безъ вращенія цилиндрическій стержень, который оканчивается рамкой изъ кости, подхватывающей всѣ стрѣлки около ихъ середины; при выдвинутомъ до отказа кверху стержнѣ середина стрѣлокъ а, слѣдовательно, и вершины конусовъ съ нитями придутся на одномъ уровнѣ со стержнями, зажатыми въ головкѣ боковыхъ трубокъ. На верхней крышкѣ инклинатора имѣется цилиндрическій приливъ; въ центрѣ его при помощи такой же муфты θ', какъ внизу у подставки, можетъ подниматься и опускаться стержень съ рамкой изъ кости и прижимать стрѣлки къ нижнему подхвату. Оба подхвата: и верхній и нижній имѣютъ въ серединѣ вырѣзъ, благодаря чему доступъ къ центральной части системы стрѣлокъ, а именно, къ его зеркалу, вполнѣ свободенъ.

Зеркало у системы стрѣлокъ крѣпится въ оправѣ лакомъ разъ навсегда; оно устанавливается такъ, чтобы нормаль къ зеркалу съ магнитной осью составляла уголъ, не превышающій нѣсколькихъ минутъ дуги. Оправа зеркала имѣетъ два винта; одинъ изъ нихъ малаго хода служитъ для перемѣщенія центра тяжести системы въ направленіи длины стрѣлокъ; другой представляетъ неподвижную стойку съ гайкой; перемѣщая гайку, поднимаютъ и опускаютъ центръ тяжести системы стрѣлокъ относительно оси вращенія. Чтобы легко было видѣть положеніе стрѣлокъ, передняя и задняя крышка домика инклинатора сдѣланы стеклянными; крышка, обращенная къ коллиматору, имѣетъ отверстіе, оправленное деревомъ; на оправу надѣвается мѣхъ, который другимъ концомъ надѣвается на объективъ коллиматора.

Для раскручиванія нитей и для натяженія ихъ система стрѣлокъ прочно зажимается и приборъ кладется бокомъ на вилку также, какъ приборъ горизонтальной силы, одной изъ трубокъ внизъ; отдаютъ винты $u'u'$ (фот. 3) и освобождаютъ стержень; раскрутивъ и закрѣпивъ стержень, поворачиваютъ инклинаторъ внизъ другимъ концомъ и продѣлываютъ тоже самое съ другой нитью. Это раскручиваніе, какъ показываетъ практика, нѣтъ надобности дѣлать часто. Натяженіе нитей необходимо регулировать чаще, чтобы стрѣлки въ приборѣ сохраняли всегда опредѣленное положеніе по высотѣ — до $\pm{}^1/_2$ м.м., а, главное, чтобы прямая соединяющая точки привѣса, была бы горизонтальна. Нити должны быть одинаковой длины.

Для перемагничиванія стрѣлки прочно зажимаютъ, и, поднявъ обѣ крышки, крѣпятъ ихъ винтами; на фот. 2 и 3 этотъ винтъ видѣнъ въ правомъ верхнемъ углу, на краю.

Снявъ приборъ съ крышки *P*, ставятъ его, напр., на ящикъ изъ подъ приборовъ и спеціальными магнитами проводятъ нѣсколько разъ по стрѣлкамъ отъ середины къ концамъ. Эти магниты надлежитъ хранить отдѣльно отъ магнитовъ прибора, сложенными разноименными полюсами вмѣстѣ, и отнюдь не приближать къ измѣрительнымъ магнитамъ. *N*-ый конецъ у нихъ отмѣченъ чертою.

Система стрѣлокъ, подвѣшенная на нитяхъ, представляетъ самую деликатную часть прибора; необходимо помнить, что малѣйшее измѣненіе въ одной изъ точекъ привѣса нитей въ оправѣ стрѣлокъ измѣняетъ положеніе центра тяжести системы стрѣлокъ относительно оси вращенія, а это вводитъ добавочный вращательный моментъ, относительная величина котораго можетъ быть велика въ сравненіи съ слабыми вращательными моментами, развиваемыми магнитными силами; поэтому при измѣреніи вертикальныхъ силъ главной заботой наблюдателя должно быть предохраненіе нитей отъ всякихъ натяженій, рѣзкихъ перебрасываній изъ одного наклоннаго положенія въ другое, чрезмѣрныхъ толчковъ и проч. въ теченіе всего пріема наблюденій, т. е. при двухъ перекладкахъ линейки концами (§ 3) и при перемагниченіи стрѣлокъ. При измѣреніи лучше магниты *A* и *B* устанавливать впередъ на приблизительно извѣстный отсчетъ. Открѣплять стрѣлки надо сначала сверху, а затѣмъ осторожно приспускать нижнюю рамку. Если стрѣлка не держится около горизонтальнаго положенія, то слѣдуетъ передвинуть на глазъ магниты *A* и *B*, и только когда стрѣлка будетъ держаться приблизительно горизонтально, то опустить совсѣмъ нижній подхватъ.

Для перемѣны положенія линейки, прежде чѣмъ перевертывать магниты, обязательно стрѣлки застопорить, начиная съ нижняго подъемника и подымая его вверхъ до отказа. Но особенно прочно надо крѣпить стрѣлки при ихъ перемагничиваніи; сильные магниты могутъ вытянуть стрѣлки изъ зажимовъ и тѣмъ дать иное натяженіе нитямъ и, кромѣ того, измѣнить положеніе оси вращенія въ системѣ.

Съ соблюденіемъ указанныхъ предосторожностей можно, какъ показываетъ опытъ, пользоваться одной и той же парой нитей нѣсколько мѣсяцевъ.

Къ каждому прибору отпускается, во первыхъ, запасная система стрѣлокъ съ нитями и стержнями (для новой системы надо знать

коэффиціентъ ω), и, кромѣ того, отпускается нѣсколько запасныхъ нитей съ конусами на концѣ.

Для замѣны нитей у системы стрѣлокъ въ инклинаторѣ поступаютъ такъ: отвинчиваютъ шляпки у стержней, зажатыхъ въ концахъ горизонтальныхъ трубокъ, отжимаютъ винты u', u' и, поднявъ верхній стопоръ, вынимаютъ стрѣлки и стержни. Навинтивъ на концы оправы стрѣлокъ конусы съ нитями, пропускаютъ свободные концы нитей въ концы стержней и зажимаютъ крѣпительную гайку настолько, чтобы можно было все таки свободно перетягивать нить; устанавливаютъ опредѣленную длину нити между концами оправы стрѣлокъ и стержня (приблизительно около $8^1/_2$ см.) и крѣпятъ окончательно гайку у стержня. Далѣе, осторожно накладываютъ систему стрѣлокъ на нижній подъемникъ, поднятый до нельзя кверху, вкладываютъ въ одну изъ трубокъ стержень отъ одной изъ нитей, зажимаютъ верхнимъ стопоромъ стрѣлки; затѣмъ придерживая другой стержень, оставшійся свободнымъ, осторожно наклоняютъ трубку, пока стержень не выйдетъ изъ нея; зажимаютъ его рычагами и крѣпятъ винтами u', u' на головкѣ. Точно также вкладываютъ другой стержень и пропускаютъ его въ другую трубку такимъ же путемъ. Наконецъ навинчиваютъ на стержни шляпки и затѣмъ раскручиваютъ и натягиваютъ нить, какъ было указано выше.

§ 12. Приборъ для наблюденія качаній магнитовъ и для опредѣленія склоненія (фот. 4, 5) состоитъ изъ мѣднаго кольца на подставкѣ съ двумя цилиндрическими деревянными крышками къ нему, изъ колонки для нити и стопора системы Тэпфера между колонкой и мѣднымъ кольцомъ.

Колонка на верху имѣетъ головку съ такими же зажимами Фрейберга, какъ у прибора горизонтальной силы; отъ конца стержня на головкѣ спускается нить къ стержню подвѣса. Подвѣсъ представляетъ собою (фиг. 6) легкій кружокъ съ выступающимъ близь окружности пояскомъ, слегка коническимъ, для помѣщенія и центрированія кольца инерціи. Въ срединѣ кружка укрѣплена коническая втулка съ выточеннымъ внутри конусомъ; книзу конусъ открытъ; къ верхней части втулки прикрѣплена вертикальная рамка; наверху въ рамку ввинчивается на продолженіи оси конуса стержень квадратнаго сѣченія, за который берется нить; въ центрѣ втулки по ея оси пропущенъ штифтикъ, оканчивающійся шляпкой, которая помѣщается въ рамкѣ; часть рамки и шляпки видна на фот. 4; нижній конецъ штифтика имѣетъ нарѣзку. Въ подставкѣ

мѣднаго основного кольца при вращеніи муфты Θ'' поднимается и опускается цилиндрическій стержень со скамейкой изъ слоновой кости, несущей на концахъ лагеры для магнита; въ центрѣ скамейки имѣется маленькій мѣдный выступъ.

Въ верхней части мѣднаго кольца придѣланы двѣ подушки ξ (фот. 4) изъ слоновой кости, у которыхъ выточена выемка, концентричная съ осью прибора для кольца инерціи i; это послѣднее всегда хранится въ приборѣ качаній, вложеннымъ въ выемку; отъ паденія внизъ кольцо удерживается до половины своей толщины двумя упорками γ, γ (фот. 4 и 5); освобождая небольшія пружины, можно одновременно упорки γ γ вытянуть, и тогда кольцо сядетъ на подвѣсъ прямо на выступъ, если подвѣсъ сцентрованъ съ кольцомъ. Эта центровка достигается зажимомъ e; при поворачиваніи шайбы стержень поршнями подается въ центръ прибора и его ось

ПРИБОРЪ НАЧАНІЙ

Фиг. 6.

совпадаетъ съ осью прибора и кольца; концы зажимающихъ поршней не плоски, какъ въ приборѣ горизонтальной силы, а имѣютъ форму, указанную на фиг. 5.

Раскручиваніе нити прибора приближенно можетъ быть сдѣлано, зажимая стержень шайбой e и затѣмъ устанавливая приборъ на подставку головкой внизъ и освобождая верхній стержень, какъ у прибора горизонтальной силы. Для болѣе точнаго и болѣе удобнаго раскручиванія при опредѣленіи склоненія къ подвѣсу вмѣсто магнита присоединяется особый грузъ (фот. 4); онъ состоитъ изъ

*

цилиндра со стержнемъ, который оканчивается на верху конусомъ; въ конусѣ сверху имѣется нарѣзанное винтомъ отверстіе; на грузѣ укрѣплено легкое мѣдное кольцо съ дѣленіями на окружности (противъ движенія стрѣлки часовъ) отъ 0° до 360° черезъ 5°; установивъ грузъ выемкой въ его днѣ на соотвѣтствующее возвышеніе въ серединѣ скамейки, движеніемъ шайбы θ'' поднимаютъ скамейку, пока конусъ груза не войдетъ въ коническую втулку подвѣса и конецъ винта въ подвѣсѣ не войдетъ въ отверстіе въ конусѣ груза; вращая головку винта, втягиваютъ конусъ груза въ коническое отверстіе подвѣса. Остается надѣть деревянную крышку, отжать стопоръ *e* и осторожно опустить скамейку, отдавая шайбу θ''. Въ зависимости отъ длины нити подвѣсъ съ грузомъ отойдетъ отъ кольца инерціи и опустится кольцомъ съ дѣленіями противъ отверстія въ деревянной крышкѣ, закрываемаго откиднымъ щитикомъ; черезъ него легко наблюдать амплитуды качанія кольца по дѣленіямъ круга и опредѣлить по нимъ, какое дѣленіе кольца придется противъ середины скамейки, когда нить будетъ раскручена и грузъ придетъ въ состояніе покоя; на это обыкновенно требуется 10—15 минутъ. Положимъ, этотъ отсчетъ былъ 350°. Замѣтивъ его, зажимаемъ подвѣсъ шайбой *e*, тщательно наблюдая, въ какую сторону повернется кольцо при зажимѣ; пусть при зажатіи стопора *e* противъ середины скамейки остановилось дѣленіе 36°, слѣдовательно, стопоря, мы дали крученіе нити по движенію стрѣлки часовъ въ 46°. Такъ какъ для опредѣленія склоненія магнитъ накладывается на лагеры скамейки и укрѣпляется къ подвѣсу въ томъ же положеніи, въ которомъ подвѣсъ сейчасъ зажатъ, и при опредѣленіи склоненія будетъ въ этомъ же положеніи расположенъ по меридіану, то крученіе нити будетъ тоже самое, а именно 46°; чтобы его уничтожить, достаточно верхнюю головку на колонкѣ повернуть также по движенію стрѣлки часовъ на 46°, что можно сдѣлать съ точностью до 1° по имѣемымъ на ней дѣленіямъ. Этимъ способомъ крученіе надежно устраняется въ теченіе 10—15 минутъ съ точностью до 2°—3°. Все крученіе нити прибора при закручиваніи верхней головки на 360° составляетъ около Павловска 22′—28′.

Указаннымъ выше способомъ присоединяются къ подвѣсу и магниты; они укладываются на скамейку ребромъ на вырѣзъ и конусомъ ихъ оправы вверхъ; край магнита долженъ лежать вровень съ кромкой лагера скамейки. Подвѣсъ при этомъ долженъ быть на своемъ мѣстѣ, т. е. поднятъ доверху подъ кольцо инерціи, и стопоръ *e* прочно зажатъ.

Чтобы освободить изъ подвѣса грузъ раскручиванія или магнитъ, надлежитъ поднять ихъ наверхъ въ кольцо подъемникомъ, прочно зажать шайбу *e*, опустить стопоръ *f'* и, поддерживая подъемникъ, отдать шляпку въ рамкѣ подвѣса; это дѣлается легко, проводя палецъ съ небольшимъ нажимомъ по накаткѣ шляпки винта и опуская немного подъемникъ по мѣрѣ надобности. Точно также для поворота магнита въ своей оправѣ на 180° при опредѣленіи склоненія нажимаютъ крѣпко шайбу *e* одной рукой (чтобы магнитъ съ подвѣсомъ не соскользнулъ внизъ и не оборвалъ бы нити), а другой рукой, опустивъ немного скамейку и тѣмъ освободивъ концы магнита изъ лагеровъ, поворачиваютъ магнитъ вручную въ оправѣ на 180° до упора, затѣмъ поднимаютъ скамейку и отдаютъ зажимъ *e*.

Для наблюденій надѣваютъ деревянную крышку и, смотря въ коллиматоръ, осторожно опускаютъ *до конца* подъемникъ, вращая муфту θ'' и слѣдя за тѣмъ, чтобы не сообщить магниту колебаній. Муфта θ'' служитъ и для успокоенія колебаній магнита. Она должна вращаться вполнѣ плавно отъ легкаго проведенія пальца по накаткѣ, въ противномъ случаѣ необходимо муфту снять, (она свинчена изъ двухъ половинокъ)—вычистить и смазать.

Въ крышкѣ прибора, обращенной къ коллиматору, имѣется отверстіе какъ разъ противъ объектива коллиматора, прикрытое плоскимъ стекломъ съ параллельными поверхностями. Для наблюденія склоненія при наведеніи на миру нѣтъ надобности снимать приборъ, достаточно снять заднюю крышку и убрать изъ подвѣса магнитъ; какъ наведеніе на миру, такъ и наведеніе на магнитъ дѣлается черезъ ту же самую часть стекла, а потому еслибы и была небольшая призматичность стекла, то она исключается. Въ передней крышкѣ пропускается внутрь чувствительный термометръ, котораго шарикъ близко приходится къ концу магнита.

Въ походѣ подвѣсъ долженъ быть приподнятъ въ самый верхъ, шайба *e* плотно зажата и стопоръ *f'* опущенъ, чтобы подвѣсъ не могъ случайно опуститься и оборвать нить; грузъ для раскручиванія ставится на мѣсто и прижимается вверхъ подъемникомъ. Также должны быть зажаты и всѣ три винта наверху колонки.

Для успокоенія колебаній магнитовъ, кромѣ описаннаго выше масляннаго демфера въ приборѣ горизонтальной силы, у теодолита для всѣхъ трехъ приборовъ: прибора горизонтальной силы, инклинатора и прибора качаній, примѣненъ электрическій успокоитель. Для этой цѣли на треножникѣ придѣланъ въ верхней части небольшой ящичекъ съ коммутаторомъ, катушками сопротивленій и

двумя клавишами (фот. 2 и 5). На приборы качаній и горизонтальной силы сбоку, а у инклинатора сверху (см. фот. 5, 2, 3) надѣвается небольшая катушка съ двумя обмотками, идущими въ различныя стороны и соединенными каждая съ особой клавишей. У основанія одной изъ ногъ треножника привинченъ ящичекъ съ весьма малымъ элементомъ. Касаясь клавишей на одинъ моментъ и пуская токъ то въ одну, то въ другую намотку катушки, легко въ одну—двѣ минуты успокоить колебанія стрѣлокъ; это особенно удобно при измѣреніи горизонтальныхъ силъ и опредѣленіи склоненія. На походѣ катушка и проводникъ убираются въ ящикъ (фот. 6).

§ 13. Астрономическая часть составляется, во-первыхъ, изъ основного горизонтальнаго круга съ двумя микроскопами-лупами (фот. 6) и, во-вторыхъ, изъ вилкообразной подставки *CC*, которая вдвигается въ рельсы *rr*, оріентируется упоркой *f* и скрѣпляется съ крышкой *P* горизонтальнаго круга нажимнымъ винтомъ q'. На подпорки накладывается горизонтальная ось, на одномъ концѣ которой снаружи укрѣплена прямая астрономическая труба, а на другой вертикальный кругъ, закрытый чехломъ; на эту же ось концентрично съ вертикальнымъ кругомъ насаженъ алидадный кругъ съ верньерами и скрѣпленнымъ съ нимъ уровнемъ.

Труба по высотѣ крѣпится стопорнымъ винтомъ β (фот. 6); микрометрическое движеніе ей дается винтомъ α; съ противоположной стороны у другой подпорки имѣется винтъ для микрометрическаго движенія алидаднаго круга съ верньерами и уровнемъ.

Верхняя часть правой (фот. 6) подпорки сдѣлана подъемной помощью винтовъ; этимъ дается возможность достичь перпендикулярности горизонтальной оси къ вертикальной оси инструмента. Для опредѣленія наклонности горизонтальной оси при наблюденіяхъ азимутовъ свѣтилъ служитъ накладной уровень *a*. Для опредѣленія времени по соотвѣтствующимъ высотамъ звѣздъ алидадный кругъ съ уровнемъ соединяется прочно съ трубой нажимомъ шайбы β.

Окуляръ трубы имѣетъ діаметръ 27 м.м.; фокусное разстояніе его около 185 м.м.; увеличеніе съ двумя окулярами получается около 15 и 22. При увеличеніи 22 можно видѣть полярную звѣзду лѣтомъ за $1^1/_2$ ч. до захода солнца. Наводка предметовъ на фокусъ дѣлается винтомъ съ кремальерой η; для удобства наблюденій на окуляръ навинчивается призма; у ней на шарнирѣ можетъ накидываться цвѣтное стекло для наблюденія солнца. Сѣтка нитей у астрономической трубы можетъ передвигаться для исправленія

коллимаціонной ошибки парой упорныхъ винтовъ, головки которыхъ можно видѣть на фот. 6.

Вертикальный кругъ діаметромъ 115 м.м. раздѣленъ черезъ 10′ верньеры даютъ отсчеты до 20″ но таксировать можно легко до 10″. Горизонтальный кругъ, какъ уже было выше сказано, діаметромъ въ 130 мм., раздѣленъ тоже черезъ 10′ верньеры даютъ отсчеты до 20″ но таксировать можно до 10″ свободно.

Сѣтка нитей состоитъ изъ пары вертикальныхъ нитей ($d = 1'$) и пары горизонтальныхъ ($d = 1'$); затѣмъ съ каждой стороны горизонтальной нити имѣются по 2 параллельныхъ нити для опредѣленія времени по звѣздамъ; разстоянія ближайшихъ боковыхъ нитей 2′,8 и 4′,3, дальнѣйшихъ 7′,1 и 8′,6; наконецъ, въ разстояніи около 17′ отъ центра во всѣ стороны натянутъ квадратъ нитей для вмѣщенія солнца.

Нити могутъ освѣщаться черезъ иллюминаторъ x.

Для отсчетовъ по кругамъ и на уровнѣ отпускается маленькая ручная электрическая лампочка, питаемая или карманнымъ акумуляторомъ, или элементами, имѣющимися повсемѣстно въ продажѣ.

Инструментъ снабженъ особой оправой съ электрической лампочкой для освѣщенія нитей, насаживающейся на иллюминаторъ x.

Цѣна дѣленія уровня у вертикальнаго круга 11″,4. накладного у горизонтальной оси 8″,6.

Треножникъ солидной конструкціи изъ краснаго дерева съ сдвижными ножками. Для предохраненія инструмента отъ паденія треножникъ имѣетъ въ верхней части центральный стержень съ крючкомъ, которымъ онъ закладывается въ обухъ на подставкѣ инструмента (фот. 2 и 6); снизу на стержень надѣта пружина, верхній конецъ которой упирается въ площадку треножника, а нижній въ барашекъ на концѣ стержня; завинчивая барашекъ, сжимаютъ пружину и оттягиваютъ стержень съ крючкомъ внизъ.

Какъ было выше описано въ § 12 на треножникѣ у верхней части его прикрѣпленъ ящикъ съ клавишей и реостатомъ для электрическаго успокоителя; это послѣднее приспособленіе упрощаетъ работу у прибора и много удобнѣе обыкновеннаго магнитнаго успокоителя. Для измѣренія вертикальной силы на двухъ направленіяхъ, отличающихся на 180°, а также для того, чтобы различныя части прибора были всегда въ одномъ и томъ же положеніи относительно стрѣлки и магнитовъ, тренога устанавливается всегда въ направленіи магнитнаго меридіана по особой бусоли съ точностью до 1°—2° такъ, чтобы линія, соединяющая двѣ ножки,

была расположена по меридіану, а третья къ нему перпендикулярна (у нашего прибора всегда по направленію къ *Ost*'у); кромѣ того, самый теодолитъ всегда ставится опредѣленной ножкой въ извѣстное гнѣздо на треногѣ; черезъ это отсчетъ меридіана, т. е. когда коллиматоръ наведенъ на *S*-ый конецъ магнита, будетъ съ точностью до 2° — 3° всегда одинъ и тотъ же.

III.

Выводъ основныхъ формулъ.

§ 14. Въ главѣ 1-ой основныя формулы для нахожденія количествъ $\frac{H}{2M_{15}}$ и $\frac{Z}{2M_{15}}$ были даны нами въ окончательномъ видѣ. Приведемъ теперь соображенія, послужившія для ихъ вывода.

Представимъ себѣ (фиг. 7) систему двухъ параллельныхъ горизонтальныхъ стрѣлокъ, вращающихся свободно на нити около вер-

Фиг. 7.

тикальной оси OZ; пусть подъ вліяніемъ горизонтальной составляющей поля и магнита NS стрѣлки заняли нѣкоторое опредѣленное положеніе, при чемъ магнитная ось магнита NS перпендикулярна къ стрѣлкамъ. Черезъ центръ системы стрѣлокъ проведемъ три взаимно перпендикулярныя оси: OZ — вертикальную, OY — параллельную стрѣлкамъ и OX — перпендикулярную къ ихъ

плоскости. Пусть вдоль оси OX расположена ось магнита NS и пусть разстояніе его центра O_1 отъ центра O системы стрѣлокъ равно R. Предположимъ, что магнитизмъ въ магнитѣ расположенъ симметрично какъ по отношенію поперечной плоскости, проходящей черезъ центръ O_1, такъ и относительно діагональныхъ плоскостей, проходящихъ черезъ ось магнита; тоже мы примемъ и по отношенію стрѣлокъ, которыя мы будемъ считать линейными, совершенно тожественными въ магнитномъ смыслѣ. Удаленіе каждой стрѣлки отъ середины пусть будетъ d.

Предложимъ себѣ найти выраженіе вращательнаго момента отъ магнита NS на пару стрѣлокъ $n_1 s_1$ и $n_1' s_1'$.

Возьмемъ на каждой стрѣлкѣ точку K съ магнитной массой $d\nu$ и симметричную точку K' съ массой $-d\nu$; точно также на магнитѣ разсмотримъ четыре точки въ одномъ поперечномъ сѣченіи P_1, P_3, P_1', P_3', симметрично расположенныхъ, съ массой $d\mu$ каждая, и соотвѣтственныя имъ точки въ другой половинѣ магнита P_2, P_4, P_2' и P_4' съ магнитной массой $-d\mu$. Обозначивъ черезъ l разстояніе точки K на стрѣлкѣ отъ оси OZ и положивъ разстояніе точки на магнитѣ P_1 отъ поперечнаго сѣченія черезъ O_1 равнымъ L, не трудно видѣть изъ чертежа, что координаты точекъ будутъ слѣдующія:

точки	ось XX	ось YY	ось ZZ
K	0	l	d
K'	0	$-l$	d
P_1	$R-L$	v	h
P_2	$R+L$	v	h
P_3	$R-L$	$-v$	h
P_4	$R+L$	$-v$	h

Для точекъ P_1', P_2', P_3' и P_4' надо только измѣнить h на $-h$ и для точекъ K и K' на нижней стрѣлкѣ d на $-d$.

Вращательный моментъ отъ массы $d\mu$ въ точкѣ P_1 на массу $d\nu$ въ точкѣ K будетъ равенъ:

$$l\,\frac{d\nu\,.\,d\mu}{\overline{KP_1}^2}\cdot\frac{\overline{FS_1}}{\overline{KP_1}}\cdot\frac{OD}{FS_1} \quad \text{или} \quad \frac{l\,.\,d\nu\,.\,d\mu}{\overline{KP_1}^3}\,(R-L),$$

гдѣ
$$\overline{KP_1}^3=\left[(R-L)^2+(l-v)^2+(d-h)^2\right]^{-3/2}\;.\;.\;.\;.\;(15)$$

Развернемъ это выраженіе въ рядъ, положивъ: $l-v=p$; $d-h=q$ и $L^2+p^2+q^2=P$. Имѣя въ виду ограничиться въ окончательномъ выраженіи членами, содержащими $\frac{1}{R^7}$, мы получимъ слѣдующее выраженіе для вращательнаго момента $d\mu$ на $d\nu$

$$\frac{l\,.\,d\nu\,.\,d\mu}{R^3}\left\{R-L\right\}\left[1+3\,\frac{L}{R}-\frac{3}{2}\,\frac{P}{R^2}+\frac{3.5}{2.4}\left\{\frac{4L^2}{R^2}-\frac{4LP}{R^3}+\frac{P^2}{R^4}\right\}+\right.$$

$$+\frac{3.5.7}{2.4.6}\left\{\frac{8L^3}{R^3}-\frac{12L^2P}{R^4}+\frac{6LP^2}{R^5}\cdots\right\}+\frac{3.5.7.9}{2.4.6.8}\left\{\frac{16L^4}{R^4}-\frac{32L^3P}{R^5}\cdots\right\}+$$

$$\left.+\frac{3.5.7.9.11}{2.4.6.8.10}\;\frac{32L^5}{R^5}\cdots\right]\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\quad(16)$$

изъ него найдемъ вращательные моменты отъ всѣхъ 8 разсматриваемыхъ точекъ на магнитѣ на двѣ точки стрѣлки K и K', вставивъ вмѣсто P, p и q ихъ значенія и замѣняя соотвѣтственнымъ образомъ координаты точекъ и массы частицъ: $d\mu$ и L на $-L$ и $-d\mu$, l и $d\nu$ на $-l$ и $-d\nu$, v на $-v$ и h на $-h$. Складывая послѣдовательно результаты, найдемъ совокупный вращательный моментъ отъ разсматриваемыхъ 8 точекъ магнита на двѣ точки K и K' стрѣлки ns:

$$\frac{2.2.2.2Ld\mu.2l\,d\nu}{R^3}\left[1+\frac{2L^2-3l^2}{R^2}-3\frac{S_2}{R^2}+\frac{1}{R^4}\cdot 3\left\{L^4-5L^2l^2+\right.\right.$$

$$\left.+\frac{15}{8}\,l^4+\frac{15}{8}S_4-5S_2L^2\right\}+\frac{1}{R^4}\cdot\frac{45}{4}\left\{3l^2v^2+d_1{}^2l^2+l^2h^2+\right.$$

$$\left.\left.+3d_1{}^2h^2+d_1{}^2v^2+h^2v^2\right\}+\;.\;.\;\right]\;.\;.\;.\;.\;.\quad(17)$$

гдѣ $\qquad S_2=v^2+d_1{}^2+h^2 \qquad$ и $\qquad S_4=v^4+d_1{}^4+h^4.$

Для соотвѣтственныхъ двухъ точекъ второй стрѣлки $n_1's_1'$ выраженіе (17) остается справедливымъ, такъ какъ въ немъ надо бы замѣнить d черезъ $-d$; это, впрочемъ, легко видѣть и изъ фиг. 7.

Умноживъ выраженіе (17) на 2, возьмемъ интегралъ отъ него для полудлины стрѣлки между предѣлами 0 и l_1 и для части магнита въ углѣ aDb отъ 0 до L_1, отъ 0 до v_1 и отъ 0 до h_1. Введемъ обозначенія:

$2\int_0^{l_1} 2ld\nu=m'=$ магнитному моменту пары стрѣлокъ

$2.2\int_0^{L_1}\int_0^{h}\int_0^{v_1} 2L d\mu = M =$ магнитному моменту магнита NS

также $2\int_0^{l_1} 2l^3 d\nu = m_3'$ $\qquad 2\int_0^{l_1} 2l^5 d\nu = m_5'$

$2.2\int_0^{L_1}\int_0^{v_1}\int_0^{h_1} 2L^3 d\mu = M_3;\quad 2.2\int_0^{L_1}\int_0^{v_1}\int_0^{h_1} 2L^5 d\mu = M_5$ *).

Въ такомъ случаѣ вращательный моментъ отъ магнита NS на пару стрѣлокъ $n_1 s_1$ и $n_1' s_1'$ представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$\frac{2M}{R^3}\Big[m' + \frac{1}{R^2}\Big\{ 2m'\frac{M_3}{M} - 3m_3' - 3m' d_1^2 \Big\} - 3\,\frac{m'}{R^2}\,\frac{2.2.\sum 2L(v^2+h^2)d\mu}{M} +$$

$$+\frac{1}{R^4}\,3\Big\{ \frac{M_5}{M}m' - 5\,\frac{M_3}{M}m_3' - 5d_1^2 m'\frac{M_3}{M} + \frac{15}{4}d_1^2 m_3 +$$

$$+\frac{15}{8}(m_5' + m' d_1^4)\Big\} + \frac{m'}{R^4}\,\frac{45}{8}\,\frac{2.2.\sum 2L(v^4 + h^4)d\mu}{M} -$$

$$-\frac{m'}{R^4}\,15\,\frac{2.2.\sum 2L^3(v^2+h^2)d\mu}{M} + \frac{1}{R^4}\,\frac{45}{4}m_3'\,\frac{2.2.\sum 2L(h^2+3v^2)d\mu}{M} +$$

$$+\frac{1}{R^4}\,\frac{45}{4}\,m' d_1^2\,\frac{2.2.\sum 2L(v^2+3h^2)d\mu}{M} + \frac{m'}{R^4}\,\frac{45}{4}\,\frac{2.2.\sum 2Lh^2v^2 d\mu}{M}\Big]. \quad .(18)$$

Здѣсь знакъ $\int_0^{L_1}\int_0^{v_1}\int_0^{h_1}$ замѣненъ просто черезъ Σ. Для другихъ паръ стрѣлокъ съ разстояніями отъ центра d_2, d_3 и т. д. и магнитными моментами m'', m''' и т. д. будемъ имѣть такія же выраженія (18). Взявъ сумму ихъ для всѣхъ паръ стрѣлокъ, найдемъ окончательный вращательный моментъ отъ магнита на всю систему стрѣлокъ. Въ теодолитѣ имѣется три пары стрѣлокъ ns; положивъ:

$m' + m'' + m''' = M' =$ магнитному моменту системы стрѣлокъ,

$m_3' + m_3'' + m_3''' = M_3';\qquad m_5' + m_5'' + m_5''' = M_5';$

а также

$$\frac{m' d_1^2 + m'' d_2^2 + m''' d_3^2}{M'} = D_0^2;\qquad \frac{m_3' d_1^2 + m_3'' d_2^2 + m_3''' d_3^2}{M'} = D_3^2;$$

и $$\frac{m' d_1^4 + m'' d_2^4 + m''' d_3^4}{M'} = \Delta^4,$$

*) Здѣсь $d\mu$ и $d\nu$ суть произведенія изъ объема $dxdydz$ на магнитную массу въ этомъ объемѣ.

воспользуемся этими равенствами для упрощенія выраженія вращательнаго момента отъ магнита NS на всю систему стрѣлокъ, но примѣнимъ найденное для него выраженіе къ случаю болѣе общему, чѣмъ тотъ, который былъ разсмотрѣнъ въ § 1-мъ.

Пусть (фиг. 8) на систему стрѣлокъ дѣйствуетъ въ сторону, обратную дѣйствію магнита NS *), горизонтальная составляющая поля H подъ угломъ α къ оси XX-овъ и пусть стрѣлки, отклони-

Фиг. 8.

вшись отъ меридіана на уголъ $90° - \alpha$, расположились перпендикулярно къ оси магнита NS по направленію составляющей поля $OR = H \sin \alpha$.

При отсутствіи другихъ вращательныхъ моментовъ условіе равновѣсія на основаніи выраженій (18) и (19) выразится слѣдующимъ образомъ:

$$M'H\cos\alpha = \frac{2MM'}{R^3}\left[1 + \frac{1}{R^2}\left\{2\frac{M_3}{M} - 3\frac{M_3'}{M'} - 3D_0^2 - 3\frac{\sum 8L(v^2+h^2)\,d\mu}{M}\right\} + \right.$$

$$+ \frac{1}{R^4}\left\{3\frac{M_5}{M} - 15\frac{M_3}{M}\frac{M_3'}{M'} - 15D_0^2 + \frac{45}{4}D_3^2 + \frac{45}{8}\frac{M_5'}{M'} + \frac{45}{4}\Delta^4\right\} +$$

*) На фиг. 8-ой вмѣсто одного магнита NS показано два; это сущности дѣла не мѣняетъ. На этой же фигурѣ вверху, взамѣнъ буквы B надо читать букву A.

$$+\frac{1}{R^4}\left\{\frac{45}{8}\frac{\sum 8L(v^4+h^4)\,d\mu}{M}-15\frac{\sum 8L^3(v^2+h^2)d\mu}{M}+\frac{45}{4}\frac{M_3'}{M'}\frac{\sum 8L(h^2+3v^2)d\mu}{M}+\right.$$

$$\left.+\frac{45}{4}D_0^2\frac{\sum 8L(v^2+3h^2)\,d\mu}{M}+\frac{45}{4}\frac{\sum 8Lv^2h^2d\mu}{M}\right\}+\ldots\Bigg]\ldots\quad(20)$$

Этой формулой предусматривается не только случай измѣренія горизонтальной составляющей H, когда $\alpha=0$, но и *случай измѣренія проекціи напряженія* H на направленіе, составляющее съ нимъ уголъ α.

§ 15. Перейдемъ къ случаю, имѣющему мѣсто въ нашемъ теодолитѣ. Положимъ, что по оси OX мы расположили не одинъ, а два магнита A и B (фиг. 8) по обѣ стороны системы стрѣлокъ, S концами къ N-ду; пусть меридіанъ составлялъ съ осью OX уголъ α; подъ вліяніемъ магнитовъ стрѣлки отклонились отъ меридіана на уголъ $90°-\alpha$ и расположились перпендикулярно оси OX. Найдемъ выраженіе для условія равновѣсія, пользуясь формулой (20).

Обозначимъ: черезъ R_A и R_B разстоянія отъ центра стрѣлокъ до осей вращенія магнитовъ A и B; разстояніе между этими послѣдними $2R_0$; пусть $R_A = R_0 \pm \Delta R_0$ и $R_B = R_0 \mp \Delta R_0$, гдѣ ΔR_0 величина малая въ сравненіи съ R_0; черезъ ν_A, ν_B, μ_A и μ_B — индукціонные и температурные коефиціенты; черезъ σ коефиціентъ линейнаго расширенія шкалъ; черезъ $\Delta\tau$ избытокъ температуры надъ той, при которой шкалы даютъ истинное разстояніе AB (у прибора она $=15°$ *Ц.*).

Прежде чѣмъ написать условія равновѣсія, необходимо замѣтить, что при данномъ расположеніи магнитовъ A и B (фиг. 8) ихъ магнитные моменты M_A и M_B будутъ, во-первыхъ, уменьшены на величину $\nu_A M_A H\cos\alpha$ и $\nu_B M_B H\cos\alpha$ отъ дѣйствія поля и, во-вторыхъ, увеличатся отъ взаимной индукціи магнитовъ; послѣднее вліяніе очень мало, такъ какъ въ приборѣ наиближайшее разстояніе между магнитами можетъ быть 18,5 с.м. $\times 2 = 37$ с.м.; при этомъ сила, развиваемая однимъ изъ магнитовъ въ центрѣ другого, приблизительно въ 16 разъ меньше, чѣмъ та, которую оба они вмѣстѣ развиваютъ въ центрѣ стрѣлокъ.

Поэтому, принявъ за среднее индуцирующее напряженіе величину поля въ центрахъ магнитовъ A и B, т. е.

$$\frac{2M_B}{(R_A+R_B)^3}\ \text{и}\ \frac{2M_A}{(R_A+R_B)^3}$$

(члены съ обратной пятою степенью разстоянія отброшены), величина взаимной индукціи съ достаточной точностью выразится:

для магнита $A - \nu_A M_A \frac{2M_B}{(R_A + R_B)^3}$ и для магнита $B -$ $\nu_B M_B \frac{2M_A}{(R_A + R_B)^3}$; при $2M_A = 2300$ *C.G.S.* величина индукціи составитъ maximum около 0,5 *C.G.S.* *), если $\nu_A = 0{,}0050$.

Далѣе, разсмотрѣніе результатовъ измѣренія полнаго напряженія H и его составляющихъ показываетъ, что въ разложеніи для вращательнаго момента можно ограничиться лишь членами, содержащими множитель $\frac{1}{R^5}$.

Первоначально, на основаніи извѣстныхъ заданій, размѣры магнитовъ и стрѣлокъ для теодолита были разсчитаны такъ, что множитель при $\frac{1}{R^4}$ равнялся 0; впослѣдствіи отъ этихъ размѣровъ пришлось нѣсколько отступить (для стрѣлокъ); но, какъ видно изъ § 19, вращательные моменты у теодолита достаточно точно могутъ быть представлены формулой, содержащей только члены съ $\frac{1}{R^3}$ и $\frac{1}{R^5}$; поэтому въ дальнѣйшемъ изложеніи мы члены съ $\frac{1}{R^7}$ и опустимъ.

Принявъ сказанное во вниманіе, условіе равновѣсія при отсутствіи другихъ вращающихъ силъ, напишемъ такъ:

$$M'H\cos\alpha = \frac{2M'M_A(1-\mu_A\Delta\tau_A)}{R_0^3\left(1\pm\frac{\Delta R}{R_0}\right)^3(1+3\sigma\Delta\tau)}\left\{1-\nu_A H\cos\alpha+\nu_A\frac{2M_B}{(2R_0)^3}\right\}\times$$

$$\times\left[1+\frac{1}{R^2_A}\left\{\frac{2M_{3A}}{M_A}-\frac{3M'_3}{M'}-3D_0^2-3\frac{\sum 8L(v^2+h^2)d\mu}{M_A}\right\}\frac{1}{1+2\sigma\Delta\tau}\right]+$$

---

*) Разность въ величинѣ дѣйствительной индукціи и принятой выше во всякомъ случаѣ будетъ значительно меньше, чѣмъ напримѣръ:

$$\nu_A M_A 2M_B\left\{\frac{1}{(2R_0-L)^3}-\frac{1}{2R_0^3}\right\}$$

гдѣ L полудлина стрѣлокъ; при $\nu = 0{,}005$ это составитъ, даже когда $2R_0 = 37$ см., менѣе, чѣмъ $\frac{1}{14000}$ всего вращательнаго момента.

$$+\frac{2M'M_{\text{в}}(1-\mu_{\text{в}}\Delta\tau_{\text{в}})}{R^3_0\left(1\mp\frac{\Delta R}{R_0}\right)^3(1+3\sigma\Delta\tau)}\left\{1-\nu_{\text{в}}H\cos\alpha+\nu_{\text{в}}\frac{2M_{\text{А}}}{(2R_0)^3}\right\}\times$$

$$\times\left[1+\frac{1}{R^2_{\text{в}}}\left\{\frac{2M_{3\text{в}}}{M_{\text{в}}}-\frac{3M'^3}{M'}-3D_0^2-3\frac{\sum 8L(v^2+h^2)d\mu}{M_{\text{в}}}\right\}\frac{1}{1+2\sigma\Delta\tau}\right]. \quad (21)$$

Положимъ, какъ и выше, $M_{15}=M_{\text{А}}+M_{\text{в}}$ = совокупному магнитному моменту при 15° *Ц.* и кромѣ того первые множители въ скобкахъ { } при $\frac{1}{R_{\text{А}}^2}$ и $\frac{1}{R_{\text{в}}^2}$ обозначимъ черезъ $\omega_{\text{А}}$ и $\omega_{\text{в}}$; множители же $(1+2\sigma\Delta\tau)^{-1}$ въ виду малости вообще всего члена $\frac{\omega_{\text{А}}}{R_{\text{А}}^2}$ или $\frac{\omega_{\text{в}}}{R_{\text{в}}^2}$ въ сравненіи съ 1 опустимъ. Раздѣлимъ обѣ части уравненія (21) на $2M_{15}M'$; изъ разложенія $\left(1\pm\frac{\Delta R}{R_0}\right)^3$ удержимъ при $\frac{1}{R^3_0}$ два первыхъ члена, а изъ $\left(1\pm\frac{\Delta R}{R_0}\right)^5$ при $\frac{1}{R^5_0}$ удержимъ первый членъ; сдѣлавъ перемноженія, найдемъ:

$$\frac{H\cos\alpha}{2M_{15}}=\frac{1}{R^3_0}\left[1-\frac{\nu_{\text{А}}M_{\text{А}}+\nu_{\text{в}}M_{\text{в}}}{M_{15}}H\cos\alpha+\frac{2}{(2R_0)^3}(\nu_{\text{А}}+\nu_{\text{в}})\frac{M_{\text{А}}M_{\text{в}}}{M_{15}}-\right.$$

$$\left.-\frac{\mu_{\text{А}}\Delta\tau_{\text{А}}M_{\text{А}}+\mu_{\text{в}}\Delta\tau_{\text{в}}M_{\text{в}}}{M_{15}}-3\sigma\Delta\tau\pm3\frac{\Delta R}{R_0}\cdot\frac{M_{\text{А}}-M_{\text{в}}}{M_{\text{А}}+M_{\text{в}}}+6\left(\frac{\Delta R}{R_0}\right)^2\right]+$$

$$+\frac{1}{R^5_0}\frac{M_{\text{А}}\omega_{\text{А}}}{M_{15}}\left\{1-\nu_{\text{А}}H\cos\alpha+\nu_{\text{А}}\frac{2M_{\text{в}}}{(2R_0)^3}-\mu_{\text{А}}\Delta\tau_{\text{А}}-3\sigma\Delta\tau-5\frac{\Delta R}{R_0}\right\}+$$

$$+\frac{1}{R^5_0}\frac{M_{\text{в}}\omega_{\text{в}}}{M_{15}}\left\{1-\nu_{\text{в}}H\cos\alpha+\nu_{\text{в}}\frac{2M_{\text{А}}}{2R_0^3}-\mu_{\text{в}}\Delta\tau_{\text{в}}-3\sigma\Delta\tau+5\frac{\Delta R}{R_0}\right\} \quad (22)$$

Если обратимъ вниманіе на множители при $\frac{1}{R^3_0}$ и $\frac{M\omega}{R^5_0}$, то увидимъ, что они представляютъ 1, сложенную съ группой малыхъ величинъ, которыя зависятъ главнымъ образомъ отъ магнитныхъ моментовъ, коефиціентовъ μ и ν, и ихъ разностей. Такъ какъ размѣры магнитовъ одинаковы и всегда возможно выбрать магниты изъ одной и той же партіи стали, одной и той же закалки, одной и той же напряженности намагниченія и т. д., то не трудно получить у обоихъ магнитовъ и индукціонные и температурные коефиціенты, мало между собою отличающіеся; разности не будутъ

превышать $20^0/_0$ ихъ величины. Наконецъ легко довести и магнитные моменты до одного и того же значенія и во всякомъ случаѣ разность $M_A - M_B$ до величины, меньшей $5^0/_0$ отъ M_A или M_B. Поэтому всегда можно принять, что

$$M_A - M_B = \frac{1}{20} \cdot \frac{1}{2} M_{15}, \text{ гдѣ } M_{15} = M_A + M_B, \text{ также}$$

$$M_A = \frac{1}{2} M_{15} \left(1 + \frac{1}{40}\right); \quad M_B = \frac{1}{2} M_{15} \left(1 - \frac{1}{40}\right);$$

$$\nu_A - \nu_B = \frac{1}{5} \nu, \text{ гдѣ } \nu = \frac{1}{2} (\nu_A + \nu_B) \text{ и, слѣдов.,}$$

$$\nu_A = \nu + \frac{1}{10} \nu; \quad \nu_B = \nu - \frac{1}{10} \nu$$

$$\mu_A - \mu_B = \frac{1}{5} \mu, \text{ гдѣ } \mu = \frac{1}{2} (\mu_A + \mu_B) \text{ и, слѣдов.,}$$

$$\mu_A = \mu + \frac{1}{10} \mu; \quad \mu_B = \mu - \frac{1}{10} \mu.$$

При такихъ условіяхъ члены въ скобкахъ при $\frac{1}{R_0^3}$ приведутся:

Первый (послѣ единицы) къ суммѣ;

$$\frac{\nu_A + \nu_B}{2} H \cos \alpha + \frac{\nu_A - \nu_B}{2.40} H \cos \alpha$$

Даже при $H = 0{,}70$ *G.C.S.* и при $\nu = 0{,}0050$ (у магнитовъ теодолита) вторая часть суммы составитъ maximum $\frac{1}{5} \times \frac{1}{80} \times 0{,}0050 \times 0{,}70$ или величину $< \frac{1}{100000}$, что въ сравненіи съ 1 можетъ быть отброшено.

Второй къ произведенію:

$$\frac{2M_{15}}{R_0^5} \frac{1}{8} (\nu_A + \nu_B) \frac{1}{2.2} \left(1 + \frac{1}{40}\right) \left(1 - \frac{1}{40}\right)$$

Весь этотъ членъ даже при $R_0 = 18{,}5$ с.м. не превышаетъ приблиз. 0,000025, а потому вмѣсто $\frac{2M_{15}}{R_0^3}$ позволительно вставить

$H \cos \alpha$, какъ приближенную величину изъ выраженія (22), величину же $\frac{1}{1600}$ откинуть въ сравненіи съ 1, и принять его равнымъ

$$\frac{1}{16} H \cos \alpha \cdot \frac{1}{2} (\nu_A + \nu_B) = \frac{1}{16} \nu H \cos\alpha.$$

Третій членъ представится такъ:

$$\frac{1}{2} (\mu_A \Delta\tau_A + \mu_B \Delta\tau_B) + \frac{1}{2} \frac{1}{40} (\mu_A \Delta\tau_A - \mu_B \Delta\tau_B)$$

въ силу устройства инструмента $\Delta\tau_A$ равно почти $\Delta\tau_B$, а среднее изъ нихъ есть не что иное, какъ $\Delta\tau$, поэтому третій членъ сведется къ $^1/_2(\mu_A + \mu_B)\Delta\tau$ и въ соединеніи съ *четвертымъ* членомъ дадутъ

$$-(\mu + 3\sigma)\Delta\tau, \qquad \text{гдѣ} \quad \mu = \frac{1}{2}(\mu_A + \mu_B).$$

Сумма *пятаго* и *шестого* члена при большихъ величинахъ измѣряемыхъ силъ, т. е. при малыхъ R, можетъ имѣть чувствительную величину. Она обусловливается количествомъ ΔR. Это послѣднее слагается изъ двухъ погрѣшностей: изъ нѣкоторой постоянной разности въ разстояніяхъ R_A и R_B инструментальнаго характера и изъ случайныхъ отклоненій нити, на которой подвѣшены стрѣлки, отъ опредѣленнаго положенія въ приборѣ; постоянная разность $R_A - R_B$ можетъ быть доведена до значенія, меньшаго, чѣмъ 0,2—0,4 м.м. и, слѣдов., въ ΔR войдетъ отъ нея 0,1—0,2 м.м.; случайныя же ошибки отъ перемѣщенія точки привѣса нити въ приборѣ, наклона инструмента и друг. причинъ не должны превышать 0,1—0,2 м.м.; поэтому можно полагать, что величина ΔR вообще не превыситъ $\pm^1/_2$ м.м.; при $R = 18{,}5$ с.м., или при измѣряемой силѣ около 0,70 *C.G.S.*, ошибка въ зависимости отъ знака разности $M_A - M_B$ составитъ:

$$\pm 3 \cdot \frac{1}{20} \cdot \frac{1}{185} \frac{1}{40} - 6 \left(\frac{1}{370}\right)^2$$

или maximum около $^1/_{5000}$ H.

Если бы ΔR достигло ± 1 м.м., что могло бы имѣть мѣсто въ исключительномъ случаѣ при измѣреніи вертикальныхъ силъ, то ошибка дошла бы до $\frac{1}{2400} + \frac{1}{6000}$ или приблизительно до $\frac{1}{1700} Z$; но обык-

новенно разность $M_A - M_B$ меньше, чѣмъ $\frac{1}{40}M$, а при соблюденіи предосторожностей, указанныхъ выше въ описаніи инклинатора, неравенство разстояній будетъ значительно менѣе 2 м.м, а слѣдовательно $\Delta R < 1$ м.м.

Замѣтимъ, что при нахожденіи H по измѣренію $\frac{H}{2M_{15}}$ и по качаніямъ вліяніе ошибки отъ ΔR на конечномъ результатѣ отразится только половиной ея величины, такъ какъ она входитъ въ $\sqrt{F}$. См. формулы (12) § 4.

Считая, что *обычныя колебанія центра стрѣлокъ въ приборѣ не превысятъ* $\pm$ *0,2 м.м.* *) *и что разность магнитныхъ моментовъ измѣрительныхъ магнитовъ не велика* (около $5^0/_0$ ихъ величины), причемъ ошибка въ $\frac{H}{2M_{15}}$ составитъ даже при $R = 18{,}5$ с.м. не болѣе $\frac{1}{12000}$ ея величины, мы опустимъ въ формулѣ (22) члены, зависящіе отъ ΔR, и тогда коефиціентъ при $\frac{1}{R_0^3}$ представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$\frac{1}{R_0^3}\left[1 - \nu H\cos\alpha + \frac{1}{16}\nu H\cos\alpha - (\mu + 3\sigma)\Delta\tau\right].$$

Перейдемъ къ множителю при $\frac{1}{R_0^5}$. Прежде всего замѣтимъ, что весь этотъ членъ малъ въ сравненіи съ 1; такъ какъ изъ опредѣленія ω найдено, что ω = прибл. 11, то maximum его при $R = 18{,}5$ с.м. достигаетъ $3^0/_0$ перваго члена. На этомъ основаніи непосредственно былъ опущенъ множитель $1 + 2\sigma\Delta\tau$, который даже при $\Delta\tau = 20°$ составляетъ прибавку не болѣе $\frac{1}{80000}$ всей величины вращательнаго магнита. Положимъ:

$$M_A\,\omega_A + M_B\,\omega_B = M_{15}\omega, \quad \text{гдѣ по формулѣ (20)}$$

$$\omega = \frac{2(M_{3A} + M_{3B})}{M_{15}} - 3\frac{M_3'}{M'} - 3D_0^2 - 3\frac{\sum_A 8L(v^2+h^2)d\mu + \sum_B 8L(v^2+h^2)d\mu}{M_{15}}$$

---

*) У современныхъ теодолитовъ такое отклоненіе даже при $R = 30$ с.м. привело бы къ ошибкѣ въ H равной $-\frac{1}{1000}H$, т. е. въ Павловскѣ около 16γ.

Обратившись къ формулѣ (22), мы видимъ, что коефиціентъ при $\frac{1}{R_0^5}$ состоитъ изъ слѣдующихъ членовъ:

$$(\omega_A M_A + \omega_B M_B)\frac{1}{M_{15}} = \omega,$$

$$-\left[\frac{\nu}{M_{15}}(\omega_A M_A + \omega_B M_B) H\cos\alpha + \frac{1}{10}\frac{\nu}{M_{15}}(M_A\omega_A - \right.$$

$$\left. - M_B\omega_B) H\cos\alpha\right],$$

$$+\left[\frac{1}{16}\frac{\nu}{M_{15}}(\omega_A M_A + \omega_B M_B) H\cos\alpha + \frac{\nu}{16}\frac{1}{10}\frac{1}{M_{15}}(\omega_A M_A - \right.$$

$$\left. - \omega_B M_B) H\cos\alpha\right],$$

$$-\left[\frac{\mu}{M_{15}}\Delta\tau(\omega_A M_A + \omega_B M_B) + \frac{1}{M_{15}}\frac{\mu}{10}\Delta\tau\frac{1}{M_{15}}(\omega_A M_A - \omega_B M_B)\right],$$

$$-3\sigma.\Delta\tau.\omega \quad \text{и} \quad -5\frac{\Delta R}{R_0}\frac{\omega_A M_A - \omega_B M_B}{M_{15}}.$$

Множители $\frac{M_A}{M_{15}}$ и $\frac{M_B}{M_{15}}$ приблизительно равны $^1/_2$; на основаніи высказанныхъ выше соображеній относительно M_A, M_B, ν_A, ν_B, μ_A и μ_B можно также предположить, что разность $\omega_A - \omega_B$ не велика, и т. к. ω_A приблизительно $= \omega_B = \omega$, а наблюденія даютъ $\omega = 11$ (приблизительно), то, допустивъ $\omega_A - \omega_B = 2$, мы не сдѣлаемъ большой погрѣшности; тогда множитель $\frac{1}{M_{15}}(\omega_A M_A - \omega_B M_B)$ будетъ заключаться въ предѣлахъ $1 - 2$, и величины $\frac{1}{10}\nu\frac{1}{M_{15}}(M_A\omega_A - M_B\omega_B)\frac{1}{R_0^5}H\cos\alpha$; $\frac{1}{16}\cdot\frac{1}{10}\frac{1}{M_{15}}(M_A\omega_A - M_B\omega_B)\frac{1}{R_0^5}H\cos\alpha$ и $5\frac{\Delta R}{R_0^6}\frac{\omega_A M_A - \omega_B M_B}{M_{15}}$ могутъ быть отброшены въ сравненіи съ $\frac{1}{R_0^3}$, какъ не превышающія 0,00001 его величины, (лишь послѣдній членъ можетъ достигнуть $\frac{1}{15000}$ при $R = 18{,}5$ с.м. и $\Delta R = \frac{1}{2}$ м.м.) и второй членъ съ $\frac{1}{R_0^5}$ представится въ такомъ видѣ:

$$\frac{\omega}{R_0^5}\left[1 - \nu H\cos\alpha + \frac{1}{16}\nu H\cos\alpha - (\mu + 3\sigma)\Delta\tau\right]$$

Окончательно, положивъ

$$\nu - \frac{1}{16}\nu = \nu_1 \quad \text{и} \quad \mu + 3\sigma = \mu_1$$

получимъ:

$$\frac{H}{2M_{15}} \cos\alpha = \frac{1}{R_0^3}\left[1 + \frac{\omega}{R_0^2}\right]\left\{1 - \nu_1 H \cos\alpha - \mu_1 \Delta\tau\right\} \quad . \; . \; . \; (23)$$

Если меридіанъ составлялъ съ осью OX очень малый уголъ, такой, что $\cos\alpha$ можно принять въ предѣлахъ точности наблюденій $= 1$ (уголъ α около $40' - 50'$), то получимъ первоначально данную нами въ § 1 формулу:

$$\frac{H}{2M_{15}} = \frac{1}{R_0^3}\left[1 + \frac{\omega}{R_0^2}\right]\left\{1 - \nu_1 H - \mu_1 \Delta\tau_{\text{н}}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; (24)$$

При измѣреніи *вертикальнаго напряженія* или, точнѣе, количества $\frac{Z}{2M_{15}}$ относительное положеніе измѣряемой силы, магнитовъ A и B и системы стрѣлокъ остается тѣмъ же, что и при измѣреніи $\frac{H}{2M_{15}}$ (нѣтъ лишь надобности въ перпендикулярномъ магнитикѣ PQ); все, что было сказано выше относительно величины членовъ, отбрасываемыхъ въ разложеніи вращательнаго момента, остается въ силѣ, а потому, полагая $\alpha = 0$ и замѣняя въ предыдущей формулѣ (24) H черезъ Z и ω черезъ ω_1, получимъ формулу (2) § 2-го:

$$\frac{Z}{2M_{15}} = \frac{1}{R_1^3}\left[1 + \frac{\omega_1}{R_1^2}\right]\left\{1 - \nu_1 Z - \mu_1 \Delta\tau_z\right\} \quad . \; . \; . \; . \; (25)$$

Разсмотримъ теперь вліяніе разнаго рода ошибокъ, которыя въ расчетъ не были приняты.

§ 16. Выше было указано, какъ надлежитъ производить измѣренія количествъ $\frac{H}{M}$ и $\frac{Z}{M}$ для исключенія инструментальныхъ и друг. ошибокъ; далѣе мы изложимъ основанія, въ силу которыхъ позволительно для вычисленія H и Z изъ такихъ наблюденій примѣнять формулы (1) и (2), а слѣдовательно и формулы (12).

При измѣреніи *горизонтальнаго напряженія* предполагалось: 1) что магнитная ось системы стрѣлокъ отклоняется на прямой уголъ; 2) что магнитная ось вспомогательнаго магнита PQ при этомъ перпендикулярна къ меридіану, и слѣдов., параллельна оси стрѣлокъ; 3) что уголъ между магнитною осью стрѣлокъ и прямой, на которой расположены оси магнитовъ, равенъ прямому. Всѣ эти условія въ точности не выполняются; кромѣ того въ основныхъ формулахъ (1), (12) не было принято во вниманіе крученіе нити.

Пусть въ промежуткѣ между наводкой коллиматора на стрѣлку для нахожденія меридіана (§ 3) и моментомъ измѣренія горизонтальнаго напряженія меридіанъ вслѣдствіе какихъ либо причинъ измѣнилъ свое положеніе *относительно прибора*; въ такомъ случаѣ въ моментъ измѣренія уголъ между меридіаномъ и магнитной осью стрѣлокъ будетъ вообще $90° \pm \varepsilon$, гдѣ ε малый уголъ, положимъ, $20' - 30'$. Далѣе, когда въ коллиматорѣ обѣ черты: постоянная и подвижная приведены въ совпаденіе, вертикальная плоскость, проходящая черезъ магнитную ось вспомогательнаго магнитика PQ, вообще составляетъ съ магнитною осью стрѣлокъ нѣкоторый весьма малый уголъ θ; въ такомъ случаѣ въ условіе равновѣсія стрѣлки долженъ войти вращательный моментъ отъ PQ на стрѣлки; обозначая магнитный моментъ PQ черезъ $\mathfrak{M}$, удаленіе его отъ центра стрѣлокъ по вертикали черезъ ρ, а черезъ $\mathfrak{M}_3$, M', M_3' тѣ же количества, что и въ § 14 на стр. 43, этотъ вращательный моментъ выразимъ такъ:

$$\frac{M'\mathfrak{M}}{\rho^3} \sin\theta \left[1 - \frac{3}{2}\frac{1}{\rho^2}\left\{\frac{\mathfrak{M}_3}{\mathfrak{M}} + \frac{M_3'}{M'} + D^2\right\} + \ldots\right] \cdot \ldots\ldots (26)$$

Здѣсь D^2 есть нѣкоторая функція разстоянія стрѣлокъ каждой пары отъ центра системы стрѣлокъ и удаленія оси магнита PQ отъ нити; отъ угла θ въ скобкахъ (и именно отъ $\sin^2\theta$), будетъ зависѣть лишь членъ при $\frac{1}{\rho^4}$. Предположимъ, наконецъ, что уголъ между осью стрѣлокъ и прямой, по которой расположены магниты A и B, равенъ $90° \pm i$, гдѣ i малый уголъ, не превышающій $15' - 20'$. Въ зависимости отъ этого, выраженіе для вращательнаго момента (20) § 14 должно измѣниться. Для оцѣнки величины этого измѣненія примемъ для простоты магниты A и B линейными.

Изъ разсмотрѣнія вращательнаго момента отъ двухъ какихъ-либо точекъ на магнитѣ съ массой $d\mu_1$ и $-d\mu_1$ на четыре сим-

метричныя точки на парѣ стрѣлокъ $d\nu'$ и $-d\nu'$ и $d\nu''$ и $-d\nu''$, подобно тому, какъ это было сдѣлано при выводѣ основной формулы (18) въ § 14, продѣлавъ разложеніе и суммированіе, мы нашли бы вмѣсто (18), сохраняя обозначенія, принятыя выше, слѣдующее выраженіе:

$$\frac{2MM'}{R^3}\cos i\left[1+\frac{1}{R^2}\,2\,\frac{M_3}{M}-\frac{1}{R^2}\,3\,\frac{M_3'}{M'}(1-5\sin^2 i)-3\frac{1}{R^2}D^2{}_0\right]\ldots\ (27)$$

откуда видно, что кромѣ множителя $\cos i$ въ скобкахъ къ 1 прибавится членъ

$$+15\sin^2 i\,\frac{M_3'}{M'}\,\frac{1}{R^2}$$

Полагая полудлину стрѣлокъ $L_1 = 1{,}8$ с.м. и замѣчая, что $\frac{M_3'}{M'} < L_1{}^2$, легко видѣть, что этотъ членъ составитъ въ теодолитѣ даже при $R = 18{,}5$ с.м. и $i = 20'$ maximum

$$15\left(\frac{1}{172}\right)^2\cdot(1{,}8)^2\,\frac{1}{(18{,}5)^2}\ \text{или приблизительно}\ \frac{1}{200000}.$$

Точно также $\cos i = \cos 20'$ отличается отъ единицы менѣе чѣмъ на $\frac{1}{50000}$, а потому при указанныхъ предѣлахъ i для вычисленія вращательнаго момента отъ магнитовъ на стрѣлку вполнѣ позволительно пользоваться выраженіемъ (20) § 14.

Крученіе нити въ приборѣ горизонтальнаго напряженія (§ 10) весьма незначительно; такъ какъ вѣсъ системы стрѣлокъ съ подвѣсомъ не превышаетъ нѣсколькихъ граммъ, то оказалось возможнымъ примѣнить весьма тонкую коконовую нить; передъ измѣреніемъ нить можетъ быть раскручена, но какъ показываетъ опытъ, достаточно это дѣлать лишь время отъ времени; закручиваніе на 360° имѣемой въ приборѣ нити выражается въ Павловскѣ угломъ отъ 11′ до 12′ и крученіе въ 10° отзовется въ H ошибкой въ $\frac{1}{11000}H$. Обозначимъ моментъ силы крученія черезъ T_r. Принимая во вниманіе все сказанное выше и называя черезъ $M = M_A + M_B$ сумму магнитныхъ моментовъ обоихъ магнитовъ, найдемъ, что

условіе равновѣсія стрѣлки при одномъ положеніи прибора выразится такъ:

$$M'H\cos\varepsilon \pm \frac{M'\mathfrak{M}}{\rho^3}\sin\theta\left[1-\frac{3}{2}\frac{1}{\rho^2}\left(\frac{\mathfrak{M}_3}{\mathfrak{M}}+\frac{M_3'}{M'}+D^2+\ldots\right)\right]\pm$$

$$\pm T_r-\frac{2MM'}{R_1^3}\left[1+\frac{1}{R_1^2}\left(2\frac{M_3}{M}-3\frac{M_3'}{M'}-3D_0^2+\ldots\right)+\ldots\right]=0. \quad (28)$$

Повернемъ на 180° всю верхнюю часть прибора около вертикальной оси и магниты A и B около осей rr, r_1r_1 (фиг. 1 и 9) и сдѣлаемъ измѣреніе въ новомъ положеніи прибора. Уголъ ε измѣ-

фиг. 9.

нится въ ε', но и ε' во всякомъ случаѣ не превыситъ $30' - 35'$ при обыкновенныхъ условіяхъ измѣренія. При совмѣщеніи въ коллиматорѣ обѣихъ чертъ положеніе оси магнитика PQ относительно магнитной оси стрѣлокъ останется тѣмъ же, какимъ оно было при первомъ измѣреніи, слѣдовательно, уголъ θ *не* перемѣнится; точно также не перемѣнится и взаимное положеніе стрѣлокъ и верхней части прибора, гдѣ укрѣплена нить, а слѣдовательно T_r останется тоже. Нетрудно видѣть изъ фиг. 9, что вращательные моменты отъ магнита PQ и отъ крученія перемѣнятъ свои знаки относительно моментовъ $M'H\cos\varepsilon'$ и $-\frac{2MM'}{R^3}[1+\ldots]$ и новое условіе равновѣсія напишется такъ:

$$M'H\cos\varepsilon' \mp \frac{M'\mathfrak{M}}{\rho^3}\sin\theta\,\{1-\ldots\}\mp T_r-$$

$$-2\frac{MM'}{R_2^2}\left[1+\frac{1}{R_2^2}\,2\frac{M_3}{M}-\ldots\right]=0 \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

Углы ε и ε' не превышаютъ $30' - 35'$, а потому съ точностью до $^1/_{20000}$ $\cos\varepsilon$ и $\cos\varepsilon'$ можно принять равными 1, и изъ двухъ условій равновѣсія (28) и (29) найдемъ:

$$\frac{H}{2M} = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{R_1^3}\left\{1 + \frac{\omega}{R_1^2}\ldots\right\} + \frac{1}{R_2^3}\left\{1 + \frac{\omega}{R_2^2}\ldots\right\}\right]\ldots (30)$$

т. е. для нахожденія количества $\frac{H}{2M}$ свободнаго отъ вліянія крученія и перечисленныхъ выше погрѣшностей, достаточно произвести измѣреніе его по обѣ стороны меридіана; затѣмъ, найдя для полученныхъ R_1 и R_2 по основной формулѣ F_1 и F_2, взять изъ нихъ среднее; но принявъ во вниманіе, что разность въ разстояніяхъ R_1 и R_2 обыкновенно мала—не болѣе одного миллиметра,—вполнѣ будетъ достаточно найти *просто* F_0 для *средняго разстоянія* $R_{ср} = \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$. Въ справедливости этого легко убѣдиться, разсматривая таблицу 1-ю.

Изъ измѣреній $\frac{H}{2M}$, сдѣланныхъ по обѣ стороны меридіана, исключается также вліяніе *несимметричнаго расположенія магнитизма* въ измѣрительныхъ магнитахъ A и B (фиг. 1) относительно поперечной плоскости, проходящей черезъ оси вращенія rr, r_1r_1; магниты A и B при этомъ *не перекладываются* съ одной стороны стрѣлокъ на другую, *а лишь переворачиваются на 180° около своихъ осей*, оставаясь каждый по одну и ту же сторону стрѣлокъ; эти же послѣднія, имѣя ничтожное поперечное сѣченіе, всѣ заключены въ одной вертикальной плоскости, перпендикулярной къ прямой, по которой расположены магниты. Не входя въ подробный математическій разборъ вліянія несимметричности магнитизма, замѣтимъ, что оно во всякомъ случаѣ можетъ быть напередъ уменьшено при соблюденіи извѣстныхъ предосторожностей во время изготовленія самихъ магнитовъ, ихъ закалки, намагниченія и, наконецъ, при укрѣпленіи магнитовъ въ гнѣздахъ оправы относительно осей.

Допустимъ, что послѣднее достигнуто и разность въ разстояніяхъ концовъ магнита отъ оси вращенія не превышаетъ $\pm$ 0,05 м.м. Представимъ себѣ теперь, что магнитъ разложенъ на элементарные магниты: одна часть изъ нихъ, и при томъ весьма значительная, имѣетъ магнитизмъ, расположенный симметрично относительно поперечнаго сѣченія магнита черезъ ось rr; другая, меньшая, часть состоитъ изъ элементарныхъ магнитовъ, у которыхъ массы $d\mu$ и

$-d\mu$, $d\mu'$ и $-d\mu'$ и т. д. находятся въ неравныхъ удаленіяхъ L и L_1, L' и L_1' и т. д. отъ того же поперечнаго сѣченія. Для простоты примемъ магнитъ линейнымъ; сохраняя принятыя выше обозначенія и ограничиваясь членами разложенія до $\frac{1}{R^5}$ включительно, напишемъ выраженіе для вращательнаго момента магнита на стрѣлку для случая измѣренія $\frac{H}{2M}$ по одну сторону меридіана; оно будетъ равно:

$$\frac{2MM'}{R_1^3}\left[1+\frac{1}{R_1^2}\,2\,\frac{M_3}{M}-\frac{1}{R_1^2}\,3\,\frac{M_3'}{M'}+\ldots\right]+2\,\frac{MM'}{R_1^3}\,\frac{3}{2}\,\frac{1}{R_1}\,\Delta L+\ldots$$

здѣсь для сокращенія ΔL представляетъ сумму

$$(L-L_1)\,\frac{(L+L_1)d\mu}{M}+(L'-L_1')\,\frac{(L'+L_1')d\mu'}{M}+$$

$$+(L''-L_1'')\,\frac{(L''+L_1'')d\mu''}{M}+\ldots,$$

распространенную на всѣ несимметричные магниты. Для измѣренія по другую сторону меридіана отъ поворота магнита на 180° всѣ разности $(L-L_1)$, $(L'-L_1')$ и т. д. перемѣнятъ свой знакъ одновременно и будемъ имѣть:

$$\frac{2MM'}{R_2^3}\left[1+\frac{1}{R_2^2}\,2\,\frac{M_3}{M}-\frac{1}{R_2^2}\,3\,\frac{M_3'}{M'}+\ldots\right]-\frac{2MM'}{R_2^3}\,\frac{3}{2}\,\frac{1}{R_2}\,\Delta L+\ldots$$

Эти же выраженія справедливы и для двухъ магнитовъ, если измѣнить соотвѣтственно значенія M, R и ΔL. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ, взявъ среднее изъ двухъ предыдущихъ выраженій, мы нашли бы, что

$$\frac{H}{2M}=\frac{1}{2}\left[\frac{1}{R_1^3}\left[1+\frac{\omega}{R_2^2}\ldots\right]+\frac{1}{R_2^3}\left[1+\frac{\omega}{R_2^2}\ldots\right]\right]+$$

$$+\frac{1}{2}\,\frac{3}{2}\,\Delta L\left\{\frac{1}{R_1^4}-\frac{1}{R_2^4}\right\}\ldots\ldots\ldots\quad(31)$$

Первый членъ второй части равенства есть среднее изъ двухъ величинъ F_1 и F_2, вычисленныхъ по основной формулѣ; къ нему, какъ мы видимъ, надо присоединить поправку, которая приближенно,

полагая $R_0 = \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$ и $\Delta R = R_2 - R_1$, можетъ быть выражена такъ:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \Delta L \frac{4\Delta R}{R_0^5}$$

откуда относительная ошибка въ $\frac{H}{2M}$, если мы эту поправку отбросимъ, будетъ равна приблизительно:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \Delta L \frac{4\Delta R}{R_0^2}.$$

Для оцѣнки *порядка* этой ошибки положимъ, что въ ΔL, гдѣ всѣ отношенія

$$\frac{(L + L_1)d\mu}{M}, \qquad \frac{(L' + L_1')d\mu'}{M} \text{ и т. д.}$$

положительны, всѣмъ разностямъ $L - L_1$ приданъ тотъ же знакъ, и вмѣсто каждой разности $L - L_1$ вставлена наибольшая изъ нихъ величина dL_0; очевидно, что численно

$$\Delta L < dL_0 \frac{\sum(L + L_1)d\mu}{M}.$$

Во второй части неравенства множитель при dL_0 есть отношеніе суммы моментовъ всѣхъ несимметричныхъ магнитовъ ко всему магнитному моменту системы; положимъ, это отношеніе $= \frac{1}{10}$ *); далѣе, такъ какъ полудлина магнитовъ около 3,8 с.м. и магнитизмъ сосредоточенъ у концовъ, то dL_0 врядъ ли превыситъ 1 с.м.; наконецъ, dR обыкновенно не болѣе $\frac{1}{2}$ м.м. и, слѣдовательно, $\Delta R < \frac{1}{20}$ с.м.; тогда при $R = 20{,}0$ с.м. относительная ошибка изъ за отбрасываемаго члена не превыситъ

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{20} \frac{4}{(20)^2} \text{ или } \frac{1}{27000}$$

всей величины $\frac{H}{2M}$. Отсюда также слѣдуетъ, что при $R_1 = R_2$ вліяніе несимметричнаго расположенія вполнѣ исключается отъ по-

*) Это отношеніе можно найти изъ опыта.

ворота магнитовъ на 180°. О послѣдующихъ членахъ разложенія можно было бы сказать тоже самое.

На нѣкоторыхъ другихъ погрѣшностяхъ какъ то: негоризонтальности магнитныхъ осей магнитовъ, несовпаденія ихъ съ прямой AB (фиг. 1, 2), соединяющей центры вращенія, нѣтъ надобности подробно останавливаться; величина угловъ, которые благодаря этой погрѣшности вошли бы въ формулы, зависитъ главнымъ образомъ отъ тщательности изготовленія инструмента и не должны превышать нѣсколькихъ минутъ дуги; легко видѣть изъ разложенія, подобнаго приведенному выше, что въ основное выраженіе вращательнаго момента вошелъ бы множителемъ cos малаго угла и добавочный членъ съ $\sin^2$ этого угла, что по предыдущему не окажетъ на величину вращательнаго момента замѣтнаго вліянія въ предѣлахъ принятой точности.

Ошибка, происходящая отъ неравенства разстояній осей rr, r_1r_1 отъ центра стрѣлокъ, была разсмотрѣна выше въ § 15; къ ней мы вернемся въ слѣдующемъ § 18.

Объ ошибкѣ, происходящей отъ гнутія линеекъ, будетъ сказано въ § 21.

§ 17. Опишемъ теперь вывѣрку вспомогательнаго магнитика PQ, благодаря которой уголъ θ (см. предыдущій §) можетъ быть сдѣланъ чрезвычайно малымъ.

Начнемъ съ величины вращательнаго момента PQ на стрѣлки, которымъ обусловливается его направляющая сила и, слѣдовательно, *чувствительность прибора*.

Эту послѣднюю наблюдатель можетъ регулировать въ приборѣ по своему желанію. Въ нашемъ приборѣ было принято условіе, чтобы одному дѣленію въ коллиматорѣ или повороту зеркала на одну минуту дуги соотвѣтствовало бы измѣненіе H или силы, развиваемой магнитами A и B на стрѣлку, на 1γ, т. е., чтобы приблизительно:

$$\operatorname{tang} 1' = \frac{M' \,.\, 1.0{,}00001}{\frac{M'\mathfrak{M}}{\rho^3}}$$

или $\frac{\mathfrak{M}}{\rho^3}$ = приблизительно 3440γ. Принятыя здѣсь обозначенія взяты изъ предыдущаго §.

Не трудно видѣть, что эта чувствительность не зависитъ отъ измѣряемаго магнитнаго поля или величины магнитнаго момента стрѣлокъ, а при опредѣленной высотѣ гнѣзда для магнита PQ, иначе при данномъ ρ, опредѣляется исключительно величиною $\mathfrak{M}$,

т. е. магнитнымъ моментомъ магнитика PQ. Пригонка размѣровъ $\mathfrak{M}$ можетъ быть сдѣлана такъ: измѣряютъ $\frac{H}{2M}$, какъ указано выше, и, замѣтивъ отсчетъ по шкалѣ $2R_0$, быстро измѣняютъ разстояніе магнитовъ такъ, чтобы подвижная черта перемѣстилась въ коллиматорѣ на n ($=10$, $=20$) дѣленій вправо или влѣво; замѣчаютъ новое удаленіе $2R_1$. Зная приближенно H въ γ-аммахъ, найдемъ, что чувствительность будетъ равна

$$H_\gamma \times 3 \times \frac{2R_1 - 2R_0}{2R_0} \times \frac{1}{n'} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (32)$$

въ случаѣ надобности *уменьшаютъ* $\mathfrak{M}$, *если надо увеличить чувствительность* и наоборотъ.

Примѣръ. Измѣрили H и нашли $2R_0 = 608{,}30$ м.м.; перемѣстили подвижную черту на дѣленіе 20 и нашли $2R_1 = 608{,}55$ м.м.; приближенно $H = 0{,}164$; 1 дѣленіе коллиматора соотвѣтствуетъ $0'{,}98$. Слѣдовательно чувствительность равна

$$16400^\gamma \frac{3 \,.\, 0{,}25}{608{,}5 \times 20 \times 0{,}98} = 1{,}1\gamma$$

Придавъ магниту PQ желаемую величину магнитнаго момента, пригоняютъ положеніе въ приборѣ по азимуту лагеровъ, куда онъ вкладывается. Лагеры должны быть установлены такъ, чтобы магнитная ось PQ совпадала съ магнитнымъ меридіаномъ, когда стрѣлки свободно располагаются (безъ крученія) въ меридіанѣ, а въ коллиматорѣ подвижная черта совпадаетъ съ постоянной. Достигается это слѣдующимъ образомъ.

Устанавливаютъ на мѣсто: линейки безъ магнитовъ и приборъ горизонтальной силы безъ магнитика PQ; открѣпляютъ стрѣлки. Приборъ горизонтальной силы надлежитъ при этомъ всегда прижимать въ какую нибудь одну сторону, т. к. онъ можетъ имѣть небольшое движеніе по азимуту относительно шпеньковъ, оріентирующихъ его основаніе.

Наведя точно коллиматоръ на зеркало — при этомъ къ наблюдателю будетъ обращенъ S-ый конецъ стрѣлокъ, — накладываютъ магнитикъ PQ на лагеры N-вымъ концомъ въ сторону N-да, быстро успокаиваютъ стрѣлки и замѣчаютъ ихъ положеніе; если они отклонились, то микрометрическимъ движеніемъ у лагеровъ, поворачиваютъ N-ый конецъ магнитика PQ въ ту сторону, куда уклонился N-ый конецъ стрѣлокъ на столько, чтобы подвижная черта опять

совпала съ постоянной. Повторяя такой пріемъ нѣсколько разъ, достигаютъ того, чтобы при накладываніи и уборкѣ магнитика PQ стрѣлки уклонялись въ коллиматорѣ, положимъ, не болѣе 0,2 дѣленія, послѣ чего крѣпятъ лагеры. Точность, съ какой дѣлается эта вывѣрка, будетъ зависѣть отъ величины магнитнаго поля и отъ силы, которую магнитикъ PQ развиваетъ на стрѣлки или отъ чувствительности прибора. Напримѣръ, если чувствительность 1 дѣл. $= 1\gamma$ и если въ Павловскѣ при накладываніи магнитика получается отклоненіе въ 0,2 дѣленія шкалы коллиматора, или 0′,2, то уголъ между магнитною осью стрѣлокъ и осью магнитика будетъ равенъ приблизительно:

$$0',2\,\frac{16400-3440}{3440} = 0',8 \text{ или около } 1'$$

Отсюда видно, что всегда можно достичь того, чтобы уголъ θ не превышалъ нѣсколькихъ минутъ дуги.

§ 18. Основныя требованія при измѣреніи *вертикальнаго напряженія* по отношенію къ взаимному расположенію стрѣлокъ и магнитовъ, по отношенію центра тяжести системы стрѣлокъ и др. были изложены въ § 2. Предположимъ, что для измѣренія количества $\frac{Z}{2M}$ линейки и магниты по уровню около основанія коллиматора приведены въ отвѣсное положеніе, что уровень на трубѣ коллиматора приведенъ на середину, а въ коллиматорѣ подвижная горизонтальная черта совпадаетъ съ постоянной.

фиг. 10

Допустимъ, что въ этотъ моментъ на самомъ дѣлѣ: 1) ось трубы коллиматора OK (фиг. 10), будучи расположена подъ угломъ

α къ меридіану, не горизонтальна, а наклонена къ горизонту подъ угломъ θ, 2) центръ тяжести всей подвижной системы отъ оси вращенія pp' находится на нѣкоторой прямой Og въ разстояніи d отъ pp' 3) ось вращенія системы pp' расположена подъ угломъ ε къ плоскости $O^{st} - W^{st}$ и подъ угломъ ψ — очень малымъ—къ горизонту, 4) магнитная ось стрѣлокъ ns при совпаденіи обѣихъ чертъ въ коллиматорѣ составляетъ съ горизонтомъ уголъ J, съ магнитами измѣрителями уголъ $90° + i$ и съ меридіаномъ уголъ φ.

Наконецъ предположимъ, что нити, на которыхъ была подвѣшена система стрѣлокъ, имѣли крученіе, моментъ котораго относительно оси pp' равнялся T_r. Пусть также моментъ вѣса системы относительно оси pp' былъ T_g.

Измѣривъ количество $\frac{Z}{2M}$, какъ было указано въ §§ 2 и 4, перемагнитимъ стрѣлки; такъ какъ стрѣлки намагничиваются до насыщенія, то можно допустить, что съ точностью до нѣсколькихъ $^0/_0$ магнитный моментъ ихъ до и послѣ перемагниченія будетъ тотъ же (спеціальныя измѣренія подтверждаютъ такое предположеніе); положимъ также, что измѣняя полярность концовъ, *мы не измѣнили направленія самой магнитной оси въ системѣ стрѣлокъ.*

Повернемъ приборъ точно на 180° по горизонтальному кругу *) и, приведя по нижнему уровню въ вертикальное положеніе линейки съ магнитами и уровень на трубѣ коллиматора на середину, измѣримъ снова $\frac{Z}{2M}$. Въ этомъ случаѣ относительное положеніе оси коллиматора, нормали къ зеркалу, а, слѣдовательно, и магнитной оси стрѣлокъ останется то же, что и при первомъ измѣреніи; наклонъ къ горизонту оси коллиматора и магнитной оси не измѣнится, равно какъ и оси вращенія системы; расположеніе относительно послѣдней центра тяжести системы и наклонъ прямой Og относительно вертикали будетъ тотъ же. Разница будетъ лишь въ томъ, что къ коллиматору теперь будетъ обращенъ хотя и тотъ же конецъ стрѣлки, но съ магнитизмомъ другого наименованія и, кромѣ того, измѣнитъ свое направленіе относительно прибора на 180° горизонтальная составляющая H. Поэтому, если въ пер-

*) Линейки для этого временно снимаютъ съ прибора.

вомъ случаѣ магнитный моментъ стрѣлокъ былъ M', а во второмъ M'', то условіе равновѣсія въ первомъ случаѣ будетъ:

$$M'Z\cos J-\frac{2MM'}{R_1^3}\cos i\left[1+\frac{1}{R_1^2}\left\{2\frac{M_3}{M}-3\frac{M_3'}{M'}(1-5\sin^2 i)-D_0^2+.\right\}+.\right]\pm$$

$$\pm T_r\pm T_g\pm M'H\cos(R,H)\sin(R,m)\ ^{*})=0;\ .\ .\ .\ (33)$$

а во второмъ:

$$M''Z\cos J-\frac{2MM''}{R_2^3}\cos i\left[1+\frac{1}{R_2^2}\left\{2\frac{M_3}{M}-3\frac{M_3'}{M'}(1-5\sin^2 i)-D_0^2+.\right\}+.\right]\mp$$

$$\mp T_r\mp T_g\mp M''H\cos(R,H)\sin(R,m)\ ^{*})=0;\ .\ .\ .\ (34)$$

Раздѣлимъ предыдущія уравненія соотвѣтственно на M' и M''; принявъ во вниманіе, что уголъ J составляетъ всего нѣсколько минутъ, а уголъ i не превышаетъ $20'$—$30'$, найдемъ изъ двухъ уравненій:

$$\frac{Z}{2M}=\frac{1}{2}\left[\frac{1}{R_1^3}\left\{1+\frac{\omega_1}{R_1^2}+\ldots\right\}+\frac{1}{R_2^3}\left\{1+\frac{\omega_1}{R_2^2}+\ldots\right\}\right]\mp\frac{1}{2}T_r\left\{\frac{1}{M'}-\frac{1}{M''}\right\}\pm$$

$$\mp\frac{1}{2}T_g\left\{\frac{1}{M'}-\frac{1}{M''}\right\}\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ (35)$$

Такъ какъ разность $M''-M'$ малая величина въ сравненіи съ $M'M''$; T_r и T_g сами по себѣ также малыя величины при надлежащей вывѣркѣ инструмента, то $\frac{Z}{2M}$ при отсутствіи другихъ погрѣшностей *равно среднему изъ двухъ количествъ, измѣренныхъ до и послѣ перемагниченія.* Слѣдуетъ замѣтить, что для уменьшенія разности $M''-M'$ полезно *намагничивать* до *насыщенія стрѣлки* и передъ *первыми* наблюденіями количества $\frac{Z}{2M}$; точно также надлежитъ заботиться о томъ, чтобы при перемагниченіи отъ натяженій не перемѣнились крученіе нитей и положеніе точекъ крѣпленія нитей у системы стрѣлокъ. Для *вычисленія* $\frac{Z}{2M}$, вслѣдствіе малой разности разстояній R_1 и R_2, достаточно находить F для средняго

---

*) $H\cos(R,H)$ есть проэкція горизонтальной составляющей H на плоскость перпендикулярную къ оси вращенія pp' (фиг. 10), а (R,m) есть уголъ между этой проэкціей и проэкціей магнитной оси стрѣлокъ на плоскость, перпендикулярную къ оси pp'.

разстоянія $\frac{1}{2}(R_1 + R_2)$ вмѣсто того, чтобы выбирать F_1 для R_1 и F_2 для R_2 и брать среднее.

Мы предполагали, что магнитная ось въ системѣ стрѣлокъ отъ перемагниченія не мѣняетъ своего положенія; это не всегда справедливо и выполнимость такого условія зависитъ отъ формы стрѣлокъ; послѣ различнаго рода испытаній мы остановились на системѣ изъ 6 стрѣлокъ, діаметромъ около 1 м.м, сточенныхъ къ концамъ на конусъ. Ошибка, происходящая отъ перемѣщенія оси, не исключается, но ея *вліяніе на измѣреніе будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ чувствительнѣе приборъ* вертикальной силы, т. е. чѣмъ больше уголъ, на который перемѣщаются стрѣлки подъ вліяніемъ нѣкотораго опредѣленнаго приращенія вертикальной силы $\pm \Delta Z$. Положимъ, что магнитная ось перемѣстилась въ системѣ стрѣлокъ при перемагниченіи на уголъ $= 10'$; если, напр., для перемѣщенія подвижной черты въ коллиматорѣ на 1 дѣленіе или, приблизительно на $1'$, необходимо измѣнить вертикальное напряженіе или силу, развиваемую магнитами, на 3γ, то, очевидно, что въ окончательный результатъ войдетъ ошибка равная

$$\frac{1}{2}(3 \times 10)\gamma = 15\gamma.$$

Чувствительность зависитъ отъ величины горизонтальной составляющей, отъ крученія нитей и отъ положенія центра тяжести относительно оси вращенія pp'; *это послѣднее можетъ быть легко измѣняемо самимъ наблюдателемъ* подъемомъ или опусканіемъ гайки (см. § 11) у оправы стрѣлокъ инклинатора. Опытъ показываетъ, что въ походѣ довольно удобное измѣреніе силъ получается при чувствительности 1 дѣленіе $= 3 - 4\gamma$.

Для опредѣленія чувствительности надлежитъ измѣрить $\frac{Z}{2M}$ и затѣмъ передвинуть магниты такъ, чтобы подвижная черта перешла на n ($= 10$, $= 20$)дѣленій. Положимъ, въ Павловскѣ, гдѣ Z приблизительно $= 0{,}470 C.G.S$, измѣрили $\frac{Z}{2M}$ и нашли $2R_z = 430{,}00$ м.м.; раздвинувъ магниты до $2R_z = 430{,}21$ м.м., перемѣстили черту съ 0 на 20 дѣленій; отсюда чувствительностьвъ γ-ахъ: будетъ приблизительно равна

$$47000.3\frac{430{,}21 - 430{,}00}{430{,}00}\ \frac{1}{20} = 3{,}4\gamma.$$