

新編

書 精 鈔 覽 中

物

理

學

新編

書 綫 鼓 學 中

物

理

學

*Commercial Press New Text Book Series.*

A BRIEF COURSE  
IN  
GENERAL PHYSICS

BY

GEORGE A. HOADLEY, A.M., C.E.

TRANSLATED and ADAPTED

BY

ZIA HONG LAI.

*Anglo-Chinese College, Shanghai.*

---

SHANGHAI:

*Printed and Published by the COMMERCIAL PRESS.*

—  
1904.

序

我國自開海禁以來，屢爲外國所挫辱，頗務富強，而絕少言藝學者。江甯製造局始譯格物工藝製造等書，而當世以爲非先聖所嘗道，又無補於詞章，不足以取利祿，棄置不屑道，間有一二究心於格物製造者，又技成屠龍，無所用之，世人且鄙爲賤工，不屑與伍，於是學者大抵祇習外國語言文字之粗淺者，爲衣食計，藝學之事，寂然無聞。甲午以後，稍言變法，而惟歐美政教之糟粕是求，庚子之後，橫議尤多，空言無補。昔英儒巴克爾謂進化之功，藝學居十之九，而政教之力不與焉。雖藝學與政教之功，未必果有如是之比例，然政教之不敌藝學，殆無疑義焉。歐美藝學之興，不過二百年，其創造輪船鐵路，不過百年，而富強莫比，識者以謂格物之功，居其大半，蓋格物者其體，而工藝製造者其用也。今日言富強者，舍是將安歸耶？歐洲之工藝製造，今日已至極盛，不幸而生多銷寡，故不得不求銷場於異國，溯自美洲開闢，以至於今，曾幾何時，而地幾已盡墾，於是爭鬪非洲，未幾而分裂殆盡，或奪土地，以處游民，或闢商場，以銷餘貨，非洲地圖，無日不變，苟有可以立足之地，無不有所專屬。

今轉而至亞洲矣、亞洲膏腴、以我爲最、於是計誘力逼、築室代謀、爲我開礦、爲我造路、而我猶以詞章爭短長、以空談炫新異、路鑛且無專科、其他工藝製造之事、更無論已、夫歐洲政教、曷嘗無可取法、惟政教因人而生、不可以強合、不善爲之、人且因以爲利、禍不旋踵、至於工藝製造、則不然、未有學而不能者、且富強之所資、而歐美之所恃、以制我者也、今不此之務、而惟掎克聚斂、以求富、招集無賴、以致強、日言富強、而富強愈遠、不亦可悲之甚乎、識者有鑒於此、頗持振興工藝製造之議、而苦無格物學善本、以爲學者先導、商務印書館慨然聘名手譯美國何德賚之物理學、以行世、其書在本國、已稱善本、能以淺近之詞、解深妙之理、而獨重試驗、最宜初學、余故樂而序之、且裨憂世者知富強有大道、非可苟而得也、光緒甲辰六月新會伍光建序

# 譯例

是書爲美國亞美利加書肆刊行最新教科書之一、著者爲司華麻大學校物理教習文學兼工學士何德賚。

本書特色有三、(一)材料新穎、凡近時發明之透物奇光、無線電報、俱剖晰要理、明示學者。(二)編輯完備、全書分四項、曰本文、曰試驗、曰習問、曰實驗室功課、本文以便誦覽、試驗所以徵實習、問以探所得之深淺、功課則研精之事也。四項畢備、爲從來教科書所罕見。(三)圖畫豐富、全書計圖四百九十幅、幾於一事一物、皆可按圖以索、亦從來教科書之所未有。

全書共分十章、計五百二十二節、試驗二百五十七條、習問三百七十三條、實驗室功課一百八十八條、分款章節、悉循原本、字跡分粗細二項、標目用大字、以醒眉目、遇緊要字、旁加密點、讀者可以知所注意、書內例舉地名、皆在美國、間有改爲華地者、俾學者易明其理、度量權衡之數、科學家通用適當準則、是書爲美人所著、故英法二種並用、譯改反多崎零、今悉仍之、列參攷表於左、以便校勘。

一 適當合中國海關尺二尺八寸一分七釐。沈林一中四度  
量權衡攷略

又 合工部營造尺三尺二寸三分四釐。中四權度  
合數表

又 合通用裁尺二尺九寸一分六釐。格物

右法國量數

一 立脫耳合中國一升三合五勺有奇。中西度略

右法國量數

一 格蘭姆合中國二分六釐四毫有奇。中西度略

右法國量數

一 呎合中國海關尺八寸五分一釐零。中西度略

又合工部營造尺九寸八分六釐。中西度略

又合通用裁尺八寸八分九釐。格物

一 哩合中國二六〇七里。格物實學  
依裁尺計

右英國度數

一 高倫合中國六升一合四勺。

右英國量數

一 噓即葛林合中國一釐五毫六絲。

一 安士或曰溫司合中國七錢五分。以上並見中四度量權衡攷略

右英國衡數、

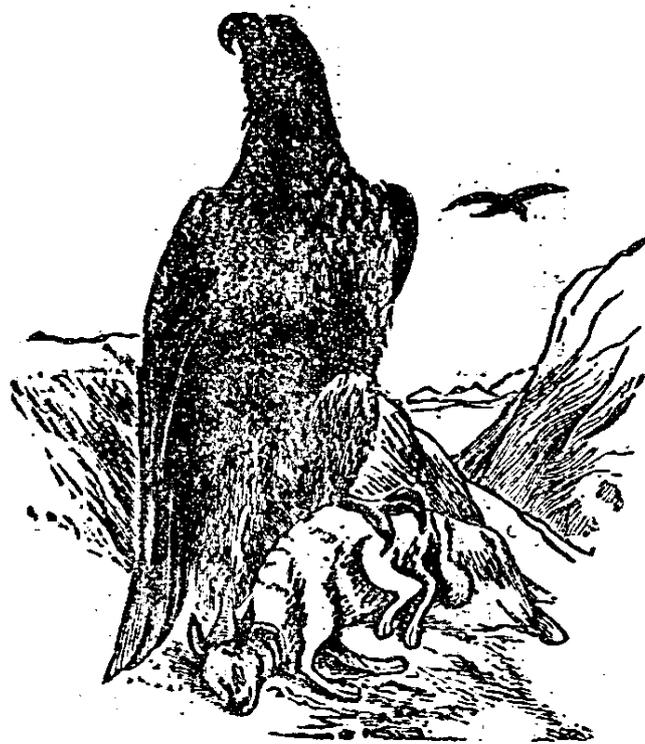
邁當準則、十進十退、推算最捷、其諸等數之譯音、長至四字、殊為累贅、日本中央氣候臺用瓦三字為號、以代邁當日本譯立脫耳格蘭姆日本音譯三準箇、十進之數、旁加十百千等字、十退之數、旁加厘分毫毛等字、詳見第一章是編從之、以求簡便、惟讀時宜仍其原音、如厘宜讀作生的邁當、餘仿此。

日本文字以呎字代英尺、即吋字代英寸、即哩字代英里、即頗簡便、故是編從之、且以

字代英釐。即林葛

本書所用名目、悉准前人、其無從稽考者、酌立一二、卷末附中西名目表、以便檢覽、化學名目、概循益智書會新表、卷首列釋名若干條、彙解書內人物名目。

譯者識



# 教授要言

本書為中學教科之用，故說理祇合中學程度，教習講解更宜蒐集羣書，今譯本尙少，舉參考書之重要者於左。

格物入門 力水氣火 電五卷

力學拾級 水氣拾級 氣學拾級 各一冊 山東劉光照譯 頗新穎

光學揭要 熱學揭要 聲學揭要 各一冊 勃士譯 著原文與前拾級三種合為一書 法人甘拿著 合高等學校程度 尙有二卷未譯

格物質學 史遜爾著 潘慎文譯 亦中學物理教科書也

物理易解 陳規編 著

物理教科書 陳規譯 日人水島久太郎原著 祇出第一冊 習題頗多

物理學 日本飯盛挺造原著 藤田豐八譯 祇出上中二編 算理詳備

格致釋器 總開釋器內重學器水學器氣學器測候器 圖說遠鏡鏡說等俱切要 讀之可知用器之法

格物大圖 英京約翰斯敦國學家刊印 益智書會販售 內有體性圖重學圖水學圖磅於無

重學水學光學熱學電學圖說 各一冊 所以詳釋圖說尤詳

電學綱目 田大里著 祇具大綱

電學 瑞撰

聲學 里著

光學 田大里著以上

氣學叢談 傅爾雅譯倫寒暑表

質學新編 廣學會新刊為二十周教科選書之一說理多新

物理多藉算學以發明之、學者必已習代數、方於本書算式、不致多所窒礙。是書期一年畢業、教授之時、宜按課日多少、酌定每日當授之數。

學堂初立、未備實驗室、或生徒年齒已長、期在速成、則實驗室功課諸條、不妨略去。然有志欲精此學者、必宜依式演習、且當自出心裁、製器察理。

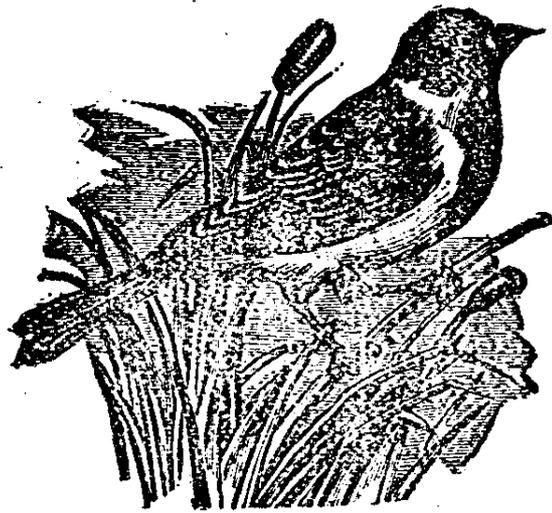
器械價昂、購置難備、教者切勿因此掃興、能得小號器械、上海出售日本製者值不過百金、加以口講指畫、條晰

詳明、學者不難領會。且書內試驗多款、俱用簡便木製器具、教者可自仿造、或指揮工匠製之、學生中有能製者、更宜嘉獎。

密率與重率、體質與重之區別、初學最易誤混、宜加意講明、左載條摘採日本中學校教授要目

物質不廢及工力不廢二大定律、為物理學之樞紐、當教授諸子日時、最宜留意。

教授時宜常課以自撰之計算問題、使生徒既得之知識、益臻精確。  
實驗器械材料藥品、應預爲置備、陳列教室、且於教授之前、注意檢試、務使講授之際、無少窒礙。  
實驗之際、必使全班生徒同時蒞視、且當時時詰問、使其知所注意。  
學校附近、如有局廠工場、當隨時率領生徒臨勘機械之用法裝法。



# 釋名

書中所引人物名不經見者彙而釋之以餉初學人名下並注其生卒年分

紀而文第四節 英人、大學校格致教習、精電磁熱學、以創大西洋電纜虹吸器之功、英廷錫爵榮

之生、一千八百二十四年、

馬格司會第四節 蘇格蘭人、學校教習、精力學電學、生一千八百三十一年、卒一千八百七十九

年、

法倫海第十節 德之普魯士人、殫心格致、始製法倫海寒暑表、生一千六百八十六年、卒一千七

百三十六年、

本生第三十節 德國化學士、學校教習、發明本生焰、解砒藥、及分光覈質法、生一千八百十一年、

鈕敦第四十節 一譯奈端、或作牛董、英國格致大家、發明攝力動理、著作甚多、為寶泉局長官、生

一千六百四十二年、卒一千七百二十七年、

嘎利利滙第八節 一譯加利略、意大利國格致大家、精天文算學物理、發明擺條墜體遠鏡地動

諸理、生一千五百六十四年、卒一千六百四十二年、

巴斯楷第一百二節 法國大思想家、精算學氣學水學、隱居修道、生一千六百二十三年、卒一千

六百六十二年、

亞基米德第一百三十四 上古格致大家、西拉庫斯人、精算學、發明槓桿重率等理、為羅馬兵所殺、

生紀元前二百八十七年、卒二百一十二年、

雷賴第一百五 英人、王立公會物理教習、與英人蘭賽同發明氦氣、生一千八百四十二年、

蘭賽第一百五 美人、大學校化學教習、今尙存、

吐黎失利第一百六 意大利人、精算學格致、為嘎利利瀝入室弟子、繼為教習、發明風雨表之

理、生一千六百零八年、卒一千六百四十七年、

巴哀勒第一百六 英人、精化學氣學、為創始王立公會人、不受英廷封爵、生一千六百二十六

年、卒一千六百九十一年、

麥利斛第一百六 法國物理學士、與巴哀勒同時發明氣體受壓而漲之例、生一千六百二十

年、卒一千六百八十四年、

江尼革第二百三 德國工學家、業畫、溯汽機印刷術、生一千七百七十四年、卒一千八百三十

三年、

愛狄孫第二百三 美人、為近世電學大家、有奇才、幼年以售新聞紙起家、後業電報、發明新理

無數、曾領專利文憑五百餘、其著者爲埋革風、留聲機、活動影戲、熱光電燈、生一千八百四十七年、

羅木耳 第七節二百四十四 法人、講求工藝動植學、製八旬表、生一千六百八十三年、卒一千七百五十七年、

田大里 第十三節二百六 近世英國格致大家、爲法耳台之繼起、善演說、闡解清晰、能令不學者亦明科學深理、著作甚富、生一千八百二十年、卒一千八百九十三年、

查理斯 第十九節二百六 法國物理學士、始以輕氣納入氣球、生一千七百四十六年、卒一千八百二十三年、

朱勒 第二百八十七節 英人、化學名家道耳敦弟子、研究理化、發明力熱互等要理、生一千八百十八年、卒一千八百八十九年、

法耳台 第三節三百二 英國理化學大家、幼年失學、自修甚苦、終得兌飛之教、於化學電學磁氣學、多所發明、生一千七百九十一年、卒一千八百六十七年、

范克林 第三節四百四十節 一譯富蘭克林、美國自主時之豪傑也、有大功於國、爲富商及著作家、晚年研究科學、發明閃電防雷鐵之理、生一千七百零六年、卒一千七百九十年、

弗打第三百四十八節 意大利國物理學家、發明化電之理、故電學中多用其名以為紀念、生一千七

百四十五年、卒一千八百二十七年、

賈法尼第三百四十八節 意大利人、業醫、見蛙腿跳動、研究動物電氣、生一千七百三十七年、卒一千

七百九十八年、

安培第三百五十六節 法人、精算學物理、發明磁氣之例、生一千七百八十七年、卒一千八百五十四

年、

歐姆第三百五十六節 德國物理學家、發明歐姆之例、生一千七百八十七年、卒一千八百五十四年、

韋斯敦第三百八十九節 英人、精電學、制製實體觀畫鏡、生一千八百零二年、卒一千八百七十五年、

瓦德第三百九十五節 英人、發明汽機大家、生一千七百三十六年、卒一千八百十九年、

克路克司第三百四十四節 英人、精理化、造射力表、發明錫質、生一千八百三十二年、

耶根第三百四十四節 德國倭士布大學校教習、一千八百九十八年、發明曷格司光線、名聞於世、生一

千八百四十五年、

莫爾斯第三百四十七節 美人、以雕刻繪畫為業、究心電學、一千八百三十二年、發明電報、世界榮之、

得公獎金十六萬圓、生一千七百九十一年、卒一千八百七十二年、

**馬高尼** 第四百二十八節 意大利人、精電學、殫數年之功、發明無線電報、名播宇內、年僅二十有七、

**斐爾** 第四百二十九節 美人、製德律風、今為格致會長、

**羅墨耳** 第四百四十六節 丹國天文士、始定光行之速率、

**倫傅德** 第四百四十九節 英人、生於美國、姓湯生、名便雅憫、為巴斐利亞兵部大臣、倫傅德其爵號也、

晚年退居林下、研究科學、尤精光熱二科、生一千七百五十三年、卒一千八百十四年、

**發郎胡發** 第五百零五節 德國光學名家、初以磨玻璃鏡為業、晚年為格致教授、於光學多所闡發、尤

以發明光圖黑線著名、生一千七百八十七年、卒一千八百二十六年、

### 以上人名

**麥堡** 第一百五十八節 德國北方古邑、當十七世紀時、邑人哥爾立、始製抽氣筒、吸去兩半銅球之氣、

四馬之力、不能開之、故有麥堡半球之名、

**來頓** 第三百二十七節 荷蘭名邑、一千七百四十六年、邑人固尼呵司、始發明蓄電瓶之理、故以為名、

### 以上地名

**銦** 第二節十 (Platinum) 貴金之一、色亮白如銀、性堅強、酸不能蝕、值亞黃金、俗名曰白金、舊譯作鉞、

**鉍** 第二節十 (Iridium) 為罕見之貴金、色白、多與銦併生一處、舊譯曰鉍、

日耳曼銀 第四節二十 俗名白銅、乃銦銅鎳三金類合成、中國自古用之、

消汁 第三節三十 (Solurier) 消物之水也、如消鹽之水、則曰鹽之消汁、

銦 第三節三十 (Zinc) 金類之一種、性軟而韌、可打薄片、多用以蓋屋面、作簷溜、俗名白鉛、日本曰亞

鉛、舊譯作鋅、

巴勒 第十節四 (Bole) 動力之準筒也、

準筒 第四節四十 (Dite) 度物之準也、日本譯曰單位、如量物之長、則以尺為準、衡物之重、則以斤為

準、皆準筒也、

達痕 第六節四十 (Dyne) 力之準筒也、每秒施於物質一格蘭姆、令有速率、每秒當一力的適當之力、

曷耳格 第一節六十 (Horse) 工程之準筒也、力施於物質一格蘭姆、令有速率、每秒當一力的適當所

成之工程、

代那模 第七節六十 (Dynamo) 以力達電之機也、

以太 第八節六十 (Ether) 充滿太虛及物質內之稀氣、極薄極微、而能傳光傳熱傳電者也、或譯曰元

氣、或曰傳光氣、亦曰以脫、

自行車 第一節百十八 (Bicycle) 足踏而行之二輪車也、俗名腳踏車、或美其名曰自由車、

萬年松第十二節 (Lycopodium) 屬石松之一、芽之細胞有粉、性易燃如硫磺、

力低暮司第八節 (Litmus) 屬石苔之一、其液色青、化學家用以試驗酸質、性略同靛青、

育第十六節 (Nitrogen) 即淡氣也、

氣第十六節 (Argon) 一名閑氣、又曰惰氣、

氫第十六節 (Ammonia) 即淡輕氣、

臭養第十六節 (Ozone) 養氣所變、一名阿純、

副儀第十一節 (Vernier) 風雨表等精察度分之器、大尺之旁、附以小尺、按算學理、可得細分、十

六世紀時、法人副儀造之、故名、一曰物逆、

測候臺第十三節 泰西各國、俱有公立觀象臺、占測氣候、廣告農商、知所趨避、

斗來米法第十一節 (Do, re, mi, fa, sol, la, si) 西樂八音、以此七字號之、而第八音即重

為斗音、猶之古樂之宮商角徵羽、及俗曲之上尺工凡六五乙仕也、

音鑰第十五節 (Key) 琴內按指出音之板也、

鋼琴第十五節 (Piano) 俗名曰八音琴、以鋼弦為之、

提琴第十二節 (Violin) 西國樂器之一、略似三弦、而以弓拉之、

下品上品正品副品第十四節 西樂曲調多分高低四品、大率男子唱上下品、女子唱正副品、

又以音之高低、分上下正副四品、合唱、和諧悅耳、

鈦第十一節 (Aluminium) 金類之一種、土多含之、舊譯作鋁、

安尼林節後功課內 (Aniline) 自煤黑油取出之料、可製各種色料、市上所售洋紅洋綠皆是、

詳見化學、

克羅力第十一節 (Calorie) 熱之準箇也、

吹火第十七節 化學家以吹火筒吹火、則其燄較常火烈甚、可鎔五金、

鑽雙強礬第十五節 (Potassium Bichromate) 俗名紅礬、

鎳硫強礬第十五節 (Sodium Sulphate) 舊譯鈉養硫養三、

銅硫強礬第十六節 (Copper Sulphate) 俗名膽礬、一曰藍礬、

鎳第十八節 (Nickel) 金類之一、色白如銀、西人以鍍銅器、

銀藍洽第十八節 (Silver Cyanide) 舊譯銀衰、

筆鉛第十九節 (Graphite) 卽用以製鉛筆者、爲純炭質、

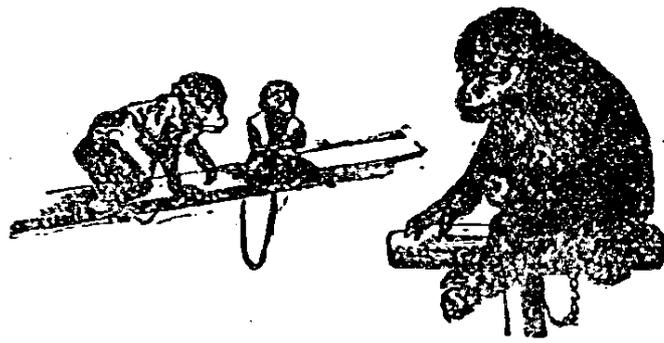
銀育強礬第十八節 (Silver nitrate) 光明之顆粒、見光則黑、照相用之、舊譯作銀淡養三、

杜瑪玲 第一百五十一節 (Turmaline) 五色寶石也、

波勒殺末 第一百五十二節 (Bolsam) 松香之類、由樹流出成膏、

以上物名

譯者編



# 目次

## 總引

第一章 體力與準箇

第二章 物質之性

第三章 定質重學

一 動 速率 力

二 工程 工力

三 攝力 地心攝力

四 墜體

五 擺

六 機器

第四章 液質

一 液質之合點力

二 液質重學

三 重率

第五章 氣質

第六章 聲

一 浪動 速率

二 聲浪相阻 助響 樂音

三 弦片及桿之顫動

第七章 熱

一 熱度及其度量之法

二 發熱 傳熱

三 增漲 化散

四 度熱

五 熱與工程

第八章 磁氣

第九章 電

一 靜電

二 溜電

三 電溜之功效

四 電學測量

五 感電溜 代那模

六 電氣致用

第十章 光

一 光之性與濃率

二 返光

三 折光

四 分光 極光

五 視器

附中西名目表

# 物理學

## 總引

一 物理學者、物質與工力之科學、專究物理狀態與其原因、所有之關係定律也。

學者考諸定律、而以言語申明之、則必用試驗之法、且當屢變其法、以得定義、又宜精心察其已得之效。

二 物質者、凡占地位而爲人之五官所能覺察者也。有數種物質、如木石水氣、稱之曰質。質之有定積者、名之曰體。

三 元點合點 凡體可受擠而加緊、故知其所占之地位、非全爲其構造之質所占、而其微點、並非真正互切。此諸微點、名曰合點。卽一體可分至最小分、而其性不變者也。倘合點內之自結力、爲他力所勝、則合點分而爲元點。是卽物質內能化合之最小分子也。如水卽輕二養之一合點、含有輕二元點、養一



大壓力亦能流動。

物質之狀態大率隨熱度與壓力而變。

取封信火漆一條粘其一端使之橫立彼端懸重二磅之物則條不久即曲。石油所鋪之街如其面坡斜當炎熱之日則向下流卸。又如取水一盃浮軟木塞二於其面上置黃蠟餅一塊餅上置鉛丸一顆數日後丸必已穿過蠟餅下沉而軟木則向上透過。凡此諸事皆足證吾人所謂定質苟遇合宜之情形亦能流動也。

體之狀態如細爲區別則自最堅之定質至最稀之氣質可分多級而連絡不絕。列其略表如左。

堅定質

鋼

軟定質

油灰

凝液質

柏油

稀液質

水

气

汽 雲

氣

空氣

質有獨因熱度之變而顯三種狀態者、如水可化冰、水汽、是也。亦有必需熱度壓力俱變而始改其狀態者。

六

工力者、能作工之力也。敲椿之鎚、擊木之端、使漸入地、其深淺視鎚之重輕、及所升之高下爲準、或增重、或加高、俱足助其工力、而令椿入地較深。吾輩時表之鎚、卽所以蓄工力若干於砧條、而使於二十四小時內程工不輟也。

七

體變化變

今所研究者爲物理學現狀之例、而此現狀乃由於體變。何

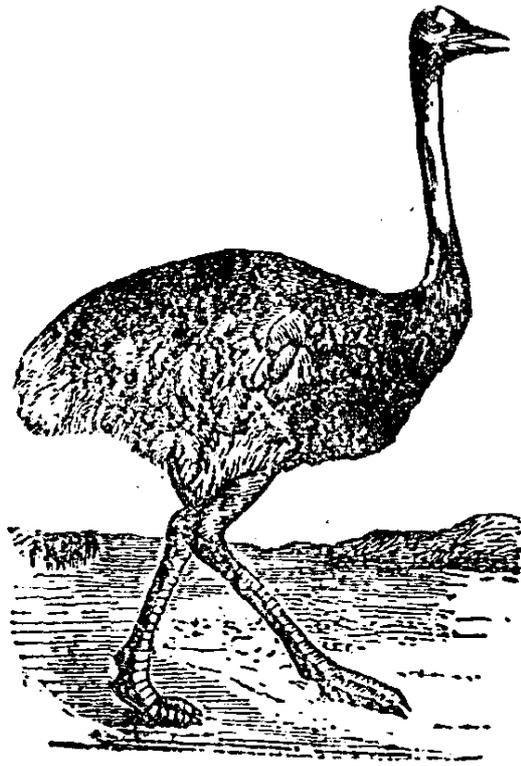
謂體變、卽物質有變化、而于物性無涉。如石之擲空、水之蒸汽、木之因乾而縮、磁石之吸釘、皆是也。反之、如水化爲輕養二氣、木之燃燒、鐵釘爲強酸所蝕、則物之原性已失、凡此變化、卽曰化變。

八

試驗

試驗者不啻詰問萬物、而所得之功效、卽其答語也。其所以詰問者同、則所得之答語亦必同、可知物理之有一定。下列試驗法若干條、學者勤讀

而慎試之、即可知詰問萬物之法、不止一端。苟情事改變、則所答亦必異也。凡試驗之功效、必先以臆想解釋之、按之種種實事、皆無違忤、則成理想。理想積驗而不可駁、則成物理學之定例。



九

# 第一章 體力與準箇

力 凡物理學之現狀，皆為體力所致。物理學內凡用力字，蓋指可使其體運動或變其體之動或阻其體之動而言。如童子以手推樹，樹雖不動，然有致動之勢，故亦曰力。

十

力與動之類 力之分類，其法不一。曰體力，曰合點力，曰元點力，其大較

也。體力存於相距諸體之間。合點力與元點力，則存於相距極微諸合點諸元點之間。體力可分為左二類。

一 吸力，如地心攝力。

二 驅力，如二磁針之同極相遇，則互相驅。

體力又可分為左二類。

一 恆力，即在若干時內，常施無間，再分之為二。一曰等恆力，其程度恆等。一

曰變恆力，其程度屢有變更。

二 驟力，祇施於俄頃之間。

度量 近時學者研究物理學而得完全之智識，多賴度量之準定無誤。度

量所用準箇，有體距時三種。

一向之距 長 下文所論度量準則有二種。一通用已久，英國之準則，

是也。一立法至良，格致學內取用漸廣，法國之適當準則，是也。

英國度量長之準則爲碼。按英國律例，碼之長係以倫敦戶部庫內銅條上二金塞橫線之距爲準。夫金類因熱度之高低，時有漲縮，故必明言碼之長，正在法倫海表六十二度之時。

凡通用英國準則之處，俱有仿製之碼。惟英碼之準則，乃由法京巴黎萬國權量會之正則適當而定。其分度尺，乃以鈇鑲之攪金者製之。鑲有百分之十用二物者因其漲縮最小也

世俗常用，則以一英尺爲準則，即碼之三分之一。

法國之度量長準則，爲適當，乃於十八世紀末，經格致家核定。其旨有二。一則於天然物中可得一定準則，一則以十進十退升降，求其推算之簡捷也。故取地球面自赤道至北極過法京巴黎之經線，分爲一千萬分，取其一分，名之曰邁

當、爲長之準則。此後迭次實測、知前測之數、未免有誤。適當之長、實爲地球象限弧一千萬零零八百八十分之一。因知適當不能適爲天然準則之十退數、然於其實用無妨。

世間第一準定之適當、在巴黎國庫內、爲鈇條一、當鎔冰度之時、其長爲一適當。

適當之十進數、冠以希利尼字迭喀、黑克、等爲誌。其十退數冠以拉丁字迭希生的、等爲誌、如下表、

十密理適當	<small>省日</small>	一	一生的適當	<small>省日</small>
十生的適當		一	迭希適當	<small>省日</small>
十迭希適當		一	邁當	<small>省日</small>
十邁當		一	迭喀邁當	<small>省日</small>
十迭喀邁當		一	黑克邁當	<small>省日</small>
十黑克邁當		一	基羅邁當	<small>省日</small>

下表列適當準則與英尺相較之數。

一耗		0 3 9 3 7	吋
一檉		3 9 3 7 0	吋
一粉		3 9 3 7 0 4	吋
一紉		3 9 3 7 0 4 3	吋
一粘		3 2 8 0 9	呎
一粘		3 2 8 0 9	呎
一杆		3 2 8 0 9	呎    6 2 1 哩

學者欲善用尺度，則必先明所用準箇之同數。故欲善用適當準則，宜取適當量度目前習見之物，而求其纒數，因種爲物理學內常用度長之準箇也。

十三

**二向之距、面** 凡面有二向，故度面之準箇，必爲一小平方，其各邊適

合度長之準箇。大率物理學所用度面之準箇，爲平方生的適當，即方惟求極

小面積，乃偶用平方密里適當，即方方數表與度數表略等，惟其進退以百數

耳。

十四

### 三向之距 體

凡體有三度，即長寬高也。度體之準箇，為一小立方。

其四邊皆適合度長之準箇。於適當準則內，則為立方生的適當。即立方數表之進退為千數。

十五

### 體質與重

一體之體質，即所含物質之數，必以天平衡而知之。一體之

重，雖與體質有關，然別作一解，不容誤混。蓋一體之重，即體與地互吸之分量也。在地面各處，互吸之力不等，故重亦不同。惟體內之體質，磅金如一則任在何處，無不一例。

法國所用體質之準箇，為基羅格蘭姆。

磅有日物理學常用者為格蘭姆。磅有日即

蒸水一立方糵，當其密率最大時即之重也。其十進十退之數，前加希利尼

拉丁字母，與適當同。如體之砵數已知，則可按下式而求其英磅中斤之數。

1 砵 || 1 5 4 3 2 3 4 8 7 噸即 2 2 0 4 6 磅 || 1 6 5 3 4 5 斤

既在一處，則諸體之重與體質有比例。且重在地面各處之差，為數甚微，故凡體質所用之準箇，磅如亦可用以定體之重。

十六

容量

邁當準則內度量之準箇。由度量長準箇而來。爲一立方粉。稱之曰

一立脫耳。

研日

即一千立方糲。故清水一立脫耳。當密率最大時之熱度。其重

一坵。

十七

時間

物理學內所用時候之準箇曰秒。即平太陽日之八萬六千四百分

之一。

十八

度量所用之糲瓦秒法

各國格致家。因各國度量長短體質時候之

準箇不一。誠多不便。故合議於格致學內。祇用糲瓦秒法。此法簡捷合用。故傳行甚廣。英美二國。昔用呷磅秒法。今則沿用糲瓦秒矣。

習問

- 一 壯者於五十二秒時行四分之一哩。問每秒行若干呎。
- 二 火車每小時行六十哩。則二小時半。行過若干坵。

三 化13.421 呎爲耗則當若干。化爲糲則當若干。化爲粉則當若干。化爲粳與時則當若干。化爲尺與寸則當若干。

四 18 甓爲若干磅。又爲若干斤。

五 3 磅爲若干瓦。又爲若干甓。

六 今有一箱長十八糲、廣十二糲、高九糲、則能容水若干甓、其水之重若干。

七 圓柱形桶、徑廣八糲、則必高若干糲、乃可容水二甓。

八 汝身重若干甓。

九 試詳列適當方數表。

十 試詳列適當立方數表。

十九  
**實驗室功課** 近來物理學之理、多能行於日用間者、實驗室內功課之

功效也。學生在實驗室之功課、與誦讀室內不同。一則專重試驗、考察未知之理。一則專重領悟、理會已發之蘊。

試驗之事、令學生自爲之最佳、苟能合法不誤、則可爲最良之教師。茲言試驗

總訣數端，以爲學者之一助。

第一 記事簿 學生宜各備堅緻合用記事小簿一冊，凡可試驗諸事，皆記之。合法之記事簿，甚可貴，但必須真確不誤。

第二 確實謹慎清楚 欲求記事簿之真確，則必先求試驗之功課，真確不誤。如試某物，須用三瓦，則必適爲三瓦，勿稍過，用 3 i 瓦，亦勿稍缺，用 2 9 瓦。觀察必至確，而後記載。且欲試驗之有用，必息心屏慮，物有定理，不容少誤。厥例偶乖，試卽不驗。記載時，字句尤當清晰，庶已所得者，他人亦可一覽而知。

第三 重驗 學者試過一次，勿遽自足，必再三試驗，俾事理爛熟於胸中。若草率了事，心中仍未瞭然，是所大忌。

本書所列試驗頗多，學生縱未能盡演，亦必得其大半。且凡試驗，必須貫徹終始，得其要理，始能積久有得。立二綱如下，循而行之，既省光陰，且無舛悞。

⊙ 先將書中所言試驗之法，首尾細閱，知此次試驗之命意所在，所求何事。蓋當注意者，乃命意而非效驗。試驗時，不宜以效驗先存於心目之間也。

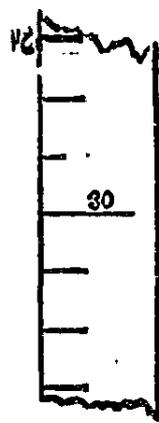
◎ 列記事簿之法，宜分層次，舉其大要如下。(甲) 試驗之命意。(乙) 用器與試法。  
 (丙) 所見之現狀。(丁) 決斷之語。

### 實驗室功課

一 於記事簿上某頁，用鉛筆作二黑點，於頁邊二隅，度其纏數五次。其試用適當之各段，緊列紙面，且將所得之數，列成左表。

試驗次數	叩點	吃點	距
一	2 纏	2 7 3 1 纏	2 5 3 1 纏
二	3 纏	2 8 3 0 纏	2 5 3 0 纏
三	5 纏	3 0 3 2 纏	2 5 2 9 纏
四	8 纏	3 3 3 2 纏	2 5 3 2 纏
五	7 3 纏	3 2 5 9 纏	2 5 2 0 纏
			中數 5 (1 2 6 5 1 纏)
			2 5 3 0 2 纏

表內第二行第三行、為各點所在處、觀尺度而得其數。第四行為其距、即上二行數相減而得者。五次之中數、即二點之真距也。第四行距之差數、係假設、故相差頗大、至實用、則除尺度不準外、決不至此。



第三行內、第一位小數為耗、即適當上最小之分、第二位小數、即耗之十分數。凡物理學度量工夫、常以估視耗之十分數為要事、學者宜實行之。如第一圖為適當尺之一份、吃為第三次試量之地位、尺上之

圖 30 字、即表 30 耗、其上短畫、乃耗之十分數、即耗也。吃點非適在第三耗、則必估其所不及者、為耗之十分數、故得數為 30.29 耗。如以耗為準筒、則此數改為 30.29 耗。

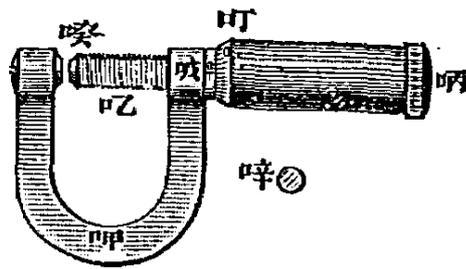
二 度上二點之距、不取其耗數、而求其吋數、既得之數、又變之為耗數、試觀其與表中第一次試度之數合否。

三 取未削新鉛筆一支、度其長之耗數、又度其徑之耗數、命其長為(長)、其徑為(徑)、由下式而求其體積、積 = 橫剖面 × 長、

但橫剖面 =  $\frac{\pi}{4} \times \text{徑}^2$  故積 =  $\frac{\pi}{4} \times 31416 \times \text{徑}^2 \times \text{長}$

將上所得之數變為立方糲數。

度圓規。度圓規者，所以度小球小圓柱之徑，得數最準。器如第二圖，呬為U

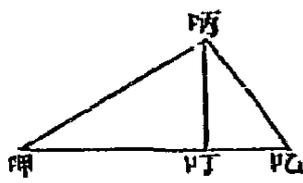


第 二 圖

字形之銅或鋼一片，有螺絲呬，穿其一臂。呬為其柄，可旋轉。呬字向右之一截，有直列分度數。叮字有圈列分度數。不用時，呬螺旋之端，遇呬字平面，二分度數皆合。如將呬體置呬與呬之間，令螺絲之端正貼物面，則觀呬與叮二分度之數，可知呬之徑若干。

四 取粗細不同之銅絲五條，度其徑若干，乃與附卷所列之銅絲表相比，辨明各絲屬第幾號。

五 取外國紙剪成兩三角形，邊皆正直，命其一邊，如第三圖內之呬呬為底，其對角為呬，自呬至底作垂線呬叮，乃按面呬呬呬呬之式，計其面積，求得兩三角形面積之後，再用精巧天平，衡得二者之重，試考其與下列比例合否。第一體積：第二體積 = 第一面積：第二面積。

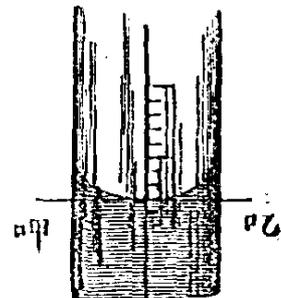


第 三 圖

六 衡水五百瓦，以蒸水為佳，再傾入立方糲計數之量杯內，觀其果否為五百立方糲。

凡觀量杯分度數、宜令目與分度數齊平、且循水凹面之底唱其數、如第四圖之呬吃。

七 用度圓規、以得腳踏車內所用鉛丸之徑、按積  $\frac{3}{4}$  万未之式、求其體積、再衡之、試求其重與同積水重相比如何。凡觀分度數、必取數次所得之中數。



第四圖

第二章 物質之性

公性獨性

論物質之性、當先辨性有僅屬物質者、亦有僅屬於體者。

公性者、物質普有之性、如立積、析分、不相入、微隙、躍力、質阻之類。

獨性者、數種物質合有之性、如摻性、韌力、硬性、箔性之類。

立積與體質爲公性、已於上文論度量之準箇時及之。

不相入

性、而非體之性。

物質若干、佔有地位、別物同時不能與之並在也。此乃物質之

試驗第一 取一量杯、貯水至若干高、觀其度分。乃插玻璃桿之一端入水內、再觀其度分。前後度分之較、卽玻璃桿所壓開之水、亦卽此桿浸入水內一段之體積也。

試驗第二 取一玻管、長半呎、貯水半滿、加入醋等分、誌其上面所至之處。然後倒置此管。迨二液質融和已透、再視其面所至之處、則較前爲低。試言其故。

試驗第三 注醋於大試管內、迨半滿、誌其面所至之處。更以若干鬆棉花、緩緩浸入醋內、其面不至升高。此試驗所顯何事。

三

**微隙者**、謂物質之諸合點、非適能充滿全體、其間乃有無數空隙。前文諸試驗有足證此性者。

物體之微隙、有易見者、如麵包、海絨、桴炭之微隙、有目不可見者、爲物理學之微隙。如液質金石之微隙、石之微隙、可以文石吸油證之。金類有微隙、可以其受大力而壓縮證之。

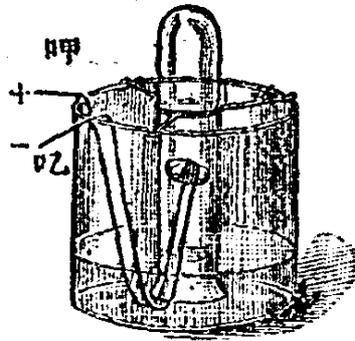
試驗第四 取玻璃杯三、一滿盛黃豆、一滿盛細鉛珠、一滿盛水。將鉛珠傾入豆杯內、搖之、令鉛珠入豆之空隙、而豆之面不增高。迨鉛珠不能再傾、則注水於豆杯內、令上升至豆面而止。試觀三杯所盛之物、其大半已并在一杯。此可表物質之何性、其功效與第二試驗所得者何別。

試驗第五 取玻璃杯二、一滿盛清水、一滿盛已沸冷水。同置於臨窗日光下、一小時後、見一杯內遍粘小氣泡者、爲何杯、其理如何。

三  
**縮性** 一體受壓力而變小、卽謂之能縮。此性專視微隙、氣質最能縮、定質次之、液質則幾不縮。

二四

氣受倍壓力，則積減半。水受倍壓力，祇縮全積二萬分之一。  
**不滅** 物質因體變而呈各象。又因化變而與別物化合，或化分爲數物，然其本體不能燬滅。



試驗第六 取日耳曼銀第三十號絲一條，長約二三寸，二端各  
第 銲連二十四號銅絲一條，長各十寸。將日耳曼銀絲繞硫一塊，置  
五 之試管內。倒置試管，令其口沒入杯水之內。如第五圖。全移置天  
圖 平盤內，於彼一盤加法碼，衡平後，令甲乙二銅絲觸電池之二極，  
硫即燃而不見。然輕重不變，故可證其體不滅。

二五

**析分** 物質之析分，直無限止。以理想言之。當分析至合點，然實際則不能。

試驗第七 衡品紅一毳，消之於一罈水內，其顏料雖祇佔地百萬分之一，然每點可見  
其色。試加水至倍，再觀其功效如何。○或用安尼林黑顏料，以代紅顏料亦可。

**質阻者**，一體欲留其固有之靜性或動性是也。一體靜時，非加外力，

二六

否則因本體與別體互有關係。如置磁針近鐵，則顯振動之狀。

試驗第八 小口瓶上橫置一紙片，其上擱一鉛丸，正對瓶口，以指彈紙片之邊，紙直出墮地，而鉛丸落瓶內。試言其理。

試驗第九 以繩懸重物一方，繫以細線，急牽之則線中斷，緩牽之則物微動，屢牽之合法，則可令物擺搖。試言其理。

質阻常令事物破損，如移碗太速，則翻其內之汁，火車停止太速，則坐客驚，人自疾馳之車下躍，則必傾仆，皆此理也。

躍力者，物受外力，改其體積或形狀，而仍欲復原之性也。躍力分爲數種如下，其各式外加力，附見註語。

(甲) 凸力，爲所壓力者

(乙) 凹力，爲所牽力者

(丙) 彎力，爲所曲力者

(丁) 絞力，爲所旋力者

試驗第十 (甲) 取象皮球、二手夾之使扁、一釋手、即復原形。其理何在。

(乙) 取象皮圈、套於書外、則書不開。何歟。

(丙) 取鯨骨一條、插一端入木塊內、彎彼端令曲、釋之則搖擺往來、久而復原。其故為何。

(丁) 取方尺木塊一、中鑽小穴、廣四分寸之一、入木釘一、露其尾二三寸、另取象皮管一條、一端套於木釘、縛以繩、懸一端成垂線、手轉木塊、則旋回反轉、終復原位。試言其理。

體受外力之逼壓、改其形體、而不能復原、則謂之已過躍力之限。有數種物體、需大力以改其形、然躍力仍甚大。象牙與大理石、均極有躍力。

試驗第十一 取煤黑油、和以煙灰、令成漿、塗一薄層於鐵片或石片、取大理石球穩置其上、則球與石面相觸處、僅少許。設令球高六七尺下墜、則見其躍起甚高、且與石相觸處增大、觀油上之痕可見。試解其理。

結力粘力。結力者、同類體相吸之力也。其施行之距甚微、此為合隨熱度之增而減少。

異類體相吸之力曰粘力、與結力並無大異、亦不必析為兩名。定質具三力最

二

富、故能堅固而成定形。液質之結力、不足以定其形狀、惟於極小點顯爲球形。氣質之結力、則更微矣。抑粘力多大於結力。如二木板以膠粘合、二磁片以膏粘合、及再碎時、大抵不在粘縫、而在板片別處。此其證也。細粉可壓成定質。如磋玉之輪、乃以寶砂粘合而成。象皮一塊、截爲二片、緊壓之、仍可合併。

試驗第十二 取窗玻璃二片、疊而平持之、試祇持上片、則下片能不落否、二片之間、洒水數滴、再疊并之、舉上片、則下片隨之而起。試解其理。

試驗第十三 用利刀割二鉛丸之底、令其面平正、而合并之、壓之使緊、則有何效、并言其理。

元

韌力者、體與裂碎力反對之性也。韌力爲結力之效驗、凡物韌者、其結力必大。韌力如斷重<sub>之即</sub>斷<sub>重</sub>。正變、又如其橫剖面反變。例如異質同徑之二絲、一則重五十斤可斷、一則重百斤乃可斷、則二絲韌力之比例、如一比二。又如同質之二絲、其橫剖面、一爲一方耗、一爲四方耗、俱爲等重所斷、是則二絲韌力之比例、如四比一。

試驗第十四 割瑪尼拉紙、長二十五糵、寬三糵、二端圈轉黏之、成二圈、各穿木桿一條、桿之二端、又各繫以堅繩、此端繩圈、懸於一釘、彼端繩圈、鉤一銅絲鉤、下懸馬口鐵空桶一、將沙緩緩傾入甯內、迨紙斷而止、然後秤甯與沙、合計之、定其重數、再割一紙條、長與前等、寬五糵、再試之、觀二紙所能任之重、果合三：五之比例乎。

故斷重之數、以橫剖面約之、得韌力之係數。故體之橫剖面設為一準箇、則其所加之斷重、即韌力係數也。

同料質之諸體、其韌力依其體之狀而不同。如空管與實圓柱體、其體質之橫剖面同、然空管之韌力較大。又方圓二絲之橫剖面等、然圓絲之韌力較大。韌力久任重則減損、故一絲初可懸若干重、日久竟斷。且韌力因熱度之升而遞減。

箔性者、物質能砸薄或軋扁之性也。黃銅可砸之使薄於紙。造金箔錫箔、專恃此性。金箔最薄者、可透光。

捲性者、物質可捲成絲之性也。金類捲性最大者、為鈇、可捲成細絲、徑祇百

三一

三十一

萬分之三吋製法、用細鈦絲裹銀、猶鉛筆之以木裹鉛、抽為極細之絲、鈦仍為銀所裹、乃浸之強酸內、蝕去其銀、所剩之鈦絲細甚、必用顯微鏡乃能見之。有人曾將玻璃抽成極細之絲、長一哩、重祇三分嘯之一。

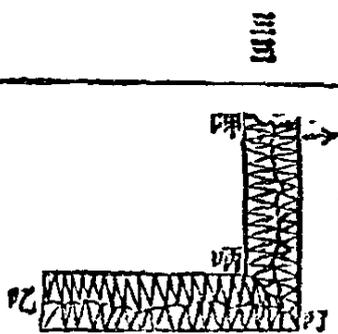
試驗第十五 取玻璃一條、長約十糎、持其二端、令中段燒於本生焰內、待其變櫻紅色、離火、細心牽之、令長而細、然仍為空管、可以一端浸入水內、吹氣驗之、復燒如前、牽之較速、試觀管抽至極細、吹氣能透過否。

**硬性者**、物質不任他物刻畫之性也。此為連絡性、故世間無全硬全軟之體。玻璃雖硬於蠟、然視金剛石則軟、金剛石為天產物中之最硬者、其屑可以磨

石。脆性不可誤為硬性、如鋼硬而韌、玻璃則硬而脆、

**粒性** 有一種物質成消汁後、有結顆粒之性。金類鎔後、冷

而凝結、亦成顆粒。鉦之顆粒頗大、可以證明此事、取鉦一塊、鑄成木工所用曲尺形、則其顆粒自外向內、遇於中線、如第六圖、如緊持吃可、在呷按箭向施力、則必斷於呷可處、因顆粒既自



三

三

範之外邊向內、遇於此線、故此線名曰弱線。

試驗第十六 作鹽之消汁、至飽足、註見後貯之玻杯、置靜處、越數小時、則見汁面結小立方鹽顆粒。過二十四小時、則見顆粒成羣、浮於其面。輕輕取出、倒置之、則成一小塔、方正可觀、試解其成塔形之理。

試驗第十七 作鹽之消汁、至飽足、貯茶杯幾溢、置杯於茶碟內、移靜處、越數日、鹽之顆粒、已延出杯外、黏碟及杯之外邊。○此試驗可小變之、以色料少許、添入消汁內。

試驗第十八 作礬之消汁、至飽足、懸一線圈於其內、圈之二邊、至少須相距一吋。置靜處、過數日、見線圈之上、黏附礬顆粒、可取出收藏之。○其顆粒與鹽之顆粒同狀乎。

注 消汁飽足者、謂汁內更不能再消此物也。如置鹽於水內、攪之若干時、有鹽剩下器底、即知消汁已飽足矣。消汁之水化汽、即結顆粒、增消汁之熱度、可令多消物質。消汁冷後、結顆粒甚速。

## 習問

一 欲注液質入瓶內、則必用漏斗、如漏斗緊合瓶口、毫不洩氣、可乎、并言汝答語之理。

二 西國寫字紙或蠟與印水紙或連有何不同。

三 氣質受壓逼則其合點之大小有變然合點之相距有變乎。

四 雜白石粉即粉筆於水內濾之再消鹽於水內濾之濾過之液有何異并言其故。

五 飛輪令機器之動有恆何也。

六 馬車輪有象皮空管為廓者較乘硬廓者為穩何也。

七 灰沙即結磚壁失其結力則如何。

八 麥桿何以中空。

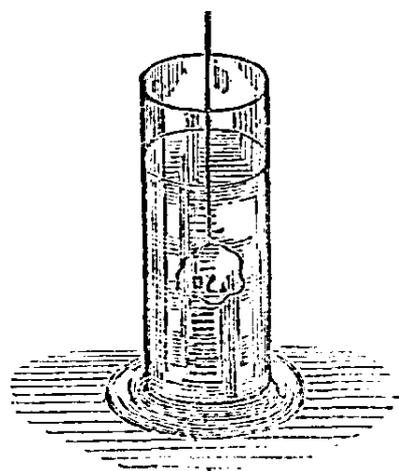
九 木料按其橫紋直紋韌力孰大。

十 鍛鍊何意。

### 實驗室功課

一 以量杯貯水至若干高記其分度以一線懸石浸水內之七圖再記其分度出石傾水少許抹石令乾再浸入內觀其分度如此五次所得之分度列表記之求其中數以

第七圖



推石之體積若干。

二 削桴炭爲有形法、度之、推得其積、復衡其重。以線繫重物、令全沉杯水內、納杯於抽氣筒之鐘式罩、如第八圖抽出空氣。至桴炭微隙內所含之氣、無可再抽、乃放氣入罩、取出桴炭、抹乾再衡之。按其與前數之較、推其微隙之積、求炭之真體積、與其似體積相比如何。

三 一繩之末、縫一重物、物底又繫一線、垂於其下、緩緩用力牽下線、則繩與線孰先斷、驟牽之、則孰先斷。試言其理。

四 平置一木板、廣一呎、長半呎、鋪細沙其上、另備長短粗細不同之小木柱若干段、使矗立板面、驟擊板之一面、則小木柱盡倒否。○何故。○又試擊其對面、則木柱傾倒之方向、與前同否。○何故。○地震撼動之方向、及其震勢之緩遽、可用此等簡器定之。

五 如第九圖、作木桿、長約二呎、剖面一方、另於柱上、釘橫桿二、如吃與兩、令其位置合宜。桿用尖劈塞夾定、桿近末處、作一十字如叮。另製金類活套一、移於桿上、下懸一

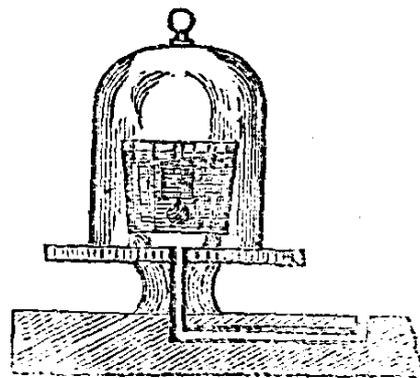


圖 八 第

天平盤。又將適當桿一、裝以底板、使直立不墜、如呻。其上裝一活指件吧、以指叮之所在。乃迭觀叮所指之分度、初則盤內無重量、遞次加至若干重、將屢次所得之分度數、表列之、以求桿長不變時、其俯度與所任重之關係。

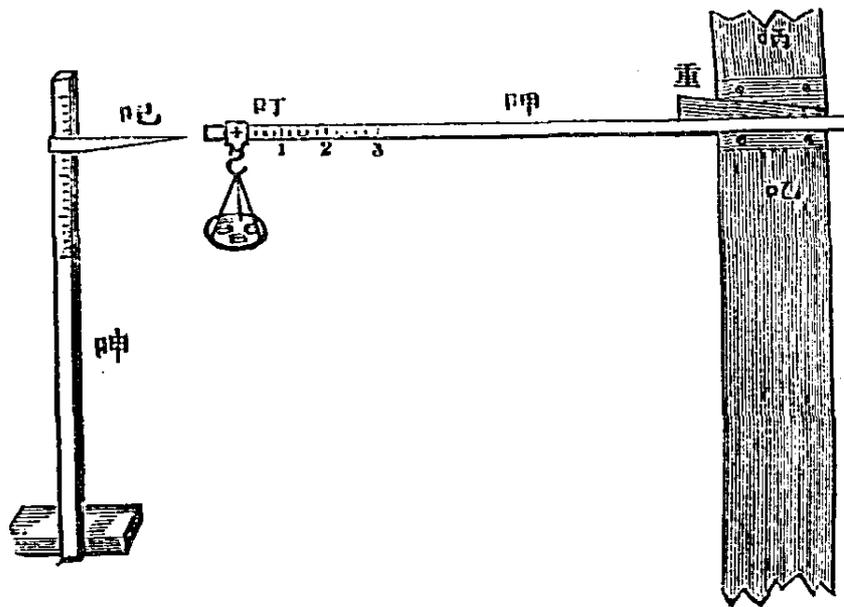
第二次更試以求任重不變時、桿之俯度與其長短之關係。

三四

### 曲線記效法

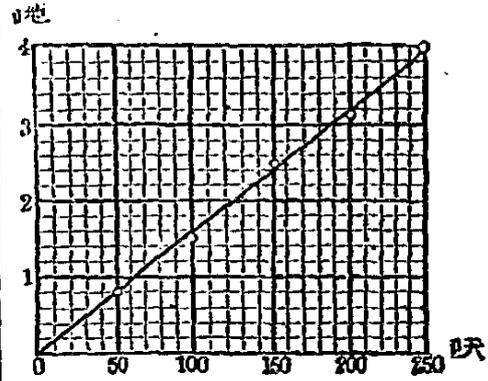
試驗所得功效、以曲線法記之、最清晰亦最合宜、故詳言之。

先備記錄紙、首立正交縱橫二軸、橫者曰呌軸、縱者曰呻軸、如圖中之右列者、作諸直線、各與二軸平行、其距互等、每



第九圖

5	4	3	2	1	負重
250瓦	200瓦	150瓦	100瓦	50瓦	
4.0	3.1	2.5	1.5	8	俯度之槓數



第五線、較別線爲粗、以便記認。如左列表中之數、爲上文第五功課第一次試驗之功效。

定以紙之左下隅爲圈、於呖軸上、度負重之數。於吡軸上、度其相當之俯度。設命呖軸上每五格爲五十瓦、吡軸上每五格爲俯度一槓、是則曲線上之第一點、乃在五十線向上至八槓之處、即吡軸上第四線之交點。此交點以一

小圈誌之。其餘諸點仿此而定。連諸點成一線、即所求之曲線也。

試驗時所定之點愈多、則其求得之曲線愈密合、第五功課之曲線、實祇爲直線耳。是表桿之俯度與任重有正比例也。

觀此曲線、又可易得試驗所未定之點。設欲求任重一百八十瓦時、桿之俯度若干、

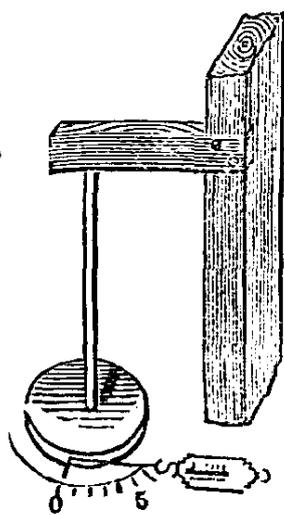
則可循呔軸之一百八十點，而循縱線，至其與曲線之交點，則循橫線至呔軸，知其分度為二八八厘。

曲線記效之法，行用日廣，學者宜熟習之。暇日可預備記錄紙，以待臨時之用。外國文具店，皆有此等紙出售，在中國則必自備也。

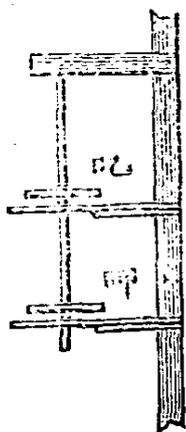
六 取木桿一，徑四分之一吋，割之長二呎。上端膠黏於架上，直垂不墜，如第十圖。下端膠粘於圓木板之中穴，板之徑約一呎，用細釘一，釘入板旁，又繫以繩，其末連一簧秤。手拉此繩，令其長與圓板為切線，而觀拉力

與圓板所旋轉之角度，有何關係。○并將試得之關係，編成例語。

七 取一圓木桿，較前更長，設為三呎。上端膠黏架上，與前法同。下端連二圓板，如第十一圖。呔近下端，吃則近中央，連以繩與簧秤如前。當二板旋轉之角相同時，觀其拉力與呔吃二板距倚點之數，各有何關係。



第十圖

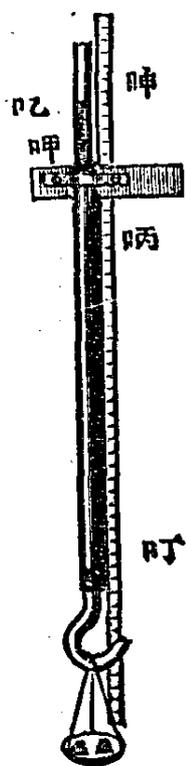


第十一圖

八 將第十八號黃銅絲、繞於徑四分吋之一之木桿、成一螺旋法條、其長為六吋、曲其  
 二端令彎、向中央軸處、二端各作一圈、取其一端懸之、下端不懸重、背後直立一適當桿、  
 以觀其下端之分度若干、次於下端懸一天平盤、內加砝碼、令全重為一百瓦、再觀其下  
 端分度若干、再加砝碼、令全重二百瓦、觀其分度、以後遞增一百瓦、各記其分度、將屢次  
 所得之數、列成一表、作一曲線、以表法條伸長數與繩重之關係。○并解釋其曲線。

九 取橡皮管一、長約二呎、二端各插入木桿一、長三吋、以線紮緊、距紮處二吋、二端各  
 誌一黑點、將木桿一端裝架上、令管直垂、下端之木桿、連一天平盤、管後、豎立一適當桿、  
 以定二黑點之度分、加一百瓦重於盤內、再視其度分、以後遞加一百瓦、視其度分、將所  
 得之數列成一表、且作曲線、以表繩重與管伸長率之關係。

十 取橡皮管一、長約二呎、一端插入玻管、以線紮緊、如第十二圖法、將此端裝於架上、  
 下端連一銅條所製之鈎、次乃注水入  
 管、令至呷處、且記所注入者為若干立  
 方糲、再注若干立方糲水、令水平至呷、  
 即可按呷尺之數、而定其每一分之立



圖二十第

方糲數、又於橡皮管上兩叮二處、誌二黑點、觀其分度若干、并視水柱面之分度若干、按前法下端加重而得其度分、列成一表、作曲線、以表伸長率與管積之關係。

十一 試絲之斷力若干、可作簡便機器、如第十三圖、將絲裝上、令一生搖柄、以增牽力、又一生觀簧秤、而得其斷時之力、將第二十七第三十號銅絲、各試五次、以得其斷力之中數。○度鋼絲之徑為若干、以推得其橫剖面每方糲所有之斷力若干。

十二 作鈹養 = 炭養 = 之飽足消汗、注少數於淨玻片上、并以小桿調之、成扁圓形體、置之靜處一夕、明晨以簡顯微鏡窺之、即見有小顆粒。○按此法製影戲畫片、用射影燈即可映於屏上。

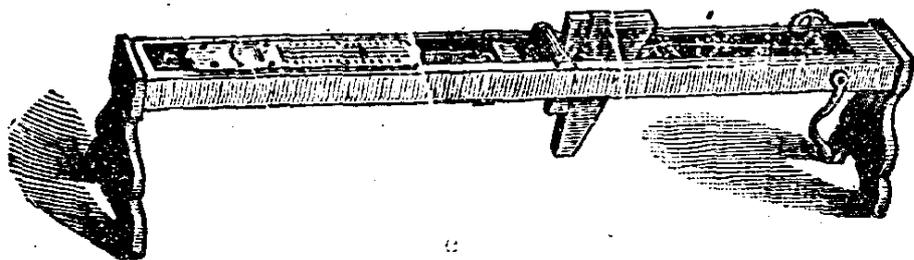


圖 三 十 第



## 第三章 定質重學

### 一 動 速率 力

三五  
重學論力施於物體之作用，可分爲二大別，曰靜重學，曰動重學。靜重學論不致動諸力之公例，動重學論致動諸力之公例。如祇論動而不究其載動之物體，及致動之力者，則概曰動學。

三六  
動 一體常自此位移至彼位，則謂此體爲動。如其地位常存不變，則謂此體爲靜。然靜與動，祇連絡語耳。一體在汽車上，雖若爲靜，然自地觀之，則其動甚速。又如一體在地面，雖如靜止，然自日球觀之，則其動不已。一體之動，常循直線者，謂之直線動。常變其方向者，謂之曲線動。然在天空，有一體自某點移至別點，決不能不變其方向，故決無真直線動。如石自氣球墮向地心，視如直線，然因地之繞日，常行不止，故石之墮路，必爲曲線無疑。但於尋常實用之間，可以不計，祇按一室或地面而論，謂體行不變向者，曰直線動。

三七

可也。如一體以等時行等距，則謂之平均動。如距不等，則謂之不平動。

**速率** 動體所行過之定率，謂之速率。如為平均動，則其速率為體於每時準箇內所過之距。如為不平均動，則任一時之速率，不變於時準箇內當行之距。

設一體之速率，每時準箇遞增，則為漸加速動。漸加速每時準箇相等，則為平均漸加動。

如速率遞減，則為漸減速動。如漸減速為平均，則為平均漸減動。

一體之中，速率，即於某時內過某距所需之速率也。而其實速率，不妨為數種不同之數所合成。

三八

**度量速率** 物體所過之距，有二要素，即速率與時是也。

汽車每小時行二十哩，三小時則行六十哩，故有下式。

$$\text{距} \parallel \text{速時}$$

(1)

由此式可推得速與時之式如下。

速 || 距  
時 || 速

### 漸加速

一體之動其速率平均漸增則所增者曰漸加速。如初秒動五尺次秒七尺第三秒九尺則其漸加速為二尺。

設一體自靜而動有漸加速甲則在時秒之末每秒之速率為

$$\text{速} || \text{甲時} \tag{2}$$

由此式可得甲 || 速 又時 || 甲<sup>2</sup> 二式。

時秒中速率為 $2 \frac{\text{距}}{\text{時}}$ 則體所過之全距為

$$\text{距} || 2 \frac{\text{距}}{\text{時}} \times \text{時} || 2 \text{甲時}^2 \tag{3}$$

由此式可得甲 ||  $2 \frac{\text{距}}{\text{時}}$  又時 ||  $\sqrt{\frac{2 \text{距}}{\text{甲}}}$ 。

將(2)(3)二式合之可得

$$\text{距} || \frac{2 \text{速}^2}{\text{甲}} \tag{4}$$

由之得 速 ||  $\sqrt{2 \text{甲距}}$ 。

$$\tag{5}$$

於(3)式內命其時為1秒則距 $\parallel 21$ 甲即表一體自靜而漸加速動在首秒之末其所過之全距為漸加速之半。

體於任一秒<sup>之即末</sup>內所過之距可以時秒所過之全路減其少一秒時所過之全路而得之。夫時秒所過之路<sup>式見</sup>距 $\parallel 21$ 甲時而(時1)秒所過之全路為距 $\parallel 21$ 甲(時1)<sup>2</sup>。故其較為

$$\text{巨} \parallel \text{距} \parallel 21 \text{甲時} \parallel 21 \text{甲(時1)} \parallel 21 \text{甲(2時1)} \quad (6)$$

**動力** 一體質以速率乘之所得者曰動力。按糲瓦秒法動力之準箇為巴勒即一瓦物質按每秒一糲之速率而行之動力也。其式為

$$\text{巴} \parallel \text{體} \times \text{速} \quad (7)$$

英國舊用呎磅秒法準箇並無定名實則一鎊物質按每秒一呎之速率而行之動力也。渡舟動力似緩然有巨動力試觀其撞碼頭之勢即顯。○試言其理。**鈕敦動力之定例** 英國著名格物家寶星以撒鈕敦研究動理設為三定例如下。

四二

一 各體苟無外力加之則必恆欲保其靜性或以平均動行於一直線。  
 二 動之變與所受之力有比例且在力所施之直線內改變。  
 三 凡用力必有相等而反向之抵力。或曰反力

**鈕敦第一例**

一體置某處閱若干時倘不在原位即知已加外力移往

他處矣。然當一體動時無實在之試驗可證其欲按直線行而不止如例所言。凡在地面體動必有阻力即所謂外加之力也。設減其阻力令極小則動時亦可延久。試以一球初滾於地面次滾於地板上又次則滾於冰上所用之力雖同然因阻力遞減故動路遞增。

四三

**鈕敦第二例**

此例可以簡語易之曰凡力施於一體必有功效無問其

為獨施或與別力同施也。欲明此例必先論力之性與其度法。

**力**

凡足以致一體之動或變其動或減其動者皆力也。欲明致動力之大

小則必先計所動體之體質及其於時準箇內所有之速率。夫速率既為漸加速故力之式為

四四

力 || 體甲。

度力可用二種準箇、曰極準箇、曰攝力準箇。

極準箇 設施力於一準箇體質、令有漸加速一準箇、此為力之極準箇。按

糲瓦秒法、此準箇名曰達痕、即施於一瓦物質、令每秒有一糲速率之力也。達

痕之數甚小、於推算時、求免繁數之累、故用其百萬倍數、曰梅格達痕。按呎磅

秒法、則其準箇為磅達、即施於一磅物質、令每秒有一呎速率之力也。

攝力準箇 度力之法、更可與一定體質比較而得之。在美之紐約克城、

地心攝力施於一磅物質、令有每秒三三、一六呎之速率、故攝力準箇之一

磅、即略等於三三、一六磅達。同處之地心攝力、施於一瓦物質、於一秒內可

墜九百八十糲、故攝力之準箇一瓦、等於九百八十達痕。地面各處地心攝力

不等、故攝力準箇常變而不定。

力之代表法 如體受一力感動、其經路必正直、可以直線表之。夫力之

要事有三。

四七

四六

四五

- (甲) 施點。
- (乙) 方向。
- (丙) 大小。

力可以線表之、其起點即力之施點、其方向與力之方向同、所至一定之距、即表力之大小。  
 速率與動、俱可以此法代表之。實則力之代表法、即力所致動之代表法也。

**合力** 二力同時施於動體之一點、則體所行之路、視此二力之方

向與大小。二鈕 例 第

(甲) 二力同向。設以二力施於一向東之動體、其一每秒速率三呎、其二每秒速率二呎、取呎點為體所在之位、作一直線呎天、第 四 十以表二力施之方向、取使用之度分、度呎呎為二呎、呎呎為三呎、故呎與呎為表二力分施時體在一秒內所當至之二方位。今二力既合施、故



第 十 四 圖

其方位當在可、距呬五呎、呬呬與呬呬二力、可以呬可一力代之、此即

所謂功效也。合施之二力曰原力。

二力同向、按一直線而行、其功效即二力之和。

(乙) 二力反向、設二力同施、東西異向、如第十五圖、是呬呬力必反

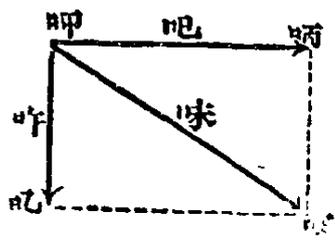
對呬呬力、而其功效為其較呬可明矣。

二力循一直線、反向而施、則其功效為二力之較、依

大者之方向而行。

(丙) 二力相交成角、諸力之平行方形 (一) 設

施呬力、與呬力正交、是在呬之體、將向東行呬呬距、



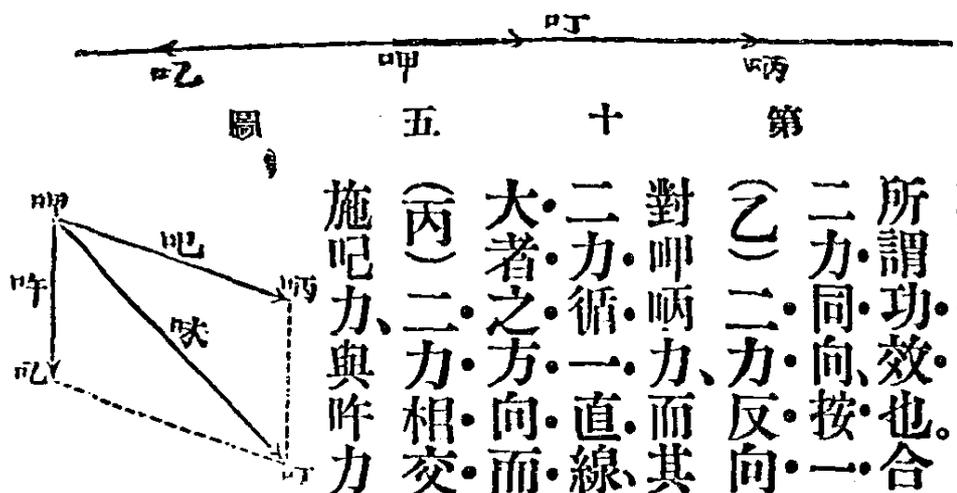
圖六十第

亦向南行呬呬距、故至一秒之末、則在可處、呬呬

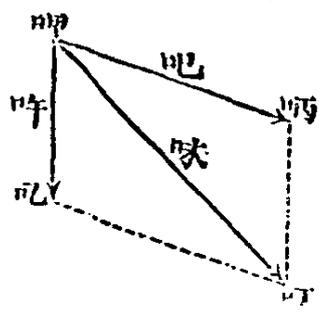
呬為平行方形、體所行之路為呬可、即呬呬二力

之功效也。第六十圖

二設呬力之施向與呬力成呬呬角。第七十圖 試繪



圖七十第



圖七十第

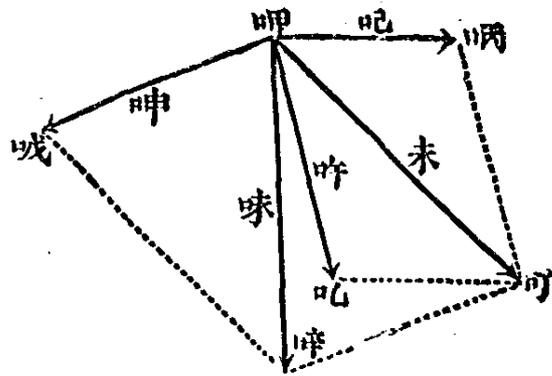


圖 八 十 第

成其平行方形而定叮點所在是則呷叮即所求之功效也。

凡二力互連成角則將二力為倚邊成平行方形其對角線即二力之功效也。

(丁) 多於二力 任若干力之功效可按前法迭作平行方形求之。設有三力為吧呷呻第八圖同施於呷體先作呷呷叮吃平行方形是則得呷叮為吧呷二力之功

效。再作呷叮呷噉平行方形以求未與呻之功效味。是則呷呷即味為吃呷呷三力之合效也。

**等力** 諸力之等力即等於諸力之功效而反向之力也。如諸力與其等力同施於一體則互相抵而體不動。可以十九圖表之。圖內之吧呷二力與等力噉相抵令呷體定而不動。

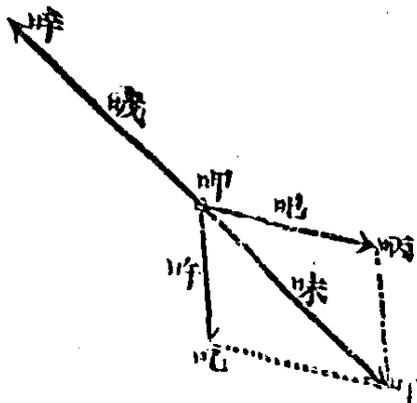


圖 九 十 第

五〇

### 諸力之平行方形實驗

試驗第十九 如二

十圖、叩與吃爲二鉤、連於黑板之頂、各繫一簧秤、叩與叮、次將二秤之鉤、并繫一繩之端於啐、繩下繩重、故啐點受三力而穩定。求二簧秤牽力之功效、可以啐之所在、及向啞叮之二線、並繪於黑板上、設啐丙代表啞秤之度分、啐丁代表叮秤之度分、成平行方形、則對角線啐癸、卽功效也。代表繩重之數、其方向爲垂線。

五一

### 平行力

此外尙有當論之事、乃二力或多力

按平行方向、施於堅體、而施點不在一處者。

如第二十一圖、設吧哞二力平行、施於堅桿之叩吃二點、二力之功效、必等於其和、方向與之平行、施點乃在啞處、卽叩吃之間、適合啞啞：吃啞 || 哞：吧之同理比例、其等力亦必施於啞點、功效等而方向

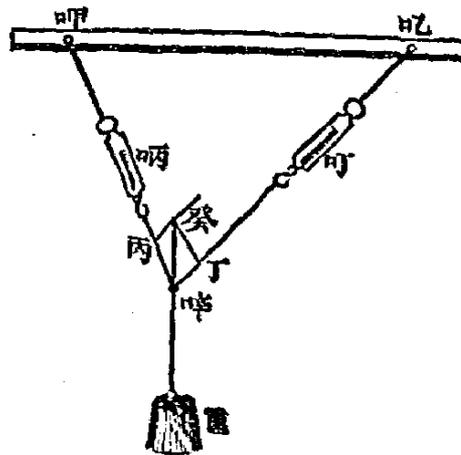


圖 十 二 第

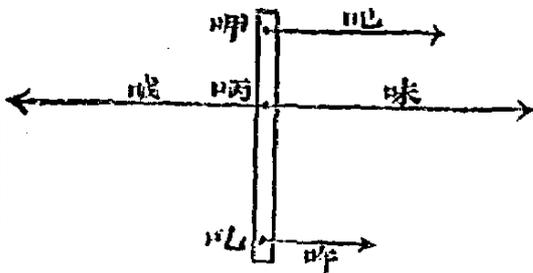


圖 一 十 二 第

相反。如吧呖二力相等，則施點當在二者之中間。

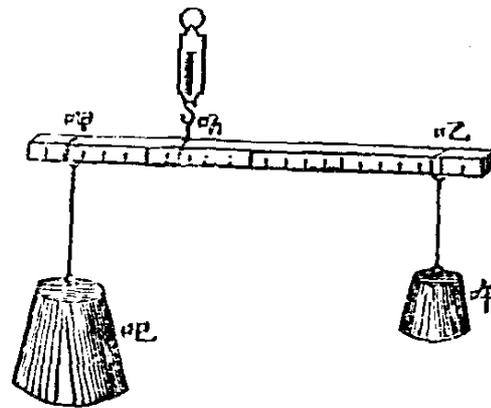


圖 二 十 二 第

試驗第二十 上文按同理比例以定施點，可以下法實驗之。取適當桿懸吧呖二重物，又以簧秤懸桿及重量，第二圖懸重之法，以繩維之，上端設小圈套桿上，可活動以定度分之位，待桿合地平而止。未試吧：呖 || 呖：呖 || 呖之同理比例以前，先以小重物維於短端，近呖之處，則於吧呖移去之後，桿之長端亦足與之相抵。故觀桿之分度，不獨可定吧與呖之和，亦可定桿與小重物之重矣。

上言之理，可用以定重物過橋時，橋礎所受之壓力。如第二十三圖，有重物虛，汽設車為過橋，自呖至吧，呖與呖所受之壓力，之又本加重橋自全重而至無重，又自無重而至全重，常有變更，但二壓力之和，恆等於汽車之重。

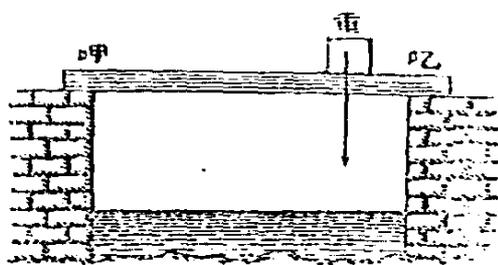


圖 三 十 二 第

五三  
力之不在同平面者 三力不在一平面內，而

同施於一點，則其功效，乃此三力為倚邊所成平行方體之對角線。設吧、哞、呻為三力，第四圖則吧與呻之功效為呷、叱、哞、哞平面內之對角線味。又味與呻之功效，乃呷、叱、哞、哞面之對角線呷、哞。即所求之合效也。

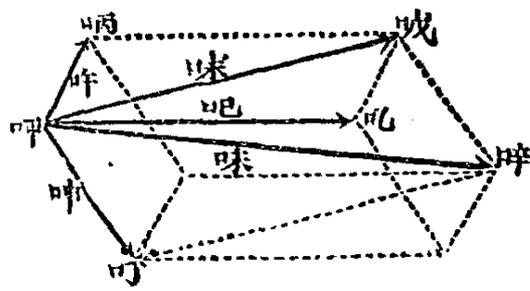
分力 合力之法，有原力而求其功效。分力之法，則有功效而求其原力也。其法有數種。

(甲) 有功效與原力之一，求餘一原力。如第二十五圖，設吧力與其原力哞為已知，求其餘一原力，則命吧為對角線，吧為其一邊而作成平行方形，其哞邊即所求之原力也。

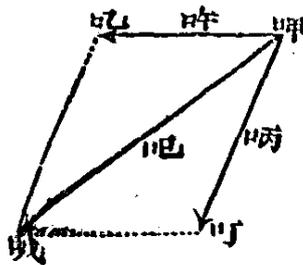
(乙) 有功效與二原力之方向，求二原力。

(丙) 有功效及二原力之大小，求二原力。

乙丙二法，學者可自得之。



第二十四圖

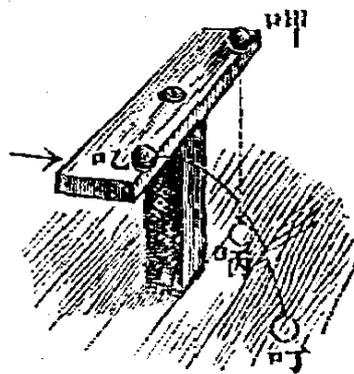


第二十五圖

### 鈕敦第二例之實驗

一體墜自高處，則依直線下行，其速度平均恆增，因攝力常施不已也。又設一體受彈擊之力，橫射，則必循曲線而出，因同時受二力之合效也。按鈕敦第二例，如彈擊之力適合地平，則二體之墜時必相同。

試驗第二十一 取半吋厚木板一條，長十八吋，廣二吋，用圓頭螺旋穿其中央，以連於立柱之頂。第六圖 設法令此板可循地平而旋轉。板之上，挖二小凹，置呷呷二小球，擊板之呷端，則呷球自落，直擊地板之呷點，呷球則直向前，然其一離倚點，即受二力之同施，一為橫擊力，一為地之攝力，向下直牽，其所行之路為呷叮。○二球擊地之時同乎。



圖六十二第

### 鈕敦第三例

此例之理，人習見之，如一盃觸几，則几之抵力，使盃破碎。泅水者，由鋼簧之板下躍，則深入水底，蓋藉板之躍力與抵力也。童子遠跳，必

立足於堅實之物、庶足肌用力時、有抵力助之。苟立於鞦韆而遠跳、祇能令鞦韆之坐擺搖、而其人則仆於地矣。

試驗第二十二 如第二十七圖、取三吋寬木板、二邊繫線、懸呷呷三球、令線過板旁所裝之軟木細縫、可伸縮諸線。令三球平列、牽呷球稍偏釋手、則其動傳至呷、又自呷傳至呷、為末球、故遂宕開、幾與呷球之偏離相等。○又可變法試之、多增數球、然後牽一球或數球偏離而放下之。

回動 試驗第二十二圖之呷球、持勿使動、則呷球擊後必回躍、此名曰回動。即呷球受擊時所顯之抵力也。如球無躍力、則擊別體時、別體之抵力、能使球平扁、觀濕泥丸落地可證。如球之躍力完全、則其回躍之路有定、而回角等於射角、是即回返之例。可以下文試驗證之。

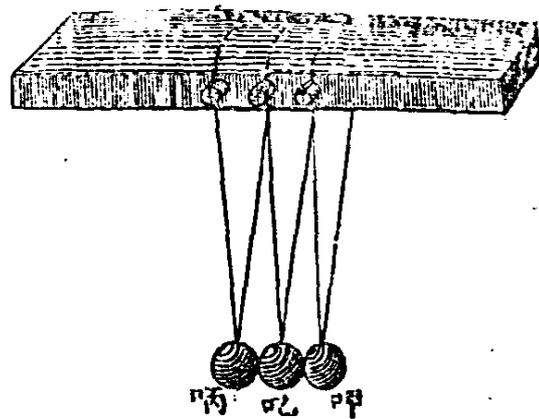


圖 七 十 二 第

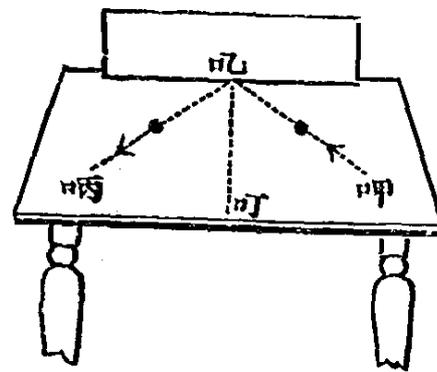
試驗第二十三 置木板一條於桌邊其後倚壁將球滾於桌面令循呷吃方向第八圖而擊木板自球所擊之點吃作吃叮垂線是則回角呷吃叮等於射角呷吃叮○球之路可於桌面洒粉筆之屑驗之。

**曲線動**

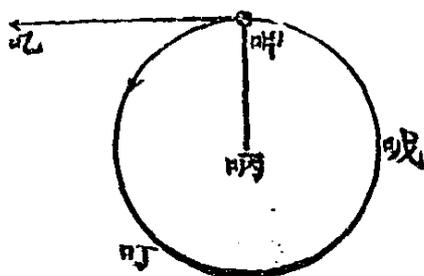
體動受一力之感則其路為直線如受二力之驟感則其路亦為直線設二力一為恆力則體之動路為曲線唯二力同循一直線而施者不在此例舉試驗第二十一之大理石球可以為證試以繩繫石而旋轉之則石所行成圓軌石本欲循直線行即切線呷吃第九圖有繩阻之令行呷吃曲線路。

**離中力**

繩牽石行圓軌時而石所顯之抵抗力曰離中力即因其體質阻性之故度量此力視



圖八十二第



圖九十二第

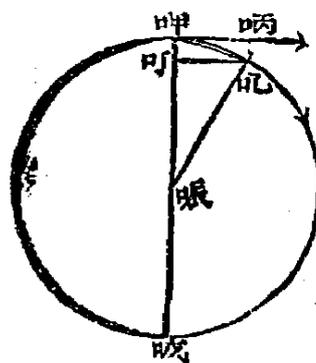
繩之緊勢可知。如以簧秤代繩之一截，則其度分，即表此力之數。力之大小，視動體之體質速率，及所成圓之半徑。其方程式為

離中力  $\parallel$   $\frac{v^2}{r}$  (9)

或

離  $\parallel$   $\frac{mv^2}{r}$  (10)

(9) 式為極準箇之數。(10) 式為攝力準箇之數。觀三十圖之理，亦可得(9)式。設有一體，其體質為(體)，以平均速率(速)而行於圓，以繞中心(時)秒內，所過之呬吃距，為距。速時，取(時)為無限小，則呬吃通弦與其直路呬吃弧相等。體受牽引，離呬吃而向喉行之距，為



第三十三圖

按形學理，

故

呬吃  $\parallel$  呬吃  $\parallel$   $2r \sin^2 \frac{\theta}{2}$  式見(3)

呬吃  $\parallel$  呬吃  $\times$  呬吃

速時  $\parallel$   $2r \sin^2 \frac{\theta}{2} \times 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}$

速  $\parallel$  呬吃  $\parallel$  呬吃  $\parallel$   $\frac{v^2}{r}$

凡

但故

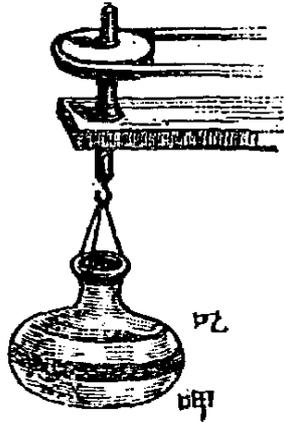
力 || 體甲。  
式見(8)  
離 || 轉速<sup>2</sup>  
牛

離心力之現狀

尋常所見離心力之現狀頗多。凡牽體向心之力、設

為體力所勝、則其體飛去、故其方向循圓之切線。如車輪之泥土四散、磨粉之四散、西人分乳酪之器、轉蔗糖使乾之器、皆此理也。

因離中力之理、故築賽馬圈、必令其外邊較高、築鐵路轉彎處、外軌亦必比內軌稍高。

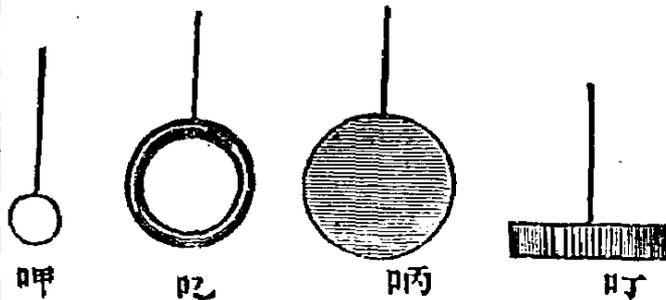


第三十一圖

試驗第二十五 去前球、而裝以第三十二圖諸具、甲為小金

試驗第二十四 轉輪機之下、

懸一扁玻璃球、如第三十一圖、注  
入水銀少許及色水、疾轉其機、  
則見水銀成一大圈、在最外邊  
如甲、色水則成小圈、在內如乙。



第三十二圖

類圈、吃爲大木圈、兩爲圓木板、自其邊懸之、叮亦爲圓木板、自其中心懸之。

### 習問

- 一 試作一圖明一體受二力、不在一直線內、其力一恆一驟、則體行成曲線之理。
- 二 試舉五體之動、按地面論之、指其孰爲直線動、孰爲曲線動。
- 三 設有快行汽車、三十分內馳二十哩、試言其首半哩之略速率、又第一哩之略速率、又末半秒之略速率。
- 四 一體受恆力、自靜而動、令其漸加速爲每秒五呎、(甲)則其行十秒全路若干、(乙)第七秒之路若干、(丙)十秒之末、其速率若干。
- 五 今有礮彈、重百磅、每秒行一千零二十六呎、又有貨車、重三萬一百磅、每小時行十五哩、二者之動力孰大。
- 六 一體重三冠、需若干達痕、始能使行四秒、每秒速率二十纏。
- 七 紐約革城有大理石一方、以簧秤衡之、重五冠、問其等於若干達痕。
- 八 十磅之力、爲若干磅達。
- 九 一千磅達之力、施於八磅之體質、爲時三秒、則其速率當若干。

十 有舟每小時駛行八哩、某水手自舟面升至桅杪、爲時半分、試作圖以表其所經空中之路、并計其長若干。

十一 設有三繩、連繫一圏、甲童拉第一繩、向北、用五十磅、乙童拉次繩、向東、用力七十磅、丙童拉第三繩、向某方、用若干力、恰使圏靜止不動、問丙童用力若干、并向何方。

十二 有人操舟、橫過一河、其廣四哩、舟之速率、每小時三哩、河水下流、每小時二哩、問必用若干時、舟乃至彼岸。

十三 前問內之舟子、欲按直線至對岸、則必向何方前進、且需時若干。

十四 有繩車向正東行、速率每秒十二哩、遇北風、速率每秒二十五呎、則風之遇車、爲何向、且其速率當若干。

十五 三力同施於一能動之點、甲力爲十六磅、使向北、乙力爲二十四磅、使向西、丙力爲五十六磅、使向南、求其合效之數與方向。○欲加力令此點不動、則其力當爲若干、且向何方。

十六 貨車前有二桿、連於橫軛、設一馬一任、每噸之一千二百磅、一祇任八百磅、則其二桿連於橫桿之點、宜如何裝置。

十七 二人扛三百磅重物、桿長十呎、間重物必置何處、方能使一人任全重五分之三、

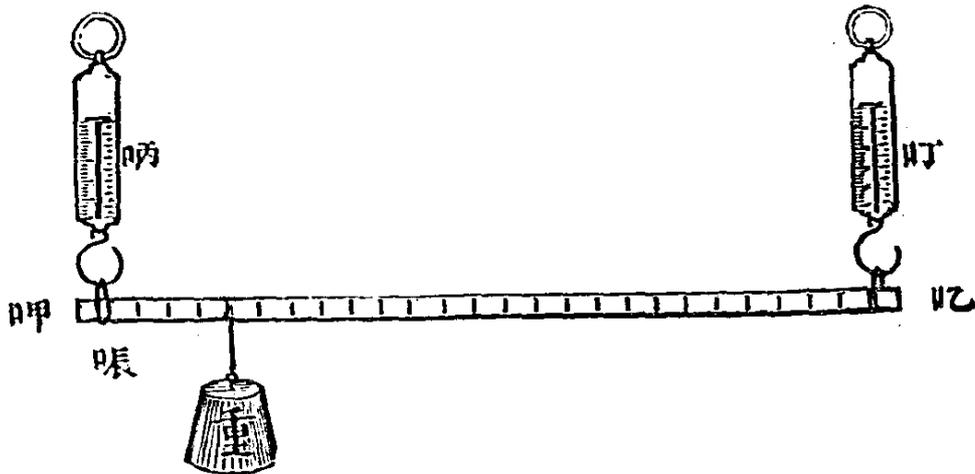
十八 泛洋巨船、向北行、每二十四小時、行四百里、則每小時向北行若干、向東行若干、

十九 今有力六十磅欲分之為二原力、其一已知為四十磅、與前力成角三十度、餘一力當為若干、且作何角。

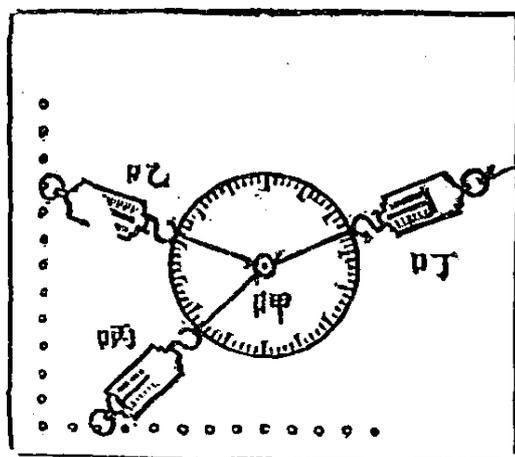
二十 有體重十六磅、行於徑八呎之圈、每秒行三十呎、則必若干壓力、乃使之不脫軌。

### 實驗室功課

一 如第三十三圖取輕而堅之木桿一、劃以度分、二端用兩釘二簧秤懸之、桿下懸重物(重)、觀二秤之度分、乃令重物始懸於左、正在兩秤之下、視其度分、遞漸移遠、迭記其度分如左表。

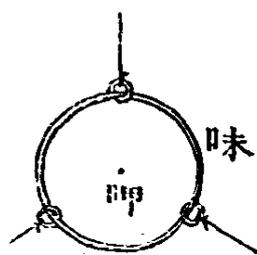


第三十三圖



第三十四圖

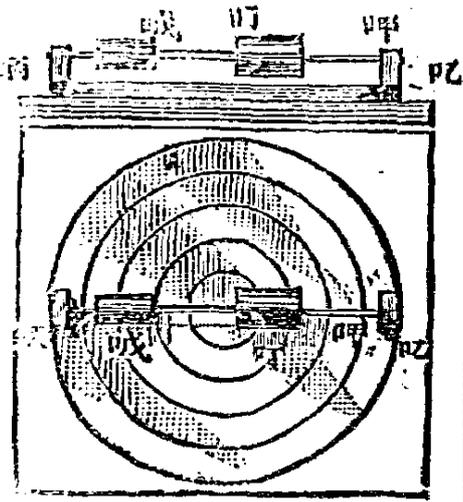
二 如第三十四圖、取木板一塊、方二呎、於其二倚邊距邊一吋之處、釘小釘一行、板之中間、釘一木釘甲、以爲中心、作一圓圈、對徑十吋、四周細劃度分。另取徑一吋之銅圈一、套以三小圈、各連一繩、如第三十五圖。繩之彼端、各連一簧秤、如乙、丙、叮、將乙與丙鈎於前所釘之小



第三十五圖

取縱橫格紙一張、作二曲線、於呒軸記(重)距振之數、於吡軸記丙與叮之度分、可於一紙上得二曲線、並不相礙、細玩殊有趣味。○欲得數之準合、則必扣除(重)未懸時桿所有之重。

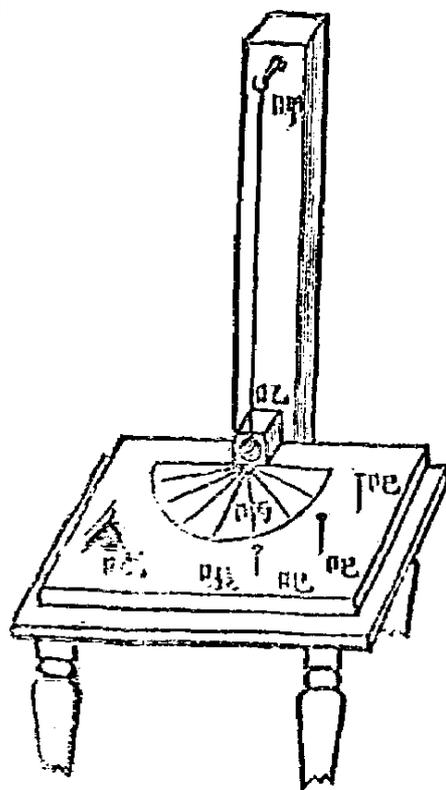
距振之數	丙之度分	叮之度分



圖六十三第

與吸、叮之重比吸加倍、中作細孔、適可穿過銅絲、二銅桿間、連以橡皮帶一條、緊貼銅絲、作等距之圈若干於紙上、釘之臺面、然後旋轉此臺、或疾或除、自上面觀圈、而知二銅桿相距、每次若干、能川此具以實證 9 式乎。○二體互連、則其所公繞者爲何點。

四 如第三十七圖、取方二呎之木板、一於其一邊之中央、裝一木塊吃、置此板於桌上、桌倚木柱或窗框、在



圖七十三第

釘上。乃牽叮秤合式、令大銅圈之中心、正爲木釘、叩、視秤之度分、并其相交之角度、由此可作相當之諸力平行方形。○變秤之方位而重試之、至少須五次。○圈與度分、可劃於板上或紙上。

三 作圓轉臺一、如第三十六圖、橫跨對徑、置銅絲、連於吃、吸二架、銅絲之上、套銅桿二截、如叮

吃之上二呎、釘螺絲鉤、懸一小球、正觸吃塊前邊之中點、以球下之兩點為中心、作半圓、自兩作兩喉、為木塊面之垂線、自喉點向左右、分半圓弧為等距、各作直線連兩點、左右邊諸線引長之處、釘吧吧吧三木釘、用小線圈繫球近吧、次於吧點、以火柴燒斷線圈、觀球之回動方向如何。○更換球之方向而再試之。○射角常等於回角乎。

## 一一 工程 工力

工程 一力施於一體、使之運動、如體為已動者、則改變其動、則謂此力作工。用力雖大、苟體不動、則不謂之作工。如人之行於梯、童子之打球、汽機提煤而上、皆謂之作工。

度量工程 工程既須力與動、故其式為

工  $\parallel$  力距。

(11)

工程之準、箇有四、如左。

極準箇。

一 曷耳格。○力以達痕數表之、距以纏數表之。

二 呎·磅·達 ○力以磅達數表之、距以呎數表之。

攝力準箇

三 基·羅·格·邁·當 ○力以基羅格數表之、距以邁當數表之。

四 呎·磅 ○力以磅數表之、距以呎數表之。

格致學家大抵通用曷耳格為準箇、其百萬倍曰米格耳格。工程家多用呎磅為準箇。

按紐約克城之等數表、

一 磅  $\parallel$  3 2 1 6 磅達。

一 呎磅  $\parallel$  3 2 1 6 呎磅達。

一 磅達  $\parallel$  3 2 1 6 磅、近于 2 1 安士。

一 格  $\parallel$  9 8 0 達痕。

一 基羅格邁當  $\parallel$  9 8 0 0 0 0 0 0 曷耳格。

按(一)式可知一人舉百磅重石、至 2 2 1 呎高、所成之工程為 1 0 0  $\times$  2 2 1

六三  
 || 250 呎磅。又如汽機舉十二呎至二十呎高，所成之工程為  $12 \times 20$   
 || 240 基羅格邁當。

六二  
**時非工程內之要素** 學者須深知工程中，所用時刻，與所成之工程，並無干涉。譬如店肆雇人向煤船卸貨，如卸貨之機不靈，則需時較多，然店肆並不因此多付卸資也。

六一  
**工程之定率 馬力** 於定時內，所作之工程，以時分之，得數為作工之均率。有一汽機，能於一時內舉 19800 磅，直高 100 呎，則每分時可作工  $19800 \times 100$  || 33000 呎磅，此即為一馬力。故可書

馬力 ||  $\frac{33000 \text{ 呎磅}}{\text{分數}}$

(12)

六四  
**工力** 如一球重二十磅，昇至十呎高之架，則已有二百呎磅之工，始能令球在作工之地位。苟令其自架下墜，即可見之。時表法條，依此開之，俾蓄工力，可於一日內作工。故工力者，作工之能力也。

六五  
**隱力** 一體因地位而有之工力，曰隱力。一體所有隱力之度量法，視作工

若干於其上、以致現有之位、故其公式當為隱力  $\parallel$  力距。所作之工、大抵為舉重物至高處、與地心攝力相反。故其公式可書為

$$\text{隱力} \parallel \text{重} \times \text{高}。$$

(13)

式內高為重物所過之豎距、其得數為工程之準箇數。

### 顯力

一體按速率而有之工力、曰顯力。一體所有顯力之度量法、視作工

若干於其上、令有定速率、已知工程  $\parallel$  力  $\times$  距、而力  $\parallel$  體質  $\times$  漸加速、故顯力之公式為

$$\text{顯力} \parallel \text{力距} \parallel \text{體甲距}。$$

但

$$\text{距} \parallel$$

$$\text{式} \parallel$$

故

$$\text{顯力} \parallel$$

$$2 \parallel \text{體速}^2$$

(14)

既知體

$$\parallel \text{力}$$

則顯力

$$\parallel \text{重速}^2$$

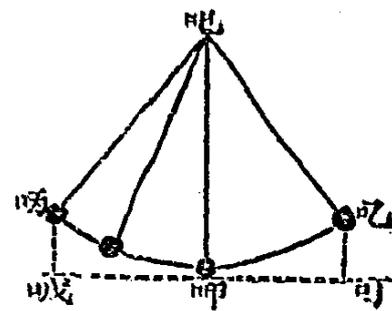
(15)

式內才為地心攝力之漸加速、即  $3 \ 2 \ 1 \ 6$  呎、故其式又可寫為顯力 =  $\frac{6}{4} \parallel \text{重速}^2$ 、言明重之磅、則其得數為呎磅數。

### 工力之變通

用擺條以顯隱力變為顯力及其反

變之理甚為便易。如第三十八圖，呷球自定點吧下懸，球不動時，定於呷點。既在最下之點，故無隱顯力。欲使移至吃點，則必加以工力。與舉球自可直至吃點相等。球既在吃點，祇有隱力。如放手任墜，則必下行弧線，失其隱力，而得顯力。迨至呷處，則工力皆為顯力，足令其上升弧線至



第三十八圖

呷，即在地平線上，呷或之距與呷吃相等。至此工力又皆為隱力矣。

擺之顯力，乃用以提高本體反對地心攝力，而復其隱力。如槍丸擊牆，則與此不同。因丸之動受阻，其顯力大半變為機力與熱，故丸碎而墻損。如速力極大，則所成之熱，足鎔丸之一分。

煤內所儲之隱力，可因燃燒而變為熱工力。如用於蒸釜與汽機，又變為顯力。如汽機用以轉代那模，之電機名又變而為電工力。

### 工力之不廢

彈丸自槍放出，其火藥因燃而漲之力，並未失却，惟變為

別種工力耳。槍身與彈俱為激動而成顯力。空氣受撼、顫動而成聲。以太受撼、顫動而成光。此外又有燃燒之熱、合并計之、適等於火藥之隱力、一無所失。各種工力變換之事、俱可依此推論、故格致家得有總理、謂工力決不可滅、故宇宙之內、工力之總數、恆久不變。

### 三 攝力 地心攝力

六九

#### 宇內攝力總例

攝力者、凡物質體之互相吸引也。近則二書同倚桌上、遠則二星互距千萬哩、皆有吸引之性。攝力普遍于宇宙。其總例曰：凡宇宙內物質之每微點、直受其餘各微點之吸引、其力之大小、按各微點之體質乘數正比、又如相間之距平方反比。由此理可得互相吸引之公式如左。

$$\text{攝力} \parallel \frac{\text{體質}^2}{\text{距}^2} \text{甲。}$$

(16)

式內甲為吸力之準箇、即準箇體質相距一準箇之互吸力也。凡二吸力相比、恆為同類、故可寫為同理比例。

攝：攝 || 體體  
距：體體  
(距)

七〇

互吸力令二體所有之動力適相等。如人立於小舟，而引繫於大舟之繩，小舟之移近，較大舟為速，實因其體較小。大舟所有之動力，與小舟所有者適等耳。  
**地心攝力** 攝力者，宇內凡物質微點互吸之力也。地心攝力者，地與地面或近地諸體互吸之力也。上文總例，相為貫通，其力循地心與體質中心之直線而行。此線名曰豎線，或曰垂線，可以一線



第三十九圖

七一

繩鉛一塊證之。第三十九圖

**重** 一體之地心攝力，以重度之，故重之界說曰：重者，地與其面或附近體互吸力之度也。簡言之曰：重者，地吸體之力之度也。

地之南北徑較赤道之徑短二十六哩半，故一體之重，按地面緯度而變，又按距海面之高度而變。物體自赤道向二極，則漸重，其故有二：(一)其距地心之數漸減，(二)因地轉之離心力漸減。體在赤道，隨地而轉之速率，每小時一千

餘哩、有離中力、爲地心攝力之  $2|819$ 。在二極處、即無此力、按地之旋轉、若較今加速十七倍、則在赤道上諸體、盡失其重。

重在地面之上

體在地面、其重最大、如自海面上升至高山之頂、或乘氣球上升、則其體與地心之距(距)有增、按(16)式、其重有減。在地面之重、與在其上之重相連絡、可以同理比例表之如下。

$$\text{重} : \text{重} \parallel \text{距} : \text{距}^2$$

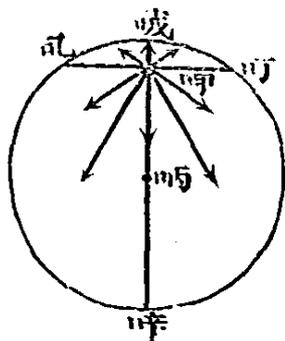
(17)

式內重爲在地面之重、重爲在地面以上之重、距爲地心距地面之數、距爲體距地心之數。

重在地面之下

設體在地面之下如啤、第十四圖

則可見攝力分開、吃可線上之地、攝體向此方、線下之地、攝體向彼方、其合效俱循吃可線而施、吃可吸之吸力、正與吃可啤相反、故其末效爲二者之較、比較數恰如哂爲心、哂啤爲徑之球所有之吸力、亦可謂啤點以



第十四圖

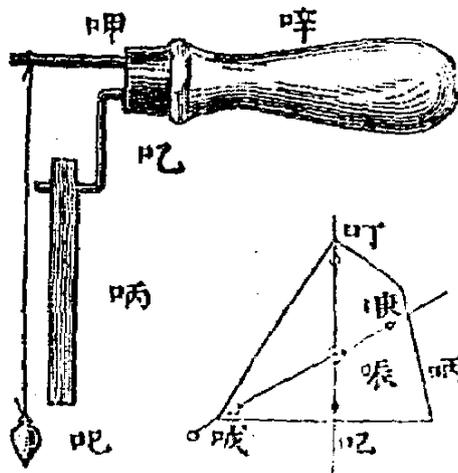
外第一四十一圈體質互吸之力，適為相消。故得式

$$\text{重} : \text{重} \parallel \text{距} : \text{距}$$

式內重與距之意如前，重為體在地面以下之重，距為體與地心之距。

七四

**重心** 地心攝力施於任一體，牽其諸微點同向一點，核實言之，故諸力之方向，實非平行。夫以地之半徑與所衡物體較，倍數既大，故力之方向，偏離平行線之數，微不可測。凡令體重之平行諸力，皆施於一點，此點名曰重心。



圖二十四第

試驗第二十六 如第四十二圖，插甲乙二銅絲入小木柄內，甲為直線，乙則彎成直角，另取薄板丙，任為何形，在叮噉二隅，各穿一孔，以叮孔懸木板於乙絲，又懸一垂線準於甲絲，觀其板靜止不動，叮孔適為垂線準所平分，即於其相對之吧處，作一誌點，次乃以噉孔懸板，仿前求得噉點，作叮吧與噉二直線，其交點噉，即



圖一十四第

指定重心所在。○欲試所得之準否，可穿喉成穴，轉板於呷絲上以證之。

試驗第二十七 仿前法以定三角形、正方形、長方、與圓之重心。

如上所言，重心必在喉點二面之中央。如板之厚，遞減為極薄，重心仍在喉點，故可稱為面之重心。任一體求重心之法，可懸其二角，得其自二點至地心直線之交點，即為重心所在。重心亦可在體質之外，如環之重心是也。

七五

定 取圓紙片一，穿二孔，一在中心，一近邊，懸邊孔於

木釘吧，第三圖 第四十則合呷之位置，中心正在吧點下之豎線，

提高其板，則重心向上，圓板仍復原位。如此者即為固定。

置紙片如呷式，微推之，重心即向下，而片離原位，如此者

即為非固定。

置紙片如呷式，令旋轉，重心不升不降，圓片任作何向，皆

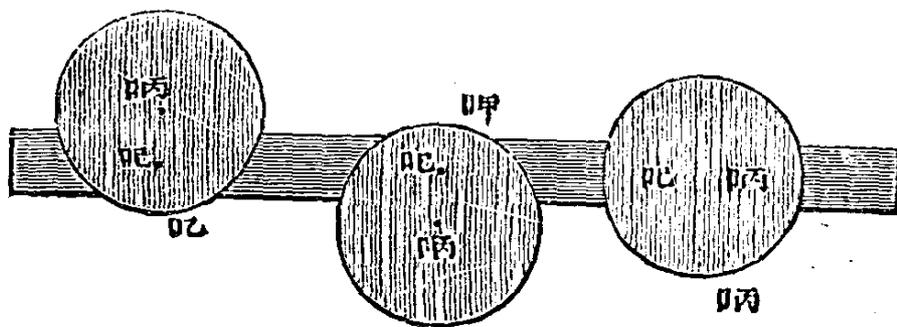


圖 三 十 四 第

可靜止，如此者即為泛定。

**固定** 一體固定時，自重心所作之豎線，

落於底內，故底愈大者，重心愈低，則體愈固

定。方稜錐體，正合此式，如第四十四圖，方稜

錐體，重心在連頂點與底重心之啖吧線

內，距底為全線四分之一，即啖吧等於四分

之一啖吧。

### 推倒一體所需之工程

推倒一體所需之工

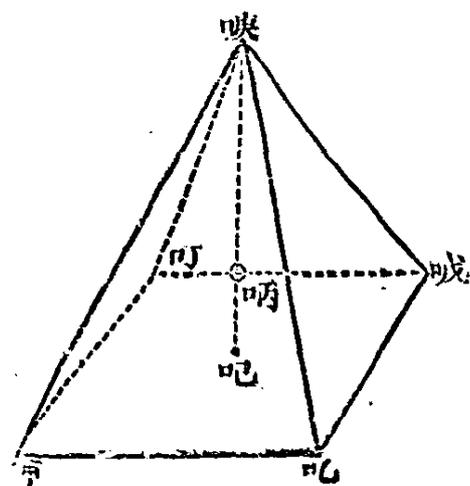
程，為其體固定之度。設一圓柱體橫臥，則推倒之工程，祇

須勝其體與臥面之磨阻而已，因其重心循地平線而動

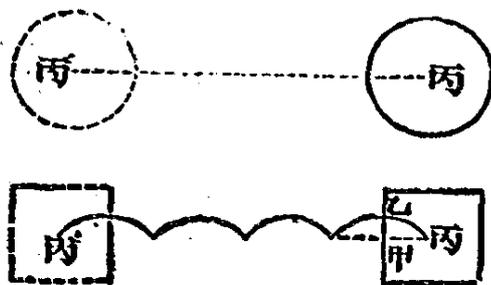
也。然設為立方體，則推倒之時，必提其重心至甲乙距所

用之工程，正如舉立方體，高至甲乙。

一方磚長邊側立，必較側立窄邊為穩。



第四十四圖



第四十五圖

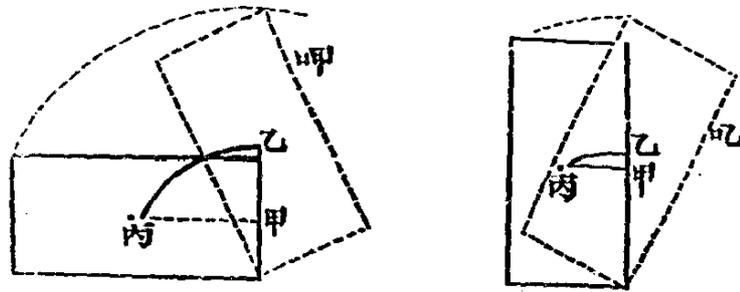


圖 六 十 四 第

倒之之工程，可以  $(13)$  式穩力  $\parallel$  重  $\times$  高表之。式如第  
 四十六圖，則為 工程  $\parallel$  重  $\times$  甲乙， 呬呬方位，其重心  
 之最高點相等，然其原來距桌面之高不等，故在呬時之  
 合數重  $\times$  甲乙，較在呬時者為大。

試驗第二十八 取一空銅球，開一小  
 孔，注入鎔鉛少許，注入之時，球之方位  
 如呬，第十七圖 其後令球變方位如呬，重  
 心呬之豎線，既不落叮底內，故重心向  
 下，球將下滾，直至最低之位，自呬之豎  
 線正落底內，而球始固定。

本試驗之理，可製特別式之注油

管，如第四十八圖，呬為常用之式，傾倒則油盡外流，苟  
 製其底為球形，底之中央甲點，灌鉛少許，則恆能正立，

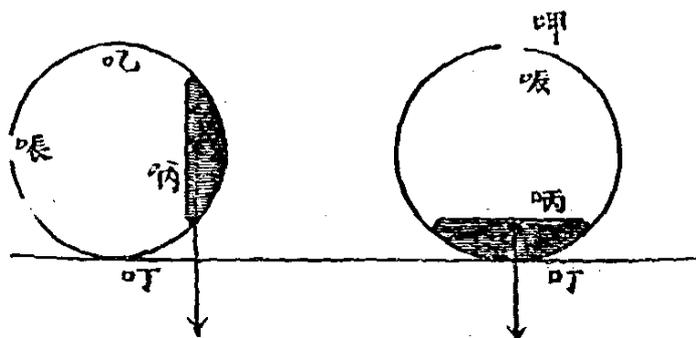
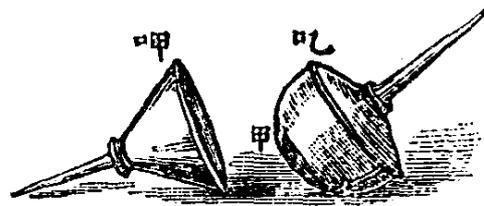


圖 七 十 四 第

而油不傾出。

### 習問

- 一 有力一百二十六達痕、過三呎之距、則成工程若干曷耳格。
- 二 有力十六磅、達過一百二十一呎之距、則成工程若干。
- 三 有力三十五斤、過一百四十三呎之距、求其所成之工程、爲若干基羅格邁當。
- 四 有力九十三磅、施過一百十四呎、則成工程若干。
- 五 今有大石、長十呎、廣六呎、厚二呎半、其重每立方呎一百六十磅、倚橫邊臥地、必用若干工程、乃能置之十二呎高之牆頂、仍倚橫邊而臥。
- 六 一人身重一百六十磅、攜器盛沙、其重七十五磅、自地上至二十四呎高之架、每十分時一次、此人於四小時內所成之工程若干。
- 七 自二百十六呎深礦、提一百二十噸煤、需工程若干。設有汽機、能於四小時內提訖、且其機器之磨阻、爲工程之百分之十、此汽機有若干馬力。



圖八十四第

八 有圓柱形井、深七十二呎、徑四呎、內有水深十六呎、水之重每立方呎六十二磅半、設有汽機能於四十分內提盡其水、此汽機之馬力若干。

九 有立管高六十呎、徑十六呎、欲自湖取水以灌滿之、湖面較管底尚低八呎、用十馬力之汽機灌之、必若干時始滿。

十 大石一方、重一百二十五磅、臥地上、必用若干工程、乃可舉置於高三呎之柱上、且大石所有之隱力若干。

十一 礮彈重二百磅、每秒速率一千一百六十四呎、其顯力若干。

十二 一球重二十五斤、其滾動之速、每秒四呎、其顯力若干。

十三 地攝一磅鐵之力、與一磅鐵攝地之力、孰大。

十四 有三球、重為六磅、十磅、十八磅、按第四十九圖之式置之、各球相距之數、圖內指明、設呷與吃互攝之力、為七另二分之二、則呷與呷、吃與呷、互攝之力、各為若干。

十五 二體之距、自三呎增至九呎、則其互攝力之減如何、設距

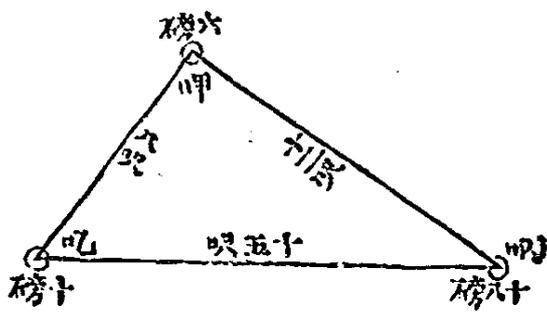


圖 九 十 四 第

自三呎近至一呎，則如何。

十六 一體在地面重二百四十六磅，設高至地面千哩以上，則其重若干。

十七 如第五十圖，木桿味近中央處，連半圓銅絲，絲之下端綴一銅球（重），則桿之屹端能立於桌上，往返擺動，其故何在。

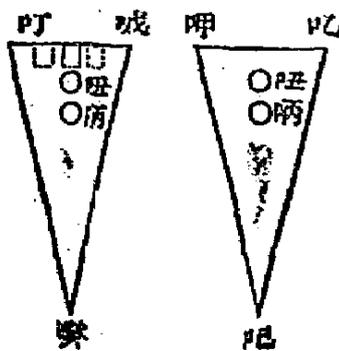
十八 人背倚牆而立，則俯拾其前之物，必致傾跌，何歟。

十九 有石一方，長四呎，廣三呎，厚二呎，倚橫面而臥，石之重每立方呎一百六十六磅，欲翻使倚側邊橫立，需工程若干，欲使倚窄端豎立，需工程若干。

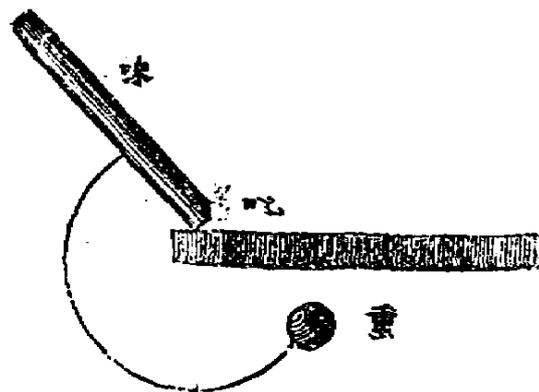
二十 旗竿高百呎，其重五噸半，重心距底三十二呎，必用工程若干呎磅，始能樹立。

### 實驗室功課

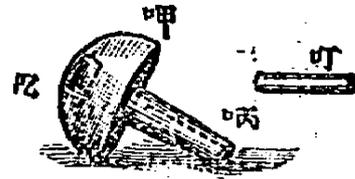
一 取相似三角木板二塊，長約二呎，如第五十一圖，各求其重心，作一黑圈誌之，如兩在一板叮吡底，鑽三孔，徑半吋。



圖一十五第



圖十五第



圖二十五第

灌鉛使滿，再求板之重心，設在呷，以紅圈誌之，又在呷呷呷板上同處，作一紅圈，然後遞次持二板之尖點，啞與呷，旋轉而擲之空中，則見各板上之呷，二圈作何狀，試言其故。

重相比合宜，則可如圖布置，若叮不插入呷穴內，則不能，其故安在。

三 作呷呷二木圓柱體，徑約一時，長約三吋，如第五十三圖，鑽呷

端成一穴，與其體等長，塞入銅

第 條一，乃於桌上試滾二體，觀其

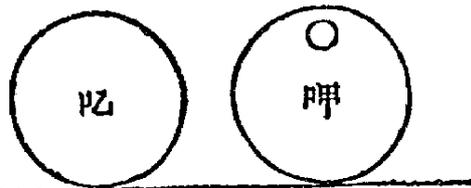
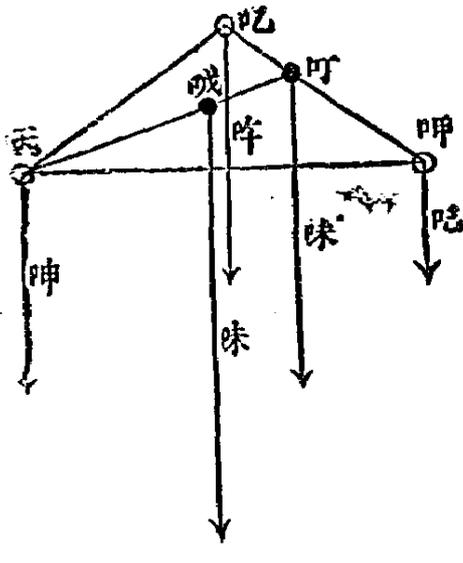
五 有何不同，且作圖以表其各重

十 心之動路。

四 諸體以堅質相聯者，求其

重 心，可設各體之重為平行力，

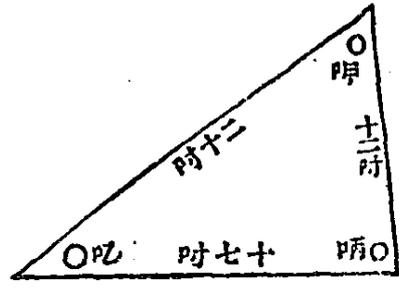
同 施於重心，而求其合效之施



圖三十五第

點、如第五十四圖、吧、呷、呻、三力施於以堅質相聯之呷呷呷三點。  
吧與呷之合效味、等於吧十呷、其施點當在呷、乃按後列同理比例定之。

呷呷：呷呷 || 呷：吧  
：呷呷：呷呷 || 呷：吧十呷  
即呷呷 || 呷呷呷呷



圖五十五第

次連呷與呷、即以呻與味、二力代吧呷呻三力、仿前法求得其合  
效之施點、即為諸體公重心。如實驗之、則選厚薄勻稱之木板  
一方、割成三角形、如第五十五圖、近三角處、穿呷呷呷三穴、大小  
不同、次按算理、推得板之重心所在、又以鉛塞三穴、重各不一、繪  
板之圖、按諸穴所在、以定重心、試取小螺釘一、釘入此點懸之、觀  
木板果能適合地平否。

### 四 墜體

漸加速動 凡體受恆力之感而動、則其動必按平均漸加、命此體之漸

加速為甲、其初速為噠、則有

一秒末之速率 || 噠十甲。

二秒末之速率  $\parallel$  噠十2甲。

三秒末之速率  $\parallel$  噠十3甲。

四秒末之速率  $\parallel$  噠十4甲。

即 速  $\parallel$  噠十甲酉。

(19)

右式與(2)式異者，唯在虛設一初有之速率而已。

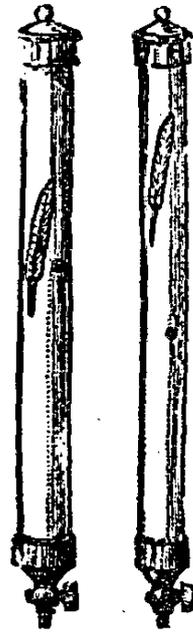
習見之恆力，為地心攝力，故研究墜體之動，即可為推論恆力功效之明證。

**無礙直墜體 空氣之阻** 一體獨受地心攝力，則為無礙直墜體。

然此惟於真空中為然，因體行空氣之內，常受其阻力也。

試驗第二十九 剪硬紙一片，長約七吋，廣約五吋，又取軟木塞一小，鉛丸一，令三者適為等重，自高處同時下墜，觀三物擊地之時如何。既三物等重，故其致動之力相等，唯因諸物之面積懸殊，故受空氣之阻，遂大不同，氣之阻力與地心攝力反對，故三體墜地時，遂有差別，如紙片展開下墜，則搖擺而緩落，如摺其邊約寸許而成角，則其下墜穩而速。試驗第三十 自二十呎高處，落等大二球，一銅一木，見二球似同時至地，何也。

試驗第二十九表明空氣之有阻力取長玻管一此端緊閉彼端有門可啓閉管內貯鉛丸一粒羽毛一片反轉玻管則見鉛丸較



第五 羽毛速墜然用抽氣筒吸盡管內之氣而再試之則見二物似同時下墜。第五十圖

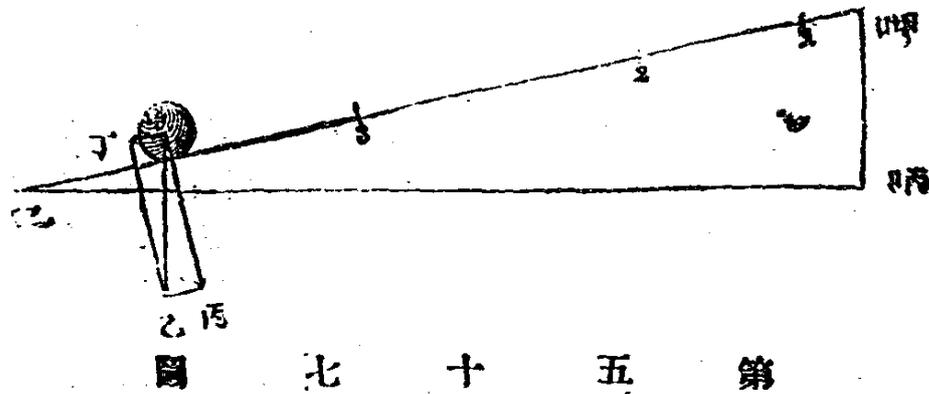
### 度墜體之速率

(甲)直捷法為登高塔如造鉛塔

令一重金類之球下落記其初秒次秒之末擊中倚架各在何處。然高塔罕有此法難試故蓋欲試落三秒之距則塔之高需一百四十五呎也。

(乙)嘎利利漚之法 用他法驗墜體其速率皆遞減嘎

利利漚用球滾下斜面以顯其理。苟斜面之長遠過其高則令球滾下斜面之一原力祇為全重之小分此可以第五十七圖之甲丁與



甲乙相比而見。三見五細心試驗則其功效可如呬表，因空氣之阻力甚微，可

不計也，命(距)為

初秒所過之距，則

可得二秒之末已

過全路，為此數之

四倍，三秒之末，則

為九倍，餘仿此。呬

表之末橫行，即為

呬表

4	3	2	1	秒數
8 距	6 距	4 距	2 距	秒末之速
7 距	5 距	3 距	距	本秒內所過之路
16 距	9 距	4 距	距	已過之全路

此數，易自第三橫行之數而得之。此力既為恆力，其漸加速亦為恆數，而第三行內前後二數之較亦為恆數，即2距也。按漸加速2距，亦可定第二行內之諸數。

再作一表，用甲代2距，即有呬表。自此表可得受恆力而動體之(2)(3)(6)式，令斜面之高漸增，則球下滾之速率漸大，終則斜面成直立，球不再滾，即為

吃 表

時	4	3	2	1	秒數
速 $\parallel$ 甲時	4 甲	3 甲	2 甲	甲	
路 $\parallel$ 2 1 甲 (2 時 1)	7 $\times$ 2 1 甲	5 $\times$ 2 1 甲	3 $\times$ 2 1 甲	1 $\times$ 2 1 甲	路
全路 $\parallel$ 2 1 甲時 <sup>2</sup>	1 6 $\times$ 2 1 甲	9 $\times$ 2 1 甲	4 $\times$ 2 1 甲	1 $\times$ 2 1 甲	全路

墜體。球下滾斜面之漸加速、與墜體之漸加速、可以同理比例表之。

才：甲  $\parallel$  長：高。

式內才爲因地心攝力所有之漸加速、長與高爲斜面之長與高、由此得 才  $\parallel$  甲  $\times$   $\frac{\text{高}}{\text{長}}$ 。以才代 (2) (3) (6) 式之甲、則得墜體之諸式。

速  $\parallel$  才時。

路  $\parallel$  2|1 才 (2 時 1)。

(2 0)

(2 1)

各  $\parallel 21$  吋。

在美之鈕紮城、寸之同數為 3 2 1 6 呎，即 9 8 0 裡，以此諸數代入，則前式變為

速  $\parallel 3 2 1 6$  時。

即 速  $\parallel 9 8 0$  時。

路  $\parallel 1 6 0 8$  (2 吋 - 1)。

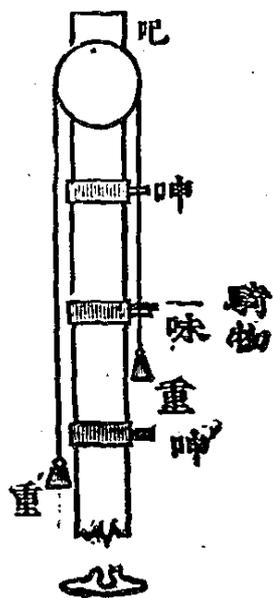
即 路  $\parallel 4 9 0$  (2 吋 - 1)。

各  $\parallel 1 6 0 8$  時。

即 各  $\parallel 4 9 0$  時。

此等公式最要，學者宜熟記之。

(丙) 阿德武之法。法須用器一件，名曰阿德武器。取二重物相差頗微者，聯於繩之兩端，環過滑車，減其速率，用時宜令磨阻減至最小數，令軸倚於磨



第五十八圖

阻輪，繩以輕絲為之。設 (重) 與 (重) 為重物，各為二百四十五瓦，二重既各倚滑車之對邊，故全體穩定，今設將 (重) 提高至呻架之上，以十瓦重之騎物穿繩上，加於 (重)

上、則全體失其穩定、移去呷架、全體即運動、全體共重既為四百九十五、而為十瓦重之牽力所運動、故其速率祇為無礙墜體速率之 $\frac{4}{9}$ 。故於若干秒內、行過之路頗短。力令重物動時之長短、乃以活圈味節之、味圈之位置合宜、令重物可穿過、而騎物留住。重物初動、與除去騎物、及重物擊呷架相去之時、乃以秒擺器測定之。由此法所得諸數、與呷表彷彿。

墜體諸數之圖

墜體之動、可以第五十九圖之法表明之。作一豎線、



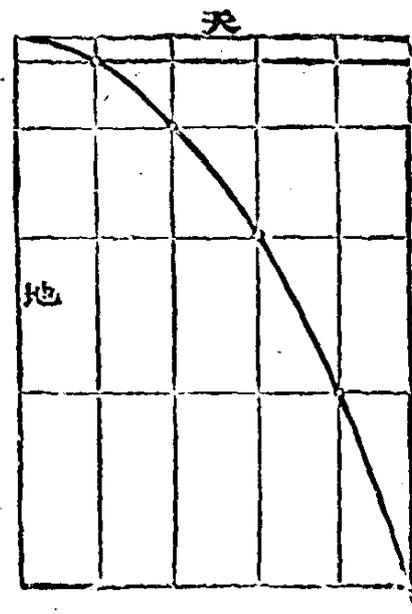
第五十九圖

向頂點呷、取其呷吃距、為體於初秒內所過之路、等於 $21$ 寸。自吃點起、量得二倍前距、以表其於初秒內所得之速率、作此線須粗而黑。另續一細線至呷、其長等於 $21$ 寸、是吃呷乃以二分合成、其一為初秒內所得之速率、其一為次秒內受地心攝力而墜過之路。可吃等點、俱可依此得之。

擲體 (甲) 橫擲之體

凡擲於空中之體、皆名曰擲體。每擲體必受二

力、即擲力與地心攝力也。因地心攝力為恆力、故體之行、大率成曲路。凡橫擲之體、可以下法作圖表之。所空不計之阻如第六十圖、先立二軸、天表橫動、地表直動。設其橫速率為每秒五十呎、自(各)  $\parallel 21$  寸時之式、推得(各)之同數、以定擲體於每秒之末當至之位。連此諸位、成一曲線、即體所過之路、即拋物線也。



第六十圖

(乙) 向上直擲之體 一體上升、反對地心攝力、則其速率所減之數、與墜體速率所增之數同。即除空氣之阻力不計、每秒  $32 \ 16$  呎也。故如一體向上直擲、有  $64 \ 32$  呎之速率、則升高二秒時、其速率消為無有、而下墜亦二秒時至地、所有之速率為  $64 \ 32$  呎、與原速同。是以一體向上直擲、其所過之時、可以下式顯之。

時  $\parallel$  擲。

(丙) 斜擲之體 一體斜向成角擲出、則其斜向之速率、可作為橫向豎向

二速率所合成。如第六十一圖，呷呷爲一球斜擲之速率，則其二分力呷呷與呷呷，可表橫向豎向二速率。呷呷呷呷角爲高度呷呷呷呷爲遠界。前式並未計及空氣之阻力，然按第六十一圖，顯其阻止球路之狀，試按本節(甲)(乙)二端，則當有何功效。

### 五 擺

**純擺** 格致家所設想之純擺，乃一重物料以無重之線而繫於定點，此製世所必無，然能以輕絲線繒一小球，亦可得其彷彿。

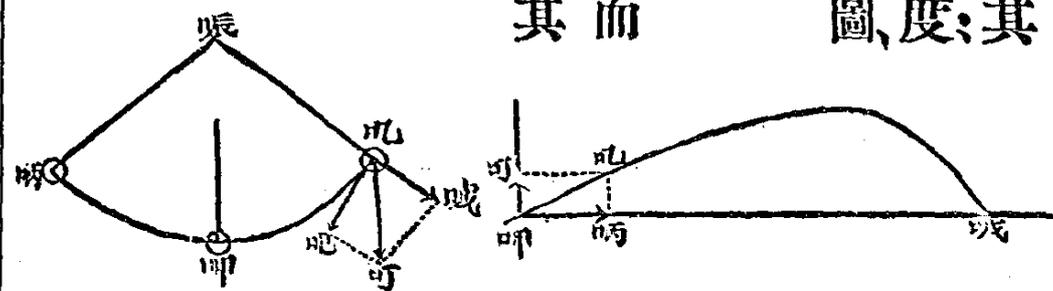
**擺之動** 設有擺爲呷呷，第二圖 離其穩定之位而至

呷處，釋之，不至呷處，因其下落有顯力，故又上至呷處。

擺動一次，名曰一擺，搖其所過之呷呷弧，名曰擺搖之長。

欲求擺行過此路之力，則必求地心攝力呷呷之二分力，一

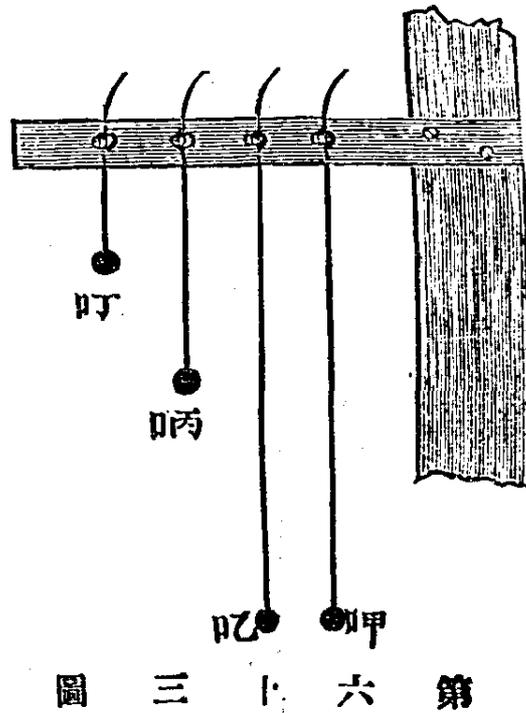
爲呷呷，有繫力，施於懸點，一爲呷呷，與呷呷成正交，即所



圖二十六第

圖一十六第

求之力也。此力之式爲吃吧 吃可正弦呬呬吃。



圖三

試驗第三十一 自架上垂四線、下繫鉛球、成四擺、其長二爲一呎、一爲五十糎、一爲二十五糎、此距必自懸點至球之中心度得之、次令呬吃二擺擺搖、試觀同長之擺、果否同時擺搖。又令呬吃同擺、而呬之擺搖之長、倍於吃擺、仍否同時擺搖。設令吃叮同時擺搖、試觀半長之擺、其擺時亦爲一半否。更令吃與叮同擺、試觀一擺與短四倍之擺、有何關係。

八五 擺之例

按前法屢試之、知擺之長與擺時互有關係。可以下式顯之、

$$\text{時} \parallel \sqrt{\text{長}}$$

$$(23)$$

式內時爲一擺搖之時、長爲擺之長。

另有一擺、其長爲(長)則於同處擺時、爲  $\text{時} \parallel \sqrt{\text{長}}$ 。故有二擺時之比例

爲

時 · 時 || 長 · 長

(24)

秒擺者，每秒擺搖一次者也。其長按才之同數而變。各處求才之同數法，以一代(時)以本處才之同數代入(23)式內，求得(長)之同數。

時 || 才 || 長 || 才

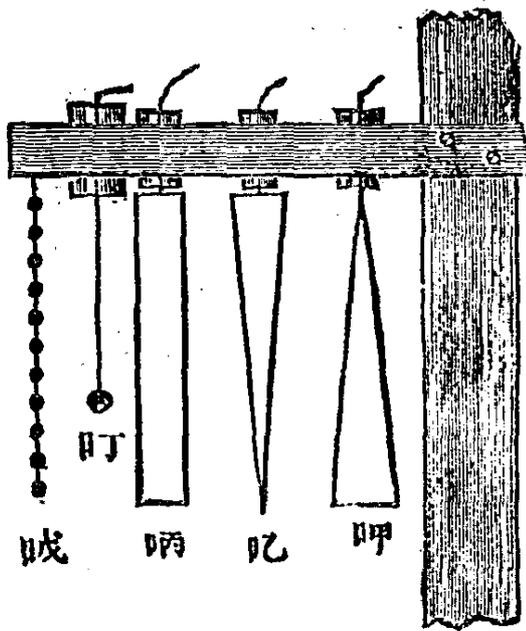
在美之斐拉德斐亞城。才之同數爲 98018 糲。故其地秒擺之長爲

長 || 39184165 || 993 糲。

雜擺 凡體懸之，獨感地心攝力，而擺

搖於一豎平面內，是謂雜擺。常用者爲金類砵，以細銅絲懸之。砵形扁圓，略如凸鏡，其邊極薄，所以減空氣之阻。又令可於銅絲上升降，以符擺之長短。

雜擺之長 試驗第三十二一 如第六



圖四十六第

十四圖、用合宜之架懸五擺、呬與呬、以木爲之、其狀如圖、使每二擺一同擺搖、試觀其擺時同否。其形似等長、果爲等長之擺乎。令餘諸擺各與叮同擺、又變叮之長短、使二者擺時相同、則試觀何擺最短、何擺最長。成擺以若干鉛丸穿於一線而成、試令其末端擺動、則觀鉛丸成一直線、抑曲線、并言其理。

**懸軸擺心**

試驗第三十三 割一木桿、長

約三尺、寬二吋、厚半吋、近一端穿小孔、徑爲一吋四分之三、橫穿一木釘懸之、如第六十五圖之呬、令之擺搖、又以純擺叮比較、得其擺之長、按此自呬量得呬呬、又於呬處插一本釘、將擺放倒、令其倚呬而擺搖、則擺時與前無異。

在呬之軸爲懸軸、呬點曰擺心。由上文試驗、

可得一要理、卽懸點與擺心可以互易也。

**定才之法**

設法令懸軸爲刀鋒形、則量擺之長甚準。二鋒之相距、卽同

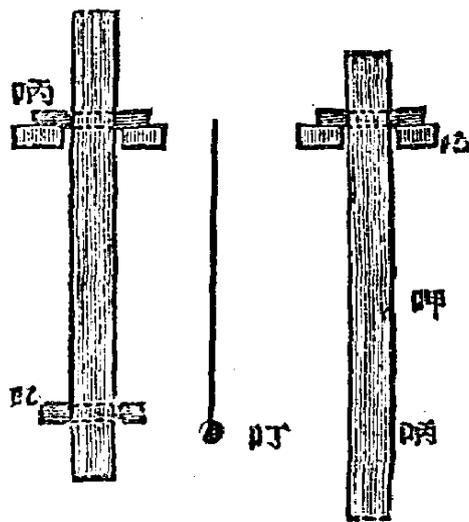


圖 五 十 六 第

擺時之純擺長也。用之代入(23)式內之長得

$$l = \frac{g}{4\pi^2} T^2$$

再以試驗所得(時)之同數代入式內即可定才之同數。

### 擺之用

擺之要用為記時器。夫每次擺搖其時恆同故記時器之要點

即在令擺之往返動變指針為圓轉動也。法用鐘內之脫架每擺搖一次放過齒輪之一如輪有二十齒則輪轉一周擺之往返計二十次擺搖之時必貴相等故擺之長短不可微有改變即冬夏熱度不同之漲縮亦須設法改正之。常法於懸擺砵之銅絲裝一螺旋使砵可升降。又有自準擺法用不同之金類桿作柵欄形令其漲縮之數適可自滅。又有水銀自準擺用玻璃管盛汞以代擺砵位置合宜使水銀之漲數與懸線之漲數適自相滅。

### 習問

問內多以才之同數為3216呎即980 厘如用別數則另行指明。○推算諸問時空氣阻力置之不計。

一 試將(20)(21)(22)三式寫成公例。

二 一體自靜下墜六秒時當遠若干。在第四秒墜路若干。在第六秒之末擊地速率若

千。

三 自陡壁頂橫射一石，令每秒有速率八十呎，過四秒半，見其著地，則此壁較石著地之點，直高若干。石於末秒豎行若干路。石於未著地之前，橫行若干路，并於縱橫格式紙內繪其所行之路。

四 自湖畔9648呎高之山壁放槍，其彈每秒有速率七百三十一呎，則其擊水處距壁底若干。

五 氣球上升一哩，落一球，重三磅，則其擊地時顯力若干。

六 擲石上升，高與某塔尖等，上下共需時五秒，則塔之高若干。

七 向空放槍，有某速率，只知速率之橫分力，為每秒1224呎，高度為某角，致其路之最高處計1005呎，試求其遠界若干。

八 向上直擲一體，令每秒有速率14472呎，則能升高至若干時若干呎而止。

九 一球滾於十二呎長之斜面，其漸加速二呎，則斜面之一端高若干。

十 一球滾下斜面，初秒過二呎半，則四秒能過若干呎，當四秒之末，其速率若干。

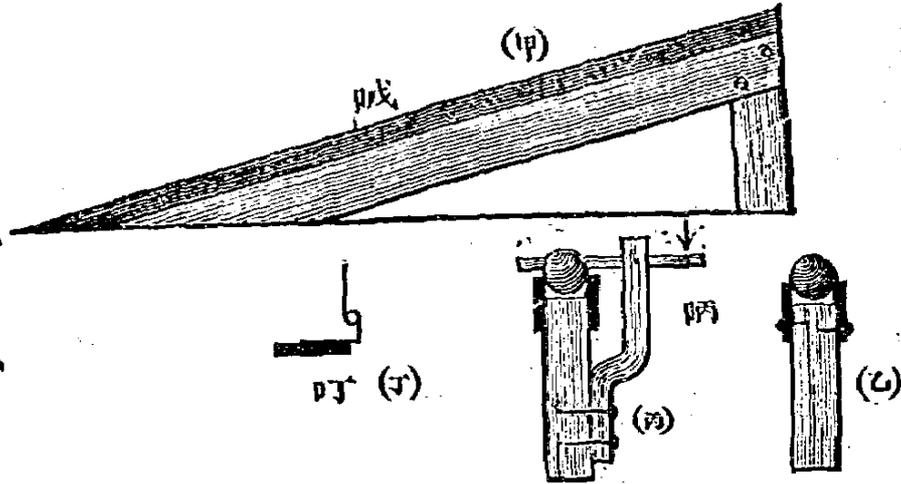
十一 阿德武器之二重物，如各為四十五，加騎物重二瓦，則其漸加速若干。

- 十二 試將第十題所指動之功效、按第五十九圖法、繪於黑板上。
- 十三 擺時爲一秒半之擺、其長若干。
- 十四 擺長四呎、其擺時若干。
- 十五 設有某擺、自赤道移向南極、則其擺時增與減與、并言其理。
- 十六 試將二擺之長與其擺時相關之理、作成題語。如形學之題語
- 十七 再將其擺數與擺時相關之理、演成題語。
- 十八 在蘇格蘭之哀丁堡、才之同數爲98154、糲、則彼處秒擺之長當若干。

### 實驗室功課

- 一 取二邊平直之木板一條、置成斜面、二邊各裝長銅皮、其邊高出板上、式如第六十六圖之(乙)、銅片之邊、必平直光滑、二銅片所夾板面、分爲糲數、近頂處爲圈點、用(丙)件之法、置一球於板頂、其前面適合圈點、如擊桿之兩處、則球下滾、又用二片鐵皮或銅片、作阻具如(丁)、其一片曲成直角、下連鉛底、置於斜面之夾槽內、觀叮所在之度、分、即可定其方位、圖中戔字、即指阻具所在之位、另置秒擺器一、令其每秒擊聲、清晰易聞、當

呷呷呷呷木板方三呎、於其一隅、裝一木槽、製槽之法、鋸木板為象限、按切線延長其一邊、如圖中之呷字、內作一槽、足

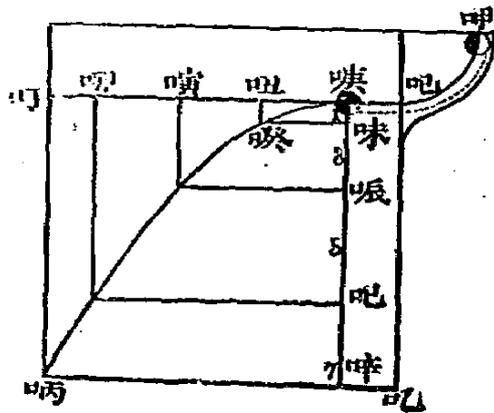


第六十六圖

初擊時、釋球下滾、觀次秒擊時、球約行至何處、乃置阻具於彼點、又迭試之、必令球擊阻具之聲、正與秒擺器之擊聲同時、則此阻具所在之地位、即為球於初秒內所過之距也。再置阻具於略遠之處、試得秒擺器第二擊時、球正擊此阻具、則此二阻具之間、即球於次秒內所過之路也。

如製阻具合法、則球能擊倒其上之銅片、而越過鉛底、仍向下行、按此屢試、以定(未)(路)(各)之數。又度板之高與長、以定才之同數。

二 如第六十七圖、作



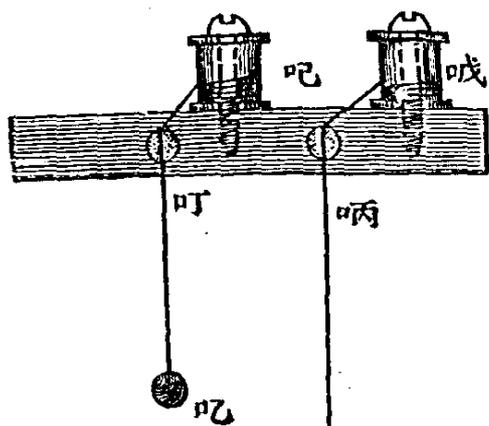
第六十七圖

容小球於其上端、任其下滾、迨離槽時、球乃合地平方向、而其速率之大小、則按其墜處之地位而異、乃定球離槽時之重心、由此作縱線、噴、橫線、噴、試之、知噴為球自槽頂落下時必過之點、自此點作縱線、噴、又取噴、噴、各與噴、噴等、自噴、又作橫線、噴、味、取味、噴、各為噴、味之三倍五倍、自噴與吧、各作橫線、與噴、之縱線相遇、其二交點、即為球之曲路內二點、依此以定別點、再用軟骨為尺、以繪其曲線、○令小球自原處下落、重行試驗。

釘薄紙一張於板上、令小球自高低不等之點下落、如前求得其諸曲線。

三 如第六十八圖、以線繩二鉛丸、作為二擺線之上端、過兩釘二軟木塞之割縫、繞於啞吧轉具、轉啞令啞吧之長短合宜、令每秒擺搖一次、乃自啞吧塞下至啞丸之中點、度得其距、又轉吧、令叮、吧之長合宜、可於5/4秒、3/2秒、2/1秒內、各擺搖一次、且各度其長、以證擺時擺長相關之例。

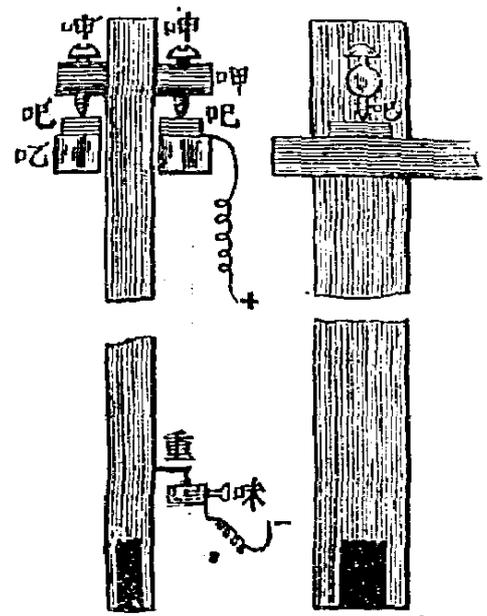
四 實驗室中合用之擺之製法。○取性乾不曲之



第六十八圖

木一條、長四十八吋、廣一吋半、厚四分吋之三、作爲擺條、距其一端一吋之處、穿徑半吋之孔、插入木釘一枚、長約二吋半、其二端各穿小穴、插入小螺釘二、如呻呻、其鋒甚銳、吧吧爲擺之倚架、上置吧吧銅板二塊、螺釘之尖倚之、於擺之彼端穿一穴、深二吋、滿灌以鉛、任於近下端之一點、插入短銅絲一條、其外端銳而曲、向下成正角、正對其尖、裝一木塊、上面有凹、可盛水銀、木塊之旁、橫貫螺絲釘一枚、進退之、可令水銀或升或降、連此螺絲味、有銅絲一條、另有銅絲一條、附貼擺桿、自銅絲(重)至螺旋呻、螺旋呻所倚之銅板吧、亦有銅絲連之、通至電池、於電池及通水銀杯銅絲之間、裝一電報所用之響器、故擺桿每擺搖一次、銅絲(重)滾連水銀面亦一次、令響器鏗然作一聲、欲定擺搖之時、則觀擺搖一百次之時、而均分之、令擺之桿、附一重物、可上下移動、或令呻呻二釘、過呷穴之距、而變更之、即可令此擺桿成爲秒擺。

五 取溝當桿一、每隔五厘、穿小孔一、徑四分吋之一、每孔插入木釘一枚、長約三吋、另



圖九十六第

備合式之倚架、各木釘遞次倚懸此桿、使之擺搖、細察其狀態、更作一曲線、以表擺時與懸點距心之距、有何相關。

六 取木桿一、長一適當、以短線繫其一端、使之擺搖、求與擺時相同之純擺、當長若干、乃於其桿一邊距懸點適爲一純擺處、粘一紙條、更於此點上之任一點、或下之任一點、遞次擊桿、觀其感動上截之功效如何、并解其理。○此點卽擺心、亦卽擊心。

## 五 機器

九二  
機器者、善用力之長處之具也。然絕無磨阻之機器、決不能成。故機器所成之工程、恆較所用入之工程爲少。

九三  
實效 機器之實效、卽其所實成之工程、與設無磨阻當成工程之比例也。減少磨阻、已屢經設法、如自行車內所用之彈丸、卽減磨阻最佳之一策。設製一機器、全無磨阻、則爲完美之機器、其實效卽可爲準箇、或曰百分之一百。凡求機器實效、必用試驗法、如加若干力於機器、計其所成工程若干、又按機器之例、則此力當成工程若干、以後數約前數、卽得實效之數。實效每以百分數

表之。如言實效為 92，意謂全工百分，其九十二分成工程，其八分則消於磨阻。

九四 機器總例 各種機器，有總例括之，曰力乘其所過之距，等於阻乘其所

過之距。以式表之，則為

$$\text{力距} \parallel \text{阻距。}$$

(25)

每種機器，各有專例，或較上例為便，然此為公例，無問何種簡器繁器，俱為所賅。

九五 簡器 常用各種繁器，按理可括為六種，即槓桿、滑車、輪軸、斜面、尖劈、螺絲

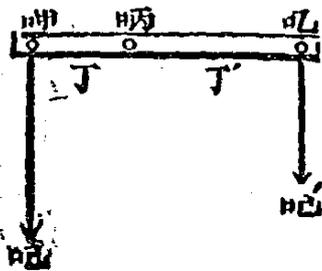
是也。此六者，總名曰簡器。六種簡器，又可分而為二，即槓桿

與斜面。因滑車與輪軸，祇為槓桿之變形，而螺絲與尖劈，亦

祇為斜面之變形而已。

九六 力之能率 設有吧吧二力，施於呬呬桿，第十圖令繞呬

樞而轉。稍加思索，即可見二力令桿旋轉之勢，不祇因其力



第十圖

之大小亦視其距樞之遠近。夫力之大小、距之遠近、既俱有關於桿之旋轉、則功效可以其合數表之。命呬呬距為丁、呬呬距為丁、是呬力所顯之功效、與呬丁有比例。呬丁即名曰呬力之能率。依此、呬力之能率 $\parallel$ 呬丁。

觀此可知二能率令桿旋轉之方向、適為反對。呬之方向與鐘之指針同。呬之方向反之。凡能率致旋轉方向與鐘指針同者、常稱之為正。反者為負。旋轉之樞鈕為呬、曰能率心。

如呬呬二力施行之方向、不與呬呬桿正交、如第七十

一圖、則其丁丁距、非為呬呬與呬呬、而為呬呬呬與呬呬、

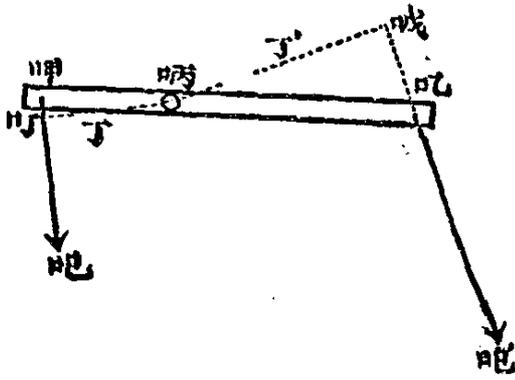
即自呬點所作與二力正交之線也。

故力之能率、即能率心至力方向之直距乘力所得之

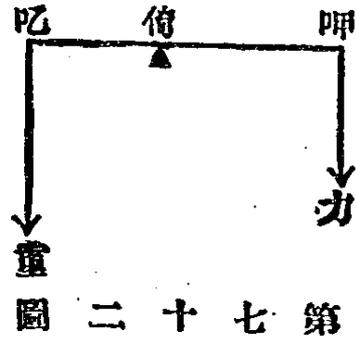
合數也。

槓桿者、堅固之桿、倚於一點而轉動者也。此點名曰

倚點。按倚點及力與阻之施點方位不同、故槓桿分三



第七十一圖



第二十七圖

類。阻之最常遇者為物體，因此恆視其阻為重。

(甲)第一類槓桿。第七十二圖之呷吃，表第一類槓桿。力

施於其一端，重在彼端，而倚點在其中。

(乙)第二類槓桿。第二類槓桿，力與

倚點各在一端，而重在其中，如第七十

三圖。

(丙)第三類槓桿。第三類槓桿，如第七十四圖，重在一

端，倚點在彼端，而力在其中。

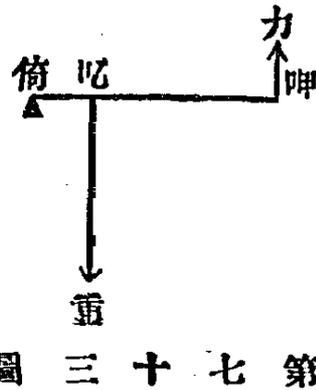
槓桿穩定之例。以能率之理，用於槓桿，即

易得其例。夫倚點常定，故為能率心，當槓桿穩定時，

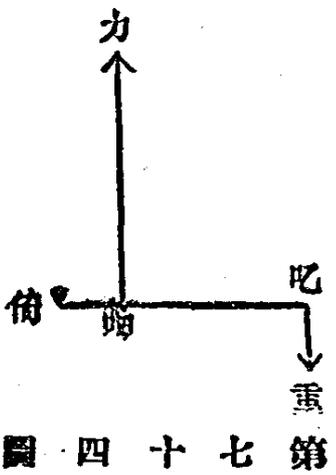
力之能率，等於重之能率，故有力×呷倚 = 重×吃

倚。寫此式為比例，則有

$$\text{力} : \text{重} \parallel \text{吃} \text{倚} : \text{呷} \text{倚}$$



第三十七圖



第七十四圖

即 力：重  $\parallel$  重臂：力臂。  
 式內臂字，即指自倚點至力方向所作之垂線也。欲求此式之合於公用，則必以阻字代重，式爲

力：阻  $\parallel$  阻臂：力臂。

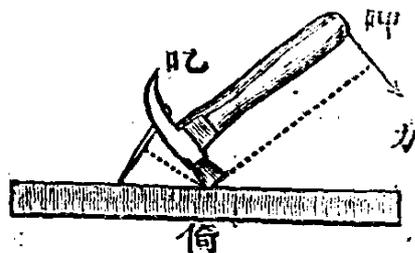
(26)

靜例 上文機器之例，乃爲靜例，祇用於靜止之時。倘有動可以移重，或有  
 力可以勝阻，則視乎機器之式與其磨阻，而定其實效之分數。

曲槓桿 木工之鐵槌，其一端可以拔釘，如第七十五

圖，雖其倚點不與力及阻之施點，在一直線內，然仍屬第一  
 類槓桿，此即曲槓桿也。能率之例，於此仍合。圖內之虛線，即  
 (26) 式之臂也。

天平爲等臂第一類槓桿，故其力  $\parallel$  重。欲求天平之準，則  
 其橫樑在倚點左右二端，必等重等長。欲天平靈動，則二臂  
 必輕，磨阻必小，倚點之鋼鋒，必與連合砝碼盤鋒邊之線甚



第七十五圖

近、而二臂之重心正在其下。天平之二臂、如等重而非等長、亦可得所衡物之真重。如第七十六圖、將一體先衡於此盤內、繼衡於彼盤內、令其真重為(重)、衡於呬盤之重為(重)、衡於吃盤之重為(重)、是則按能率之理、有

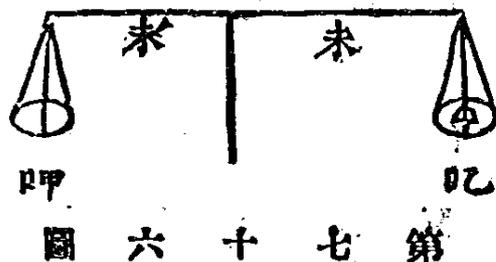
重未 || 重未、 又 重未 || 重未、  
 ∴ 重未 || 重重未未、 卽 重 || 重重、  
 而 重 || 重重。

(27)

由此可用二臂不等長之天平、而求物之真重、法於二盤內、各求得其似重、其合數之方根、卽真重也。

一〇二 鋼秤為第一類槓桿、其二臂不等長。有一鉤以懸重物、有二鉤以提之。桿之二邊皆可用、一以秤重物、一以秤輕物。中國之秤與之相仿

一〇三 繁桿 令一桿之短臂、施於次桿之長臂、卽聯合成繁桿。其所得之利、可以機器總例推得之。尋常秤米與煤之臺秤、卽繁桿之一種也。俗秤名



輪軸為第一類槓桿之變狀，設其力施於輪周，

重施於軸周，是則力臂為輪半徑，重臂為軸半徑。

如第七十七圖，力施於呬，其重在吃，倚點在哂，

公輪之桿之二臂，為味與未。

輪軸之例 凡穩定時，力之能率，既恆等於

重之能率，故由第七十七圖，有式為

$$\text{力味} \parallel \text{重未} \quad \therefore \quad \text{重} \parallel \text{力味} \parallel \text{力未}$$

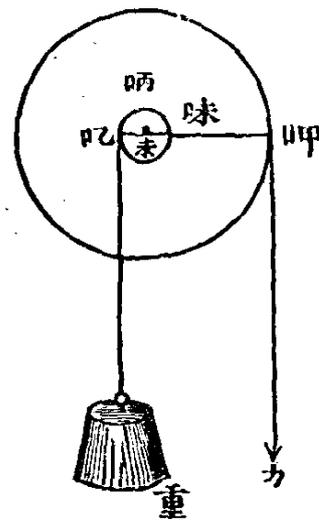
又 力  $\parallel$  味重

即 力  $\parallel$  重  $\parallel$  未  $\parallel$  味。

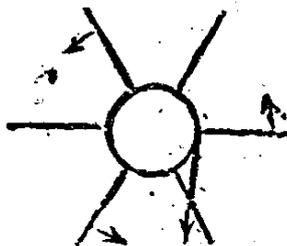
(28)

可申言以明之曰：一力施於輪上，其所任重之倍數，如輪半徑大於軸半徑之倍數。(28)式內之半徑，可任以周或徑代之，而得數無礙。

輪軸之變狀為盤車，用以升井中之水，礦中之生料，又為絞關，



圖七十七第



圖八十七第

一〇六

用以起舟中之錨、遷移房屋、絞關無輪周、係以直桿若干、插入中軸之孔內、持其外端而加力耳。第七十八圖

連輪者、以此輪之軸、施力於彼輪之軸、不僅可舉重大之物、且可令力與阻之速率、大有不同。連輪之公式、為力：重  $\parallel$  軸半徑之合數：輪半徑之合數。

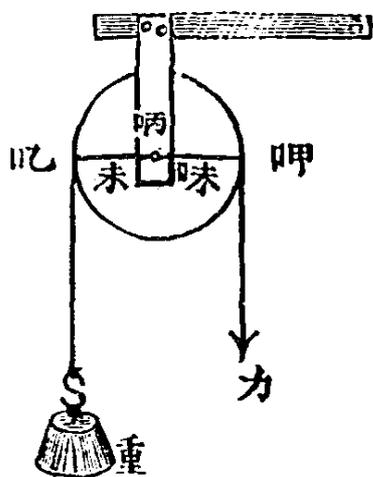
注 學者可將一〇五、一〇六節之法式、略為更改、即合重施於輪、力施於軸之事、按此法以用輪軸、則為第幾種槓桿之變形、試言之。

一〇七

定滑車 定滑車亦為槓桿之變形、與輪軸同、惟其力臂恆等於重臂、故用之並不得利、祇改其方向而已、觀第七十九圖可知。滑車之周有槽、一繩貫之、為呬吃二點之切線、而力施於其一端。按槓桿之例、則其比例為

力：重  $\parallel$  未：味、

但 未  $\parallel$  味、



第七十九圖

一〇八

故 力 || 重。

動滑車 動滑車亦為槓桿之變形、與定滑車

同、然為第二類、倚點在吃、第十圖重體滑車之在內、施於

柄、有吃柄臂、命之為味、力施於呷、有呷吃臂、命之

為叮、故單動滑車之方程式、為力：重 || 味：叮。

夫既叮為全徑、味為半徑、故有

$$\text{力} : \text{重} \parallel 1 : 2$$

即 力 || 2 重。

一〇九

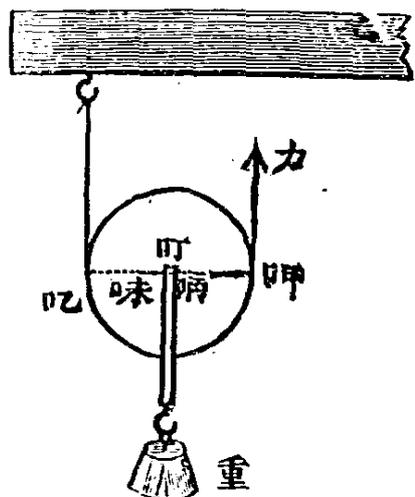
連定滑車 第八十一圖、表明用若干定滑車、連成一副、

則可將平拖之馬力、提高重物。用動滑車時、苟無定滑車、與之

相連、第一箇或數改其牽力之方向、則所得之利、幾為無用。

定滑車與動滑車成副 凡提極重之物、皆需滑車

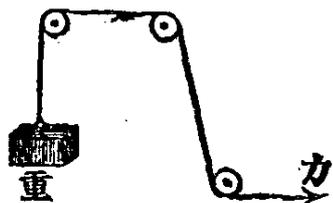
若干、連成一副、常用者為二木塊、第二圖各穿成滑車若干、以



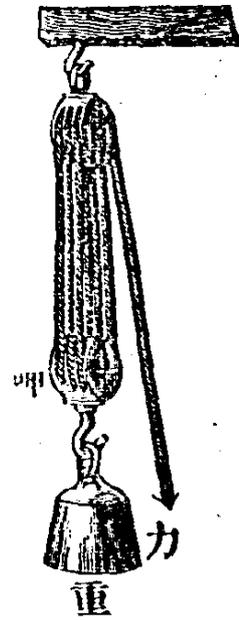
(29)

圖十八第

(30)



圖一十八第



圖二十八第

一繩迴環繞之、重物懸於下塊動滑車之  
 下、繩既通連不斷、故二木塊中間各段、受  
 力均勻、設以卯代其段數、之八卯十二圖中則  
 爲

即

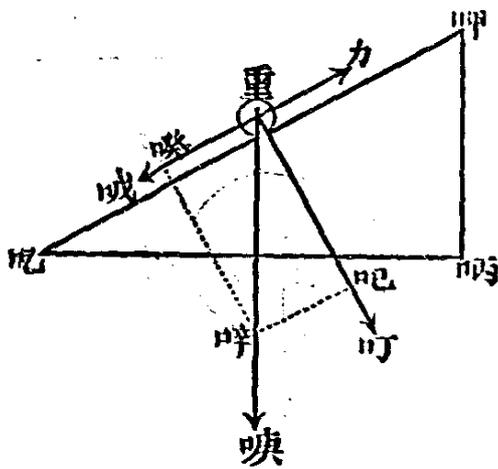
力：重  $\parallel 1 : 1$  卯、  
 力  $\parallel$  重

亦有用繩數條代之者、理仍相同。其穩定之例、均  
 可按機器總例推得之。

**斜面** 凡平面與地平面成角者、即爲斜面。一

球置平面、則穩定不移其位、以其全重壓於平面  
 也。設平面之一端升高、則球之全重、不再壓於平  
 面、乃向下端滾落。體之定於斜面有三法、如下。

(甲) 力之施向、與斜面平行。



圖三十八第

(31)

(乙) 力之施向、與斜面之底平行。

(丙) 力之施向、與斜面及其底俱不平行。

(甲) 如力之施向與斜面平行、則可見祇需一力、與其一分力相抵已足、因餘一分力有斜面以抵之也。故必求重啐力之即表重之二分力。一為重啐、表向斜面之壓力、一為重啐、表重之一分力、為力所當抵者也。按相似三角形理、有

重啐：重啐 || 啐啐：啐啐、

故 力：重 || 高：長。 (32)

式內高為斜面之高、長為斜面之長。

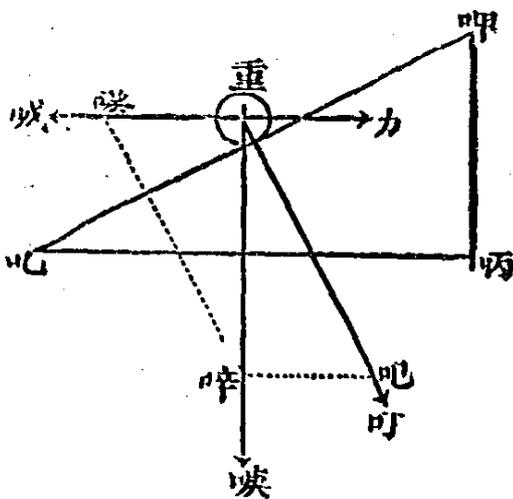
(乙) 如有力使體定於斜面、其方向與其底平行、

則其分力可按第八十四圖法求得之、而為

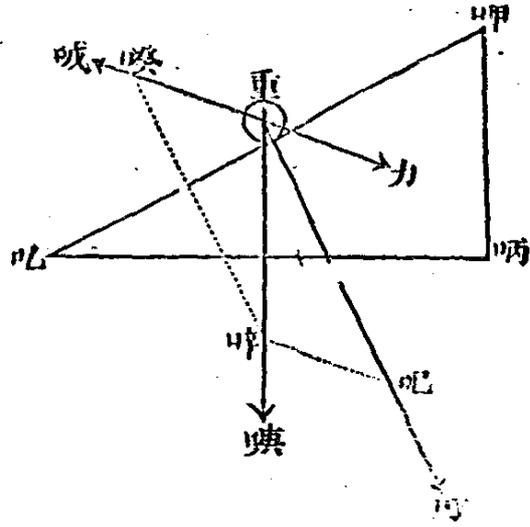
重啐：重啐 || 啐啐：啐啐、

故 力：重 || 高：底。 (33)

(丙) 如力之施向、與斜面及其底俱不平行、如第



第八十四圖



第八十五圖

八十五六圖中之重吧，若其施向之角為已知，則可按三角法求之。又法命重啞線為若干長，作圖，按重啞之比例，度得重啞，得數亦可密合。在(甲)端內，令體定於斜面之力與體之壓力無涉。在(乙)端內，則增之。在(丙)端內，則或增或損。試重繪第八十三至第八十六圖，令重啞恆為若干長，則觀

各圖重吧之長短不同，自可明上文之語。

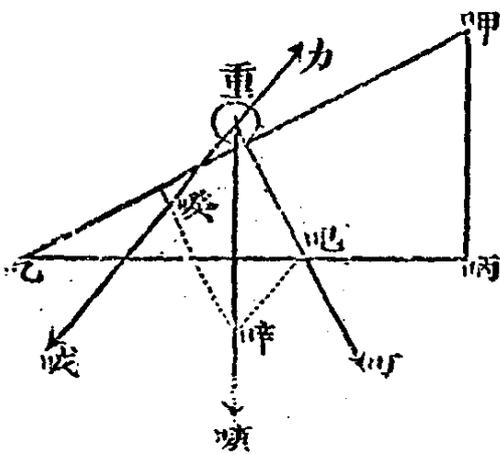
尖劈者，祇為斜面之變狀。常用者其底之即斜面之高

與其鋒至底之線正交，故劈為二斜面，以底相合

而成。加力之法，常用重體擊之。尖劈之用為劈木、

裂石、提高重體、祇可用微距卸舟下水等事。因其施力

之法，及所勝之磨阻，俱較別器特異，故難得其定



第八十六圖

例，然大約爲力，重  $\parallel$  劈之厚，劈之長亦即

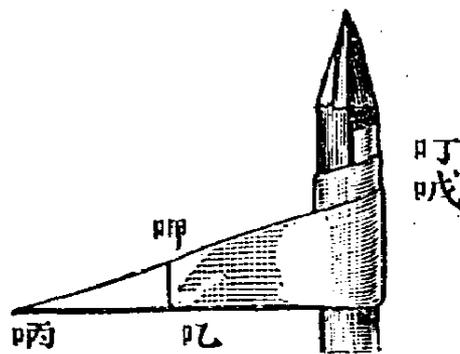
力：重  $\parallel$  厚：長。

(34)

螺絲爲木或金所製之圓柱體，週環一線。如此線之橫剖面爲正方，則名曰方線。如爲三角形，則名曰三角線。將長皮一條，環繞於木圓柱體之面，每匝均斜向下，末端用小釘釘住，即可爲方線螺絲之式樣。

螺絲祇爲斜面之變狀。試按第八十七圖，割三角形紙一張，繞於鉛筆之榦，可見其弦，一如斜面之長，而成螺絲之紋線。如哂、吃等於鉛筆之周，則呷、吃必等於可噉間之距，此距名曰紋距，實定螺絲每週前進之路。力施於螺絲，多在槓桿之末，如工匠所用橫轉螺絲釘之器，則用力於柄，施力於陽螺絲或陰螺絲，均無不可。

螺絲之例，其可定者，必先知其力施於槓桿之某點，故按機器總例有方程爲



第八十七圖

力：重  $\parallel$  紋：2 刀味。

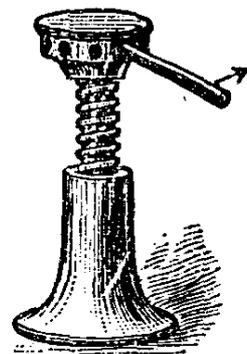
(35)

式內紋為紋距，味為力所行過之圓之半徑。

### 二五 螺絲應用

螺絲之用，常見者為扛重器，如第八圖

壓棉花草料器、輪舟之螺輪、通風器及風扇、製機攻木用之更多。格致器具內有測圓儀及測微螺旋，皆賴螺絲之力。



第八十八圖

二六

### 磨阻

凡令體動，不再加力，則其速率漸減，終必靜止，是由於磨阻故也。磨阻者，一體動時，著於別體所遇之阻力。磨阻由於二切面不等，能設法減其不

等，或令其面光滑，或墊平凹凸之處，如數皆可減少磨阻。

### 二七 磨阻之二例

由實驗而得磨阻之二例如左。

- 一 靜磨阻與壓力有比例，與切面之大小無涉。
- 二 動磨阻亦與壓力有比例，與切面之大小無涉，且與動之速率無涉。

二八

### 磨阻之係數

以壓於切面之力，除勝此磨阻

之力，即得磨阻之係數。簡法取已知之重（重）

第十八九

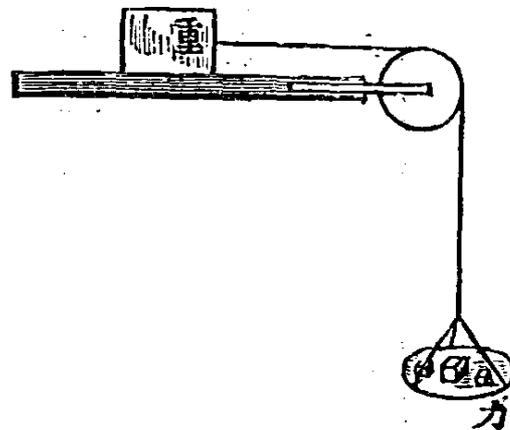
置於平板上，以一線旁紐砝碼盤，牽之使動，其磨阻之式，為

磨阻力。

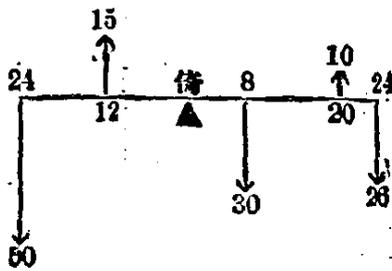
(36)

### 習問

- 一 能製永動之器否。并言其故。
- 二 作第一類槓桿圖，令其力與重之能率，各為二十。
- 三 設一橫桿受五力，其方向與施點如第九十圖，則欲施向下之十六磅力，必在何點，方能使桿穩定，又欲施向上之十六磅力，則當施於何點。
- 四 一人重一百七十四磅，踏於十呎長桿之一端，倚點距重二呎，其所提重若干。



第九十圖



第九十一圖

五 橫桿長十九呎、每呎重十八磅、今用二百磅力、以抵一千六百磅重、重在一端、距倚點三呎、則此力當施於何點。

六 橫桿長十二呎、重臂一呎半、則為第幾類橫桿、方可以一百斤力、抵其相當最大之重、試作圖以證答語。

七 桑剪為何種橫桿、攝子鉗、手車、槳、各為何種橫桿。

八 梯一具、平臥於地、今以手持其端、扶之豎立、漸高則手漸向下移、何以自第一類橫桿、變為第二類、試作圖以明之。

九 三人扛木料一條、長十六呎、其粗細二端相等、一人肩承其一端、二人以橫桿承之、必在何點、方使三人所任之重均勻。

十 第三類橫桿長十四呎、力臂二呎、則力過九呎之距、重當行過若干。

十一 試繪秤之狀、并言其外鈕稱兩數、內鈕稱斤數之理。

十二 汽機運動輪軸、以提石礦中之石料、設輪徑四呎、軸徑九吋、汽機牽輪周之繩、其力為千磅、則可提石若干。十二呎即十二吋

十三 用轆轤軸提井水、輪徑十四吋、吊桶之繩繫於軸上、軸徑四吋、則用力若干、可提

水一立方尺。

十四 有錨重九百磅，用一絞關提起之，其中軸徑一呎，橫柄自中心量起，長四呎，如四人持柄，距其外端六呎之處推之，則各人必用力若干，乃可提起此錨，又各人必走過若干距，乃能令錨提高七十五呎。

十五 盤車柄長九呎，馬繫於其外端行時，但見房屋移過，計每小時行二哩，設盤車中軸之徑十吋，則於十五分時，行遠若干。

十六 自行車之踏脚小輪有十八齒，其練相連之小輪有八齒，則每踏脚轉一匝，其後輪當轉若干次。如後大輪徑為二十八吋，則車之前進當若干呎。又如車每小時行十哩，則每分時內踏脚當轉若干匝。

十七 試推論縫衣機機關運動之改變。

十八 一人用力一百五十磅，欲抵重九百磅，則必用若干滑車，如何裝法，繪圖明之。

十九 一桶麥粉在十六呎長之木板，滾上三呎半高之門限，則必用若干力，與板平行，乃可阻桶下滾，其壓板之力若干。

二十 糖漿一桶，重六百磅，滾上十八呎長之木板，其一端較高七呎，用繩一條，此端繫

住板之上端、彼端環繞過桶而向上、如第九十一圖、則必用若干力、施於彼端、方能使之滾。

二十一 一球滾下斜面、一力正合地平、向其中心而施、阻之下滾、則其壓斜面之力必增、試作圖明之。

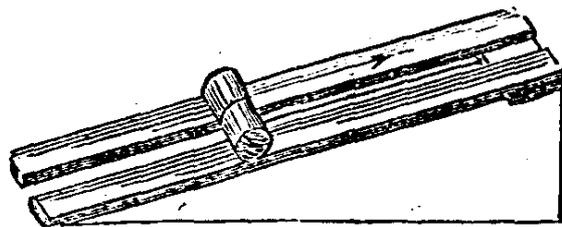
二十二 螺絲壓櫃之柄、長十吋、其螺紋每吋八線、如於距柄外端一吋、施牽力七十五磅、則可顯壓力若干。

二十三 宜用若干螺絲起重器、其紋距為四分之一吋、柄為十五吋者、可以提起十萬磅重、而柄上每推之力不過五十磅。

二十四 輪徑四吋、軸徑六吋、試之乃需七十磅力、方能轉動軸上之五百斤之重、則其實效若干。

二十五 生鐵一方、重六十磅、置於平面橡木板上、試之知當有三十七磅半之牽力、乃可移動、則其中之磨阻係數若干。

### 實驗室功課



第九十一圖

一 取密率均勻之木桿，長八十二糎，廣四糎，厚三糎，於桿之正中，自此端至彼端，作一直線，直線之一旁，穿一小孔，命此孔為圈點，用薄鋸向孔之左右，每隔十糎處，鋸一缺縫，深一糎。架上釘一銅絲釘，以懸此桿，則可見其  
 二端平穩。次於各缺縫處，掛一線鉤，作白鐵砝碼盤，二稱得其重數，刻於盤上，以二盤懸於圈點之二旁，各鉤另加砝碼，使之平穩，可研究力之能率及槓桿之例。○驗桿正平之簡法，於其一端插一細針，其後豎立一鏡，其面粘三角形之紙一方，當桿正平時，其尖正對細針之影，故每見針影正對紙尖，則桿為穩定。

二 槓桿之實效，視其倚處磨阻之多少。第一類槓桿，可用法迭試，以得其實效如下。○離倚點十糎之處，置重若干，而於對面四十糎之處，置重抵之。又試求加若干重，乃能使桿運動，懸點不變，而定各等懸重之實效。作實效之曲線，於呖軸上，取其懸重數，於咄軸上，計其實效之數。  
 注○自行車所用之鐵彈丸，其重恆均，試驗時，可用為砝碼。

三 取橫剖面相等之木桿二，各長半邁當，每隔十糎，作一痕誌之，使此二桿倚於倚倚

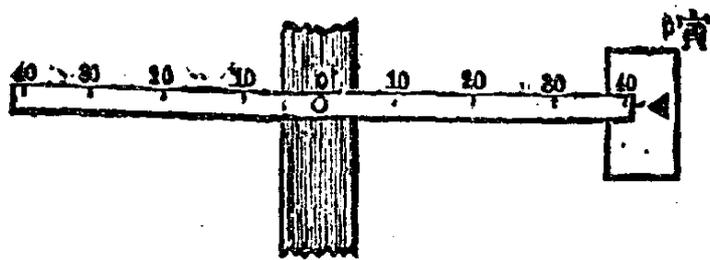
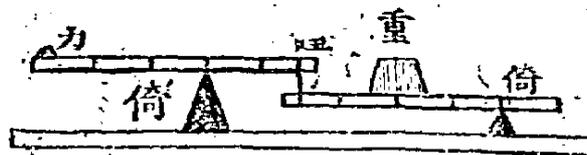


圖 二 十 九 第



第九十三圖

二點、將此桿之短端、用堅繩繫於彼桿之長端、如咀置重於此一桿之上、置力於彼桿上抵之、試考力與重之相關、及各臂之相關、并書繫桿之例。

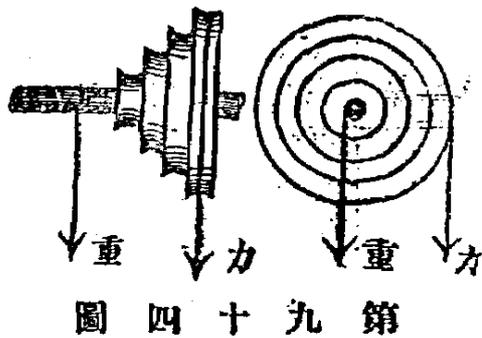
四 輪軸、可按式製之、法取木圓板四箇、中心各有四分之一之小孔、貫以銅條、以螺絲釘之、成一塊、第九十四圖用各種力與重、迭次試驗、更作曲線以表輪軸之實效。

五 設一簡定滑車、如第七十九圖、力字處連一簧秤、試提各種重物、或靜止、或升高、求得其各度分、即解其靜止時與升高時度分不同之故。

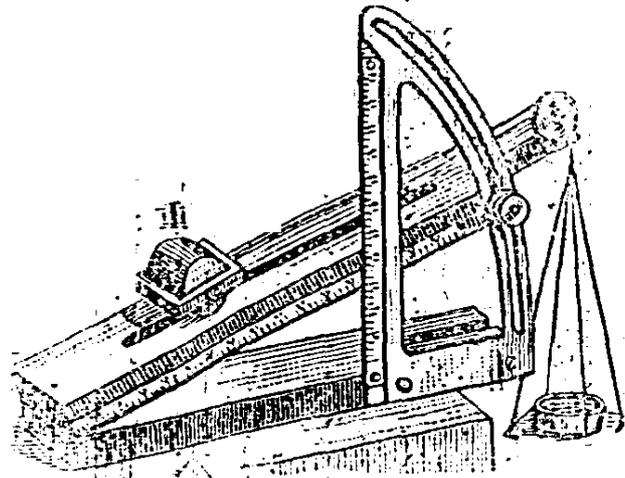
六 按前法試第八十圖之動滑車、則見提各種重物之時、其度分之同數、有何不同。

七 用實驗室中所有之滑車、作若干副連滑車、覆驗(31)式之理。

八 備一斜面、如第九十五圖、試驗至少六次、每次斜面之高不同、試觀(32)式果合否、其重(重)為一銅圓柱體、二端有銅絲為軸、附於木架、以便牽扯、其重數可刻印於一



車與木塊之底平行。又木塊橫臥於窄邊時，繩連於彼一鉤，而滑車亦與木塊之底平行。繩之彼端，連一砝碼盤，為力，置板令適正。平秤木塊之重若干，用筆書之塊面，其上又加砝碼，令其重迭為二百、二百、三百、三百、五百等，每次求得於砝碼盤內須加若干重，乃可使

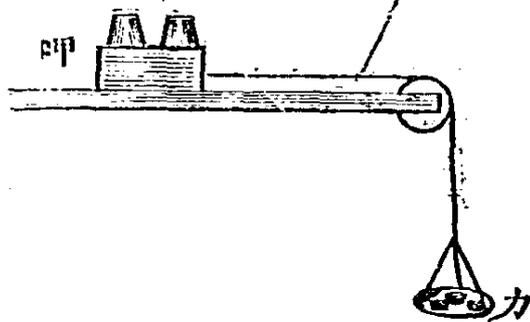


圖五十九第

端，此即為諸試驗之（重）。

九 第八功課內，未嘗計及磨阻，苟欲計之，則可用簧秤以代滑車與砝碼盤，平穩牽之，令重行上斜面，有一定速率，觀秤之度分若干。又令依同速率下行，觀其度分若干，此諸數之中數，即力之真同數也。至少須試驗五次，每次變其斜面之高。

十 於光滑木板之一端，裝一定滑車，如第九十六圖，取一木塊，長四吋，廣三吋，厚一吋半，裝二鉤於其端，致木塊橫臥寬面時，繩連於其一鉤，而滑



圖六十九第

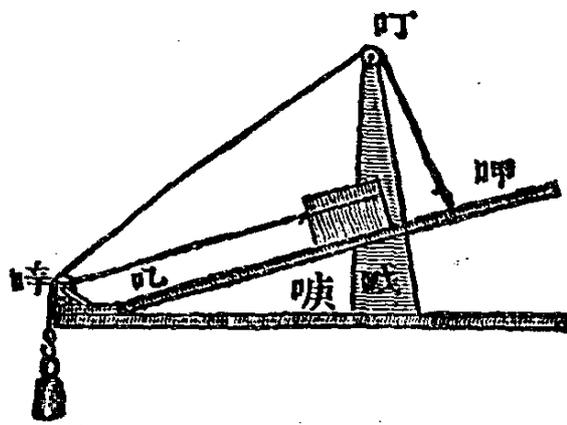
呷前行、緩而均勻。當其行時、宜頻用手指彈板、使之微顛。試從以上之試法、定磨阻之係數。○試將塊橫臥窄邊、則其磨阻之變如何。

十一 夫磨阻之係數、既以力比重表之。若於斜面、則此比例如高比底。故可作一斜面、能徑得磨阻之同數。如第九十七圖、作一斜面、其樞紐在呷、呷為底、其一端呷字處、裝一木圓柱體、以徑四分之一吋之銅條為軸、屈其两端、成直角形、即為圓柱體之倚架。呷處繫一繩、過定滑車叮、雙繞圓柱體、而下縋重物吧。旋轉圓柱體、則呷呷斜面漸高、至木塊自己溜下而止。於此點度得呷呷高、欲令木塊恆動、故繫細銅絲一、其一端繞於圓柱體之軸。如呷呷之長為一邁當、叮呷直高、每分為耗、是則木塊始溜下時、斜面所截之呷呷高、即徑為磨阻之同數。

設如 磨阻  $\parallel$  呷呷  $\parallel$  271  $\parallel$  271。  
 呷呷  $\parallel$  1000  $\parallel$  271。

試易其塊之體質、而求其磨阻。

十二 擇平滑硬木板一塊、長二呷、廣一呷、又擇同類之小木板一方、長八吋、廣六吋、置



第九十七圖

小板於大板之面、加砝碼、令其全重爲一砵。  
用一小板、連以繩與簧秤、牽之、至勝過磨阻、板正動時、觀秤之度分若干。待板之動率均  
勻時、再觀其度分若干。乃以自行車所用徑四分之一吋之彈丸十二枚、置於二板之間、  
再定其磨阻若干。前後二種度分之數、比較如何。○試定靜磨阻與動磨阻之同數。○用  
彈丸間之、則磨阻減百分之幾。



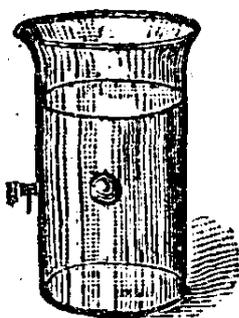
## 第四章 液質

### 一 液質之合點力

二九  
**結力** 液質之結力，即液質微點互相攝合之力也。水為至尋常之液質，故下文非有特別之故，則大都取水試驗。

設將一玻桿，浸入水內，取出，見桿之一端有水點下流，漸下漸大，迨至勢必離桿，則落下而成球形。於此試驗，知結力所成有二事：一令水自桿下流，不遽墜落。二令水點成球形。

### 三〇 **液質之球形**



圖八十九第

凡液質獨受結力之感，則恆成球形。觀雨點可見。製鉛丸法，鎔鉛於高塔之上，傾入一篩，漏下者皆成小球。考驗之簡法，和醋與水，令其重率與橄欖油等，然後用玻管滴入橄欖油一點，油即成球形，如第九十八圖。

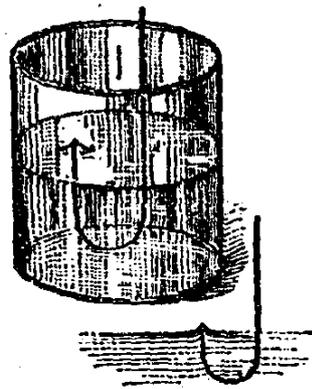
試驗第三十四 取平滑板片，舖以細塵，或烟灰粉，自二三呎高之處，滴水少許，則水分

散各成小珠、何也。

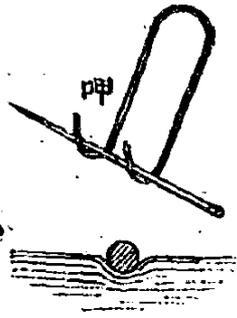
### 液質之面

試驗第三十五 取細銅絲一條、銳其

一端、屈之為鉤、如第九十九圖、浸入杯水內、銳尖在水面下、漸提上升、觀其尖將出水面時、水面為其所逼而微凸、如有薄衣一層、蓋於其上、置目於眈視之、見水面反照天空、於銳端微凸之處不平。



圖九十九第



圖百一第

試驗第三十六 將銅絲一條、屈成呷形、如第一百圖、置縫衣針一枚於鉤上、輕輕置於靜水之面、則見針倚於水面之微凹處、如圖之下截、並不沉落。

由上文試驗、可確知液質之面層、與下諸層不同、如將針置水面之下、則立即下沉矣。

### 面上之黏性

凡液質遇空氣若干時、則漸有粘性、而其面較難破。

如令針受磁力、置之水面、如試驗第三十六、則必漸漸轉動、至指北而止、其轉

動、非移於面內、乃挈全水面、與之一同移動。試先灑萬年松屑於水面、而後置針其上、即易見之。

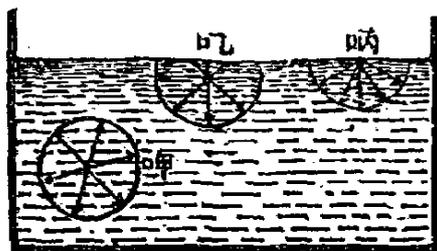
液質沸時、其泡上升。如面有黏性、則液質散為諸小點而四濺。醋面之黏性較弱、故常加於沸液之面、以阻其沸時之濺散。油面較水面黏性更大、故航海之舟、遇大風浪、則射油於舟之四旁、令水面平穩、不啻於水面鋪堅韌絨氈一層、故浪不能穿而上湧。

一三

**面力** 今試考一合點距液面遠近不同時、所受之吸力。

如第一百一圖、合點在呷時、其受四周合點力界內諸合點之吸力相等、故可任向何方移動。在吃字處、甚近液面、其橫吸力仍四方相等、而向下之吸力、大於向上之吸力。至哂字處、合點不受向上之吸力、故為向下之吸力所牽。凡液質內各合點、無不如此、故面上之緊力、較其下諸層為大。

各種液質面力不同、且按其熱度而異。清水面力、視大概液質似較大。可以下



圖一百一第

列數法表明之。

試驗第三十七 注熱水若干於淺盆內、灑胡椒粉於其上、持脂油小塊、點水面中央、椒粉即離融脂、而分向盆邊。

試驗第三十八 淺玻盆內、攤一層極薄之水、試於中關滴醋一點、則見水立即散讓、令醋點四周俱有空隙。試言其故。

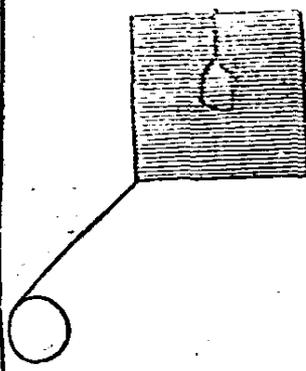
試驗第三十九 淺玻盆內、攤一層極薄之水、持玻桿一條、其下端蘸以脫一點、持近水面中央、其中點之水、因速收以脫之氣、致其面力減少、故被四周水之面力牽開。

凡試驗面力時、所宜慎者、即水與所用之物、宜一例清潔、如手沾油膩、一觸水面、即能令面力有變。

**薄膜** 細玩第一百一圖、可見液質之面力、自面而下降、則漸減少。如能令

液質之厚極小、而有一面、則其現狀更易考察。

試驗第四十 用加士的肥皂、作濃皂水、待可吹成大泡、屈鐵絲為方框、有柄可持、自其一邊懸一絲線圈、浸其框入肥皂水內、則絲線圈之狀、如第一百二圖。次以印水紙少許、觸圈內之

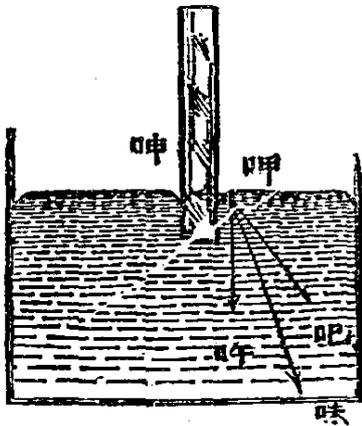


第一百二圖

二五

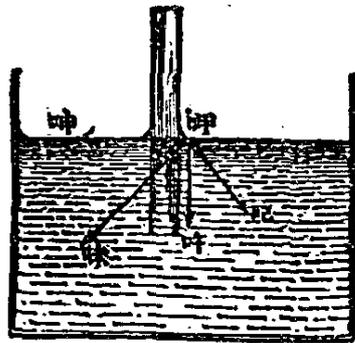
### 微管吸力

面為高，如第一百四圖，其內任一合點，即乃受三力，一為液質之吸力，二為地心攝力，三為玻璃吸力。其公

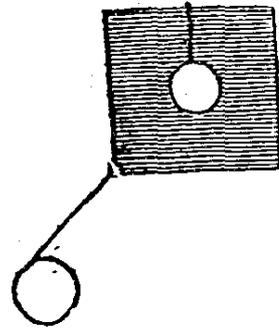


圖五百一第

效味，視此諸力之相關，而即處液質之面力，與此合效之方向正交。如玻璃之吸力較大，則合效之方向，如第一百四圖，而液質之面為凹。如較小，則合效之方向，如第一百五圖，而液質之面為凸。玻璃插入汞內，亦如此。



圖四百一第



圖三百一第

膜而去之，則其圈立即放成正圓，如第一百三圖，試言其故。  
 注○膜粘於銹鐵絲較亮者為易。  
 試驗第四十一 用玻璃蘸上之所言岩水，吹一大泡，移管離口而近燭燄，則見泡之薄膜，所有之面力，足以吹氣，出自管口，吹偏燭燄，當時泡之大小如何。

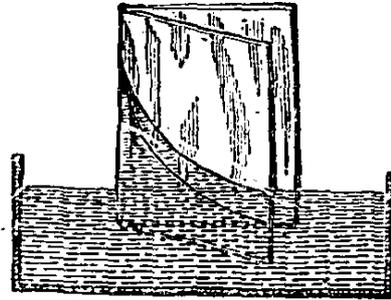


圖 六 百 一 第

如二玻片插入水內，二面平行，則其間之水，高出尋常。二片之距愈小，則水愈高。如二片一邊相併成角，一邊敞開，如第一百六圖，則玻片間之水，高低漸變成一曲綫，成角處最高，敞開處最低。

試驗第四十二 注清水若干於玻杯內，插入潔淨玻管之一端，至水面下，水於管內上升，高

出管外之水，第一取出玻管，管必沾溼，另易徑倍小之管，則水之上升亦倍高。

試驗第四十三 注淨汞若干於盆內，再以上法試之，玻管清潔無污，

粗與前同，則汞面為凸形，管內之汞則較低，且玻管亦不沾濕。第一

**毛管** 前法試驗所用之管，如極細，則曰毛管，謂其細如

毫毛也。令液質上升管內之吸力，曰毛管吸力。

一 一管插入液質而沾濡者，則此液之面為凹，而上升管。

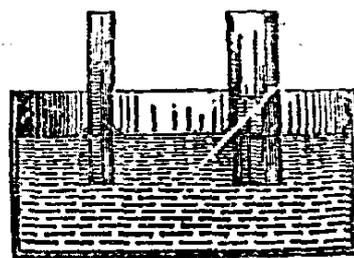


圖 七 百 一 第

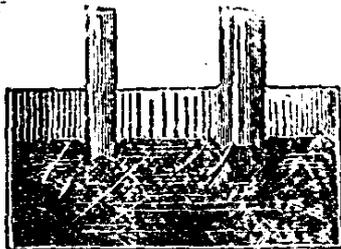


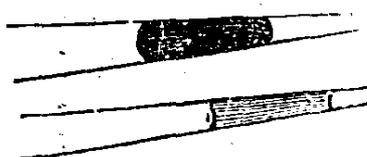
圖 八 百 一 第

內不沾濡者則此液之面爲凸而下降管內  
二 上升或下降之距如管徑之反比

再試驗之可定得第三例如左

三 上升或下降之距按熱度之增而遞損

試驗第四十四 將玻管燒至紅熱而牽之令其一端仍粗一端極細如  
第一百九圖納入水銀少許度其一端距玻管銳端之數若干取出水銀  
注入等積之水又度其一端距銳端之數則見汞欲向大端而行水則向  
銳端而行其故安在



圖九百一第

二二七

收吸 凡液質切近多隙之定質沾溼之則液質立即鑽入隙內此即所謂

收吸印水紙之吸墨水燈帶之吸油皆此理也既吸之後縱用壓力亦不能強  
之使盡復出海絨溼水雖榨之不能全乾惟水化散至盡而後可復原收吸明  
爲毛管現狀之一種而凡質之微隙不啻各爲一毛孔也

液質融和 二種液質如水與油同注瓶內力搖之靜後仍分二層清晰

二二八

不素。油與水之分隔，可謂最甚。若水與以脫同搖，既靜之後，雖亦分二層，而水內微含以脫，以脫內亦微含水。

試驗第四十五 小玻璃瓶盛水至四分之三，染以力低暮司，令為藍色，次用長漏斗注淡硫酸於其底，硫酸遇力低暮司，即令變藍，置瓶於靜處若干時，見硫酸已盡透力低暮司水，而瓶水全紅。



圖 十百一 第

此事名曰融和，與攝力反對。非因其色之變，人目不能覺察。物質融和之性不同，按液之熱度與密率而異。

**透皮攪和** 消化二種物質之液，中隔以多孔之膜，則二者各透膜而相和，故名曰透皮攪和。

試驗第四十六 長玻璃管之末，繫皮紙一塊，管內半滿膽礬之濃消汁，插入水杯內，令外水內液等高，置靜處若干時，視管內之液高低有改變否，液之色有改變否，此事可證透皮攪和否，二種液質之透皮速率相同否。

## 分液

由試驗而知凡顆粒之質，易消於水而透過薄膜，如樹膠小粉等物，不結顆粒者，透過薄膜甚緩。前一種物質曰結晶體，後一種曰膠體。以結晶體與膠體之雜液，置於杯內，其底爲薄膜，以杯浮水盆面上，則結晶體能透膜而入水，膠體則否，此法名曰分液。因胃內之容物，而察出瘧毒，卽用此法。

## 習問

- 一 一滴水較一滴橄欖油，孰大，其故何在。○滴藥之點數同，則所得之數相等乎。
- 二 第一百三圖之絲線圈，何以成圓形。
- 三 設第一百四圖味之方向爲豎直，則液質之面如何。
- 四 墨水易滲入礬紙否，毛邊紙如何，其故何在。
- 五 試舉毛管吸力之五事。
- 六 水與醇之面力孰大，有答語以何法證之。
- 七 玻璃管一端塗油，插入杯水內，則管內之水，升乎降乎，并言其故。

八 豎插毛管入水杯內、沒其下半截、緩緩加熱、當有何效、能作曲線以表熱度與水柱高低之關係否。

### 實驗室功課

- 一 小瓶貯水幾滿、注入橄欖油少許、力搖之、試解其靜定之後、油之結滴、當為何狀。
- 二 大杯內貯水幾滿、今以小象皮管一端插入、近杯底、口啣彼端吹之、見氣泡上升之狀如何、并解其理。
- 三 作軟木球若干、浮之水面、能分離否、試言其理。○再作蠟球若干覆驗之。
- 四 取軟木球蠟球各一、浮之水面、則二球仍如二軟木球互相攝近否。
- 五 鐵絲作架若干、仿形學諸體、如第一百十一圖、遞浸入皂水內、細觀其所成薄膜之各狀。
- 六 注皂水若干於淺盆內、口啣玻璃管吹之、成泡無數、試觀諸泡相遇時作何狀、繪圖明之。
- 七 牽長軟玻璃管、成一細毛管、斷之、長約一呎、其徑均勻、一端浸入

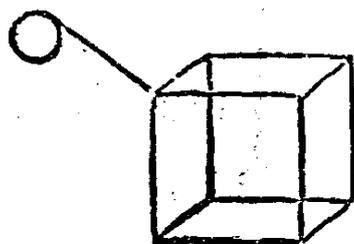


圖 一 十 百 一 第

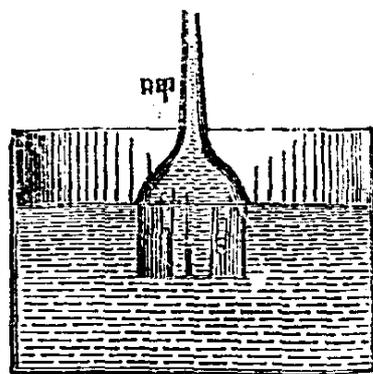
水內、令水滿管、令管沾潤後、吹出之、再直立水中、度其內水柱之高、輕輕提高此管、觀其水柱之長有變否。斷毛管、令下截短於水柱一吋、再插水內、則水由上端流出否、并解其理。

八 擇一玻管、徑約半寸餘、一端於本生燄上加熱、牽長二吋、令成細管、持其大端、漸浸入水內、迨小端盡滿、再提高之、令其小端高出水面、如第一百十二圖之呷、問管內之水、何以不落而與外水面相平。

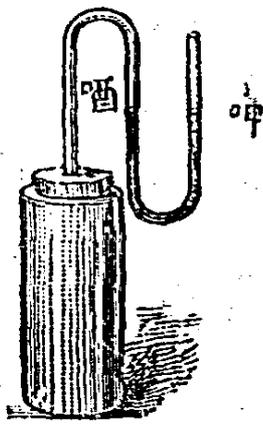
九 作試驗第四十五之融和瓶、其旁豎立一適當桿、當硫酸

加入後、觀其界線之分度。其後每閱若干時、迭觀之、試將其數、及前後所差之時分、並列一表。用此表之數作曲線、由呖軸取得時刻、由哂軸取得界線之高度、則此曲線果為直線否、試言其意。

十 取電池所用之鬆磁杯一、口塞象皮塞、其中有孔、插入玻管一、上端彎曲、如第一百十三圖之嚼、注水銀入上端、止於呷處、放出杯內之氣少許、則汞之二端可等平、乃將此杯



圖二百一第



圖三十百一第

浸入水杯內，觀呷處水面有何改變，并解其故。呷之後立一分度桿，可度得其壓力。

## 二 液質重學

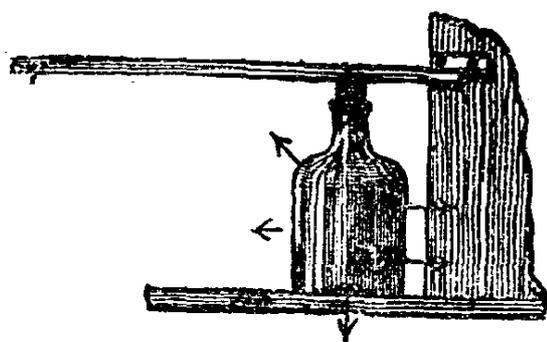
### 液質傳力

凡定質受壓力，因其合點不能互相流動，故傳其力，祇向一邊，並不減少。若在液質，則因其諸合點互相流動，故可傳向六面，而無改變。

試驗第四十七 取薄玻璃瓶一，滿盛以水，加緊密塞，用槓桿加力，如第一百十四圖，則瓶粉裂，即表力之傳向六面也。

液質合點傳力之理，可以簡法表之。取瓶滿盛黃豆或鉛丸，加力壓其最上一層，各粒本非正相疊，乃上層疊於下層之凹處，故任一粒受直施之力，必分向其與別粒接觸之點。

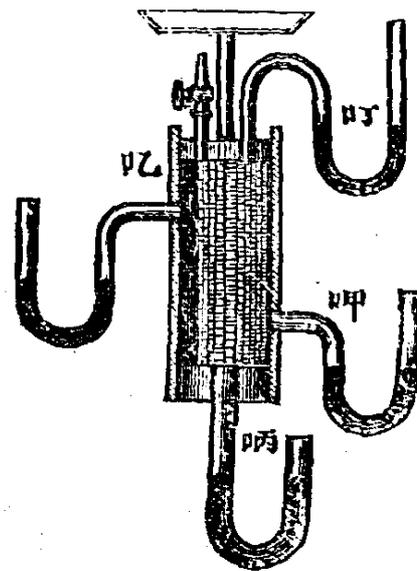
液質躍力完全，而其合點運動，流利無阻，故任一合點受壓力而分施，其大小與原力無異。按此諸理想，可得下例。



第一百十四圖

**巴斯楷之例** 壓力加於緊閉液質之任一分，乃向各面而傳，並不減少，此壓方向凡等面，其力亦等，且與之正交。

試驗第四十八 備一銅管，長約二十五糎，徑十糎，旁穿呷呷二孔，各裝一橡皮塞，中有小孔，插小玻璃管，如第一百十五圖，管之底裝一大橡皮塞，中插呷管，管頂裝活塞與叮管，各曲管內，俱注水銀，以度壓力，活塞上設一盤，以便任重，銅管之內盛以水，曲管旁鑿粘紙條，以便記汞面之高低，當盤內無重時，觀水銀之高若干，加重此盤，再觀水銀柱之變，即可度壓力。試問其改變為均勻否。



第一百十五圖

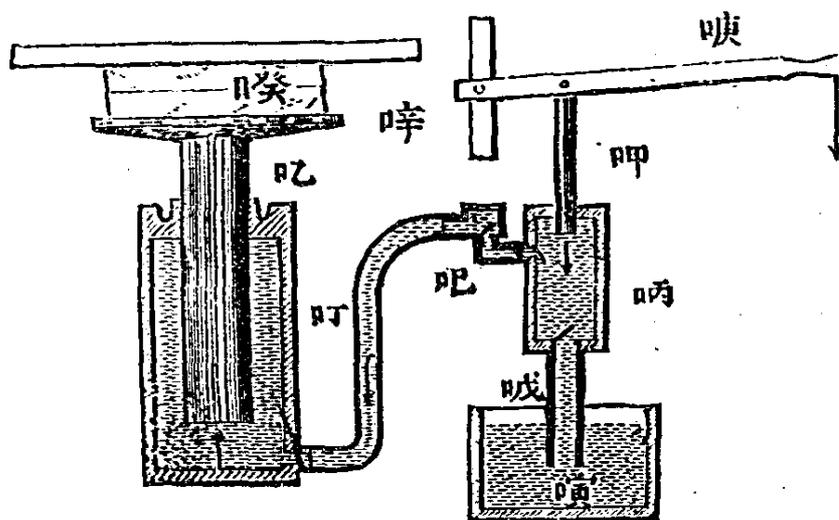
**壓水櫃** 巴斯楷之例，施諸實用，其最要者為壓水櫃。其要件如第一百十六圖，呷呷二活塞，過緊閉不洩水之口，而入呷呷二腔內，呷活塞以槓桿曠上下之，用力於呷。欲壓之物，置之呷板及定架間。機器運動之次序，則二腔及中

連之管、均滿盛水。壓下呷塞、則呷腔內之水受壓力而閉吸合葉、逼開吧合葉、呷塞所推開之水、被逼過吧合葉而入叮腔、推吃塞上行、擠壓吸物。迫呷塞提起、則吃塞之倒退力、迫水閉吧合葉、開吸合葉、水自噴上升、令呷恆滿、呷再下行時、仍與前同。

水之為物、幾於不可壓縮。而躍力純全之理、與此器大有相關。每方吋水、受一百磅壓力、祇縮原積十萬分之三十三。去壓力立即復原。

**壓力由於地心攝力** 巴斯楷之例、無

論所有之壓力、或為重物、置活塞上倚於液面、或其上再加一層液質、其理均無異。如一種液質、全體熱度均勻、即就穩定、其內並無流動。試將重木屑撒之水內、即有應驗。此即謂液質內任一點、由本體



第一百六十圖

之重。所有之壓力，必各面相等。

### 壓力與深之關係

液質之每橫層，既俱任上層液質之重，故其功效

如下二例。

- 一 任一層之壓力，與其深有比例。
- 二 一橫層內之壓力，各點俱同。

試驗第四十九 折三玻管之下端，成曲形如第一百十七

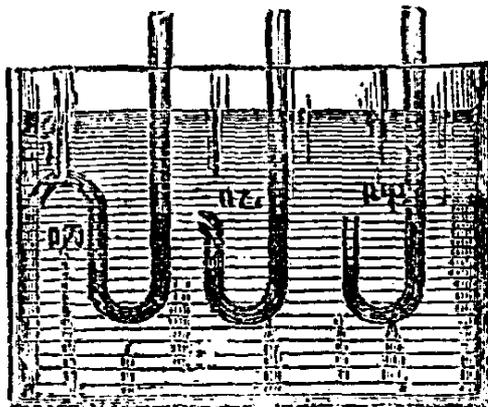
圖。卽管內注水銀少許，緩緩浸入水器內。汞面之變，即表壓力之不同。問壓力果按深遞加否？又持三管於手，令其口同在一平面。一同浸入水內，則各管之汞面有變否？其故何在。

### 向下直壓力 直邊之器內貯液質，則各層之

重，傳至下層，並不減少。故各層任其上之共重，而器

底所任之全壓力，即為器內液質之重。

試驗第五十 備玻璃器三，形如第一百十八圖，底之大小相等。磨其底，令叮片貼住，則



第一百十七圖

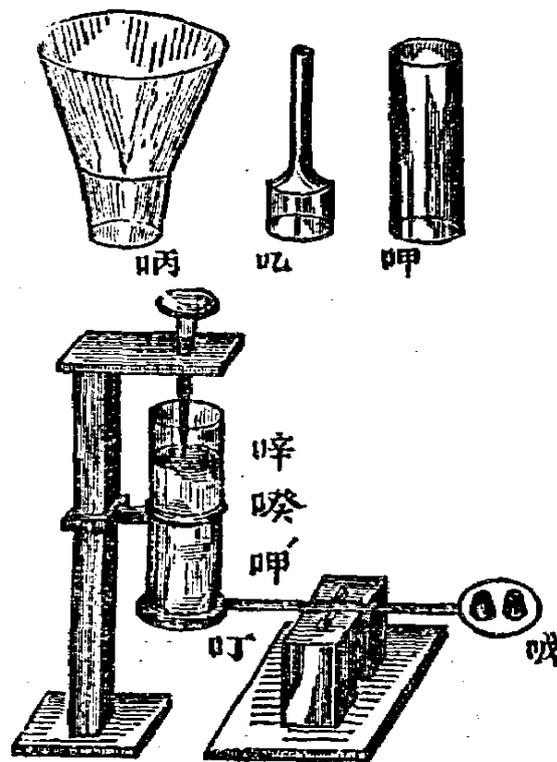
水可不洩。○直立呷器於架上，啖圈使叮啞桿適合地平，而呷底與叮片相切。○啞處加砝碼。注水入呷，啞處砝碼之重，足令叮片緊貼呷底。迨呷器注水幾溢，漸在叮片洩漏，則轉螺絲啞，令正切水面。取去呷器，遞代以啞，兩器則可見每次水推開叮片之時，水面恆等高。啞處之砝碼亦等重。

上文試驗，可證一器內容液質，其底上之壓力，與器之形狀無涉，祇視液質之深與器之底面。

試驗第五十一 水器內注鹽水，以較淡水為重，故不待等高，已有相等之壓力。

由此可見器底之壓力，亦視液質之密率。

器旁之壓力 直邊之器，內容液質，其旁面任一點之壓力，視其距液面



第一百八十八圖

之數。在器面為無，以下遞增，至器底最大。器邊之全壓力，為此諸數之和。求液質浸面所有之壓力，其術如左。

液質浸著之面，其壓力等於液質一柱之重，其底為器面，其高為其面重心與液質面之距。見七十四節平面之中央

此術於凡浸著之面俱合，無論其為直為橫為斜，或直或曲。如其面為器之底，則其液質柱之高，為液質之全深。

上例可以下式括之。 壓力  $\parallel$  高面重。 (37)

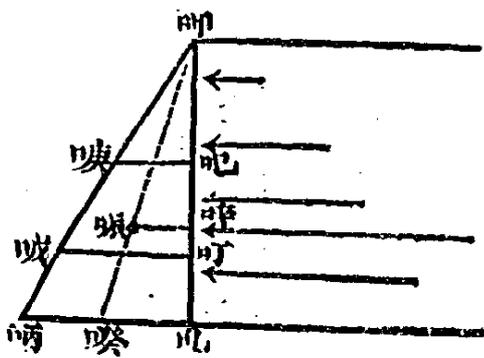
式內高為液質之高，面為底面，重為液質每立方尺即每

質之重。

水每立方呎重約六十二磅半，即一千安士。

壓力之心 凡液質浸著之面，有壓力心，即全面所

受之水壓力，若全施於此點也。如貯水之器，其邊為直角形，壓力既自頂至底遞增，故知此點必在邊之中點以下。



第一百九十圖

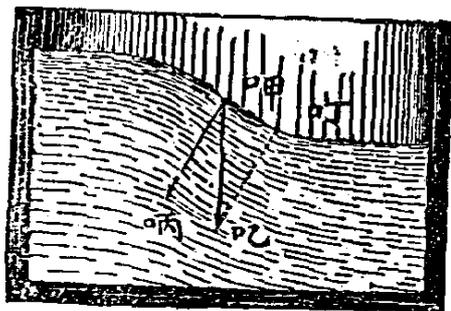
定此點之便法，作兩呷線與呷呷邊正交，以表呷點之壓力。第十九圖作兩呷線，又任作呷呷與呷呷線，與呷呷正交，即表呷呷二點之壓力。

呷呷兩三角形面積，即表呷呷所受之全壓力，自三角形中心點作垂線，遇呷呷邊於呷點，即壓力心。夫既三角形面中心點之距頂點呷呷， $\parallel$  32 呷呷，故呷呷點之距頂點呷呷  $\parallel$  32 呷呷。

如呷呷邊可以移動，則於呷點支住，即足以阻底或頂，不致為水推出。

**液質靜時之面** 由前文已知凡諸力施於液質之任一點，其功效為無，則液質靜而不動。

液質之面欲靜，必適合地平。設其面不合地平，如第一百二十圖。攝力呷呷，施於面上之任一點，如呷，即可分為二力。一為呷呷，乃垂線。一為呷呷，與面平行。首力呷呷，為液質之阻力所反抵。次力呷呷，令合點至低平面。設其面合地平，則攝力與之正交，更無分力，可與面平行，故液質靜。



第一百二十圖

一四〇  
而不動。

諸器相連之穩定

若干器具相連，注水於一器，待靜時，諸器之水面必等平。器具之形狀大小、位置，俱所不論。故噴水泉之製，近時各通都行自來水之法，皆此水流就等平面之理也。

一四一  
液質相疊

若二種或多種液質，密率不同，同注一瓶，則其靜時，各按重率之序而成層。其相切二層液質，必選其性不融和者，如以汞、水、油、醋、四物，傾入試管內，則按上文之序，自下至上排列成層。若傾入時，醋與水必相遇，則水內必先融，鎳炭強礬若干，定質多有沈於液質上層之下，而浮於下層之面者，如自行車之鉛丸，則沈至水底，浮於汞面。

一四二  
向上直壓力

試驗第四十九，已證明液質面下任一點向上之壓力，等於其向下之壓力。

試驗第五十二，擇一燈罩式之玻管，又玻片一適，足蔽其口，用鑿砂磋玻璃管口與底片，令合縫，不致洩水，乃以三線繫



第一二一圖

片、其上總爲一線、如第一百二十一圖、手持線令底片切管口、浸入水管內、釋線、水之上壓力、足托底片、令不下沈、然後注水於管內、迨底片下沈之時、管內水柱及底片之重、卽上壓力之數也。

### 習問

- 一 壓水櫃小塞之徑一吋、大塞之徑六吋、小塞上加力六十磅、問大塞上托之力、每方吋若干。
- 二 如第一問內之力、用第一百十六圖槓桿施之、槓長三呎、每呎十倚點距塞六吋、則手祇用力若干、可得上文之功效。
- 三 仿第一百十六圖、另作一圖、以表吧點十磅之力、吧點可得一千六百磅力時、應有之比例。
- 四 今有一箱、長四呎、廣二呎、高一呎半、滿貯以水、試求底及四面之壓力若干。
- 五 如上文之箱、內貯水祇三分之二、則底及四面之壓力若干。
- 六 玻璃瓶徑六吋、貯硫酸高八吋、硫酸較水重1.8倍、則瓶所受之壓力若干。

- 七 立柱高六十呎、徑二十五吋、貯水及五分之四、則柱所受之全壓力若干。
- 八 水閘之門長二呎、高一呎半、令水高過門頂十八呎、則門所受之壓力若干。
- 九 自來水塔高於分支之管一百五十吋、則管內每方吋所受之壓力若干。
- 十 一器高四十糎、長十八糎、廣十糎、一邊有圓窗、徑六糎、其上邊距器之頂為三十二糎、器滿水時、全器與窗所受之壓力各為若干。
- 十一 一箱長十二糎、廣六糎、高三糎、滿注以水、試遞推其(甲)倚底而立、(乙)倚邊而立、(丙)倚端而立、所受之全壓力。
- 十二 水池之門廣十二呎、高十呎、當池中水滿時、試迭求其(甲)上半(乙)下半之壓力。
- 十三 設有管長十二呎、插入方箱之頂、箱之積為一立方呎、則管中水滿時、箱之頂底四邊、各受壓力若干、當箱裂碎時、其受全壓力若干。
- 十四 玻璃之軟木塞、徑十二吋、如瓶沈入湖內、深一百五十呎、則塞面所受之壓力若干。
- 十五 某村有蓄水池、其壓力表、每方吋受壓力六十四磅、則此池高若干。

十六 築堤以禦湖水、堤長四十呎、高十五呎、則受壓力若干。湖面大小與壓力有相關否。

十七 堤面長十二呎、高八呎、則其壓力心何在。

十八 以木板箍成之桶、高三呎、內滿以水、欲以一箍束之不散、當束於何處。

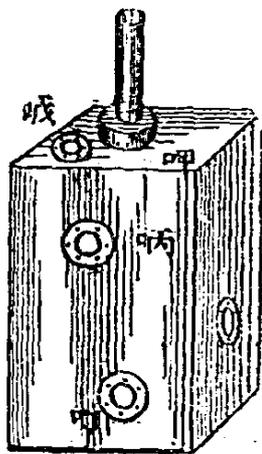
十九 第一百二十一圖之片、徑為八呎、在水下十五呎、則受水之倒壓力若干。

二十 有圓木桿、長七十五呎、徑四呎、直伸入水內、至滅頂、如桿之重為三百五十五、則必用力若干、始能令其定於此位。

二十一 有方梭錐體、高十六呎、底邊各二十四呎、全沈水內、則其各三角斜面所受之壓力若干。底所受之倒壓力若干。

### 實驗室功課

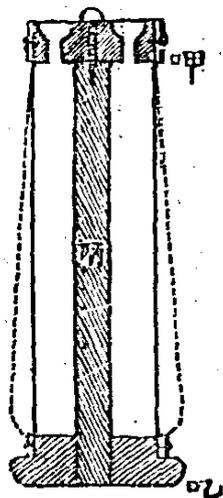
- 一 作一木箱、令不洩水、於其二端及旁邊鑽數穴、徑皆一吋、如第一百二十二圖之呷、呷等、呷穴內插一橡皮塞、中有孔、餘諸穴俱以薄橡皮蓋之。法取一熟皮環、內徑一吋、釘其四周、令不洩水、次乃注水滿箱、觀水重之功效。



圖二百二十一第

如何。插玻璃桿一條入橡皮塞孔、推之、下行、遞次、高下不同。觀各穴橡皮蓋之情形如何。欲度其突出之數、則當如第一、百二十三圖、製一木架、內貫分度尺吋、則橡皮蓋凸出若干、始易覺察。

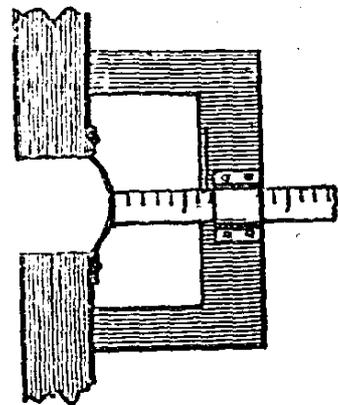
二 取圓木片二、如第一百二十四圖之呷、中貫木釘柄、



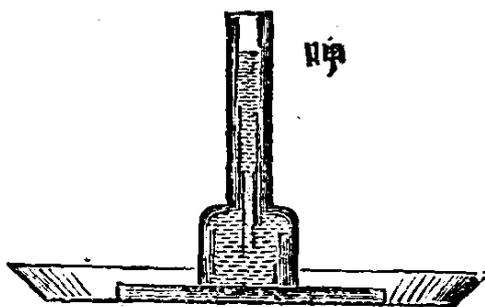
圖四十二百一第

長約二呎、自呷片套入合式之軟橡皮管一、於呷乙二端、用熟皮條紮緊、令不洩水、乃注水滿之、管邊因水壓力而離直線、可度其偏度若干。試察水之壓力、果按深遞加否。

三 淺盆內置光滑玻璃片一、其上立一重燈罩、如第一百二十五圖、其二端亦磋商使極平、注水入之、高至呷字、見有何驗、并解其理。倒置燈罩、小端在下、再注以水、則有何效。前後二效、何以不同。



圖三十二百一第



圖五十二百一第

### 三 重率

## 亞基米德發明之理

試驗第五十三 簧秤下、以線繩石塊稱之、得重、令

石沈水內、其重即減少、何故。

試驗第五十四 天平之一端、懸一短銅管、如第一百二十六圖、其下有鉤、繩銅圓柱體、適可容入呷管內、一端盤內置砝碼、使之均平、設浸吃入水杯內、重即不均、注水滿呷、則仍均平。

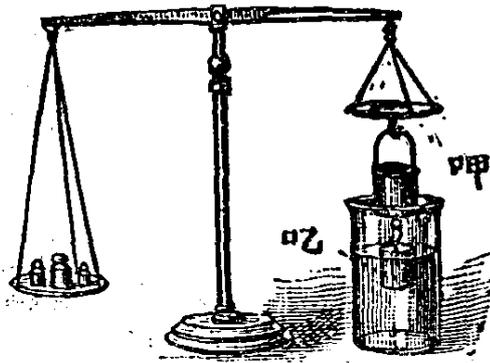
由上試驗、可知物體浸入液質內、則失其重、所失之數、適等於其壓開之水之重、此為亞基米德發明之

理、亞基米德考得此理、演為例語曰、

一體浸入液質、所失之重、等於所壓開之水之重。

液質欲舉高物體之力、曰液質之浮力、視液質之密率而異。

立方體沈入液質內、其四邊所受壓力、兩兩抵消、上面兩第十七圖所受之壓



圖六十二百一第

力、等於一水柱之重、此柱之底即兩面、其高即為兩面與水面之直距。可底所受之倒壓力、亦等於一水柱之重、此柱之底即叮面、其高即叮面至水面之直距。二處壓力之較、即為液質浮體之力、適等於立方體等積入水一段之重。試驗第五十四、即證明此理。



圖七十二百一第

浮體 置體於液質內、體之位置、必視體與液質之密率比較而定。如石置水內、因其較重於水、故必下沉。如橄欖油一滴、置於同密率之水酒精液內、則任置何處、凝而不變。如木片置水內、則上升至面而浮。亞氏之理、於上數事俱合。故有浮體之例、如左。

浮體所壓開之水、正等於體之全重。

試驗第五十五 取一杉木條、長二十五糎、一糎見方、一端穿穴、灌入鎔鉛、劃條之邊為糎數、條之遍體、俱塗石蠟、就火上烘之、令入木之微隙、再直浮之於



圖八十二百一第

高水瓶內，如第一百二十八圖，則每一立方糲水重一瓦，故觀木條沉水至若干糲，即其本體之全重。

一四五

**密率** 物質在體積準箇內之數，即爲此質之密率。如設一立方糲淨水之

體質爲一，則等積他物之體質，即爲其密率。較求體之密率法，以體積約其體質。如鉛之體質爲 4.54 瓦，其積爲四立方糲，則有  $4.54 \div 4 = 1.135$  瓦，爲其每立方糲之密率。

一四六

**重率** 凡在同處等體積之物，其重之比例，一如其體質之比例。故可以重率之名代密率。較既以淨水爲重率之準則，故重率可以下式表之。

重率  $\parallel$  體在空氣內之重  
等積水之重

即 重率  $\parallel$  體在空氣內之重  
體在水內所失之重

即 重率  $\parallel$  重  
重

式內重爲體在空氣內之重，重爲在水內之重。

一四七

**求較重於水之體之重率** 以細線縛一體，懸於天平之一臂衡之。

(38)

得數命之爲重。再令此體懸於水內衡之，如第一百二十九圖，得數命之爲重。用此二同數代入(38)式，得數卽此體之重率。

算式 石在空氣內之重(重) || 146瓦

其在水內之重(重) || 94瓦

∴ 重率 ||  $\frac{146}{94} = 1.553191489361702127660107670212766$

求能融於水之體之重率 空氣內稱此體

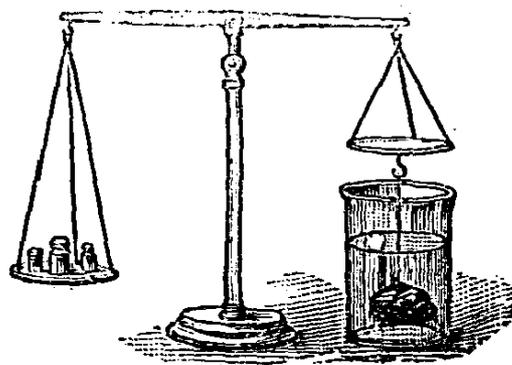
得數爲(重)再於不融之液質中衡之，得數爲(重)求得準此液質之重率。  
(重一重)次以此液質之重率(申)乘之，即得以水爲準之重率。

算式 體在空氣內之重(重) || 214瓦

在某液質內之重(重) || 143瓦

液質之重率(申) || 915

則有 重率 ||  $\frac{214}{143} \times 915 = 1343.5$



圖九十二百一第

一四九

求較輕於水之體之重率 先於空氣內稱之得數為(重)另取一

重物為絕件稱於空氣內更稱於水內命其所失之重為丑將此重物繫於體上同沈水中稱之所失之重為丑自丑減丑其餘數即輕體所失之重以此數除空氣內之重即其重率。

算式 體在空氣內之重(重) || 2 3 5

重物在空氣內之重(申) || 2 3 1 瓦

重物在水內之重(申) || 1 9 9 瓦

重物與體同在空氣內之重(重十申) || 2 5 4 瓦

重物與體同在水內之重 || 1 6 6 瓦

重物與體同在水內失重(丑) || 8 8 瓦

重物在水內失重(申一申) || 丑 || 3 2 瓦

重率 ||  $\frac{88}{166-32}$  || 4 1

求液質之重率 (甲)用重率瓶法 凡小口瓶頸有識點者皆可用先

一五〇

稱空瓶之重爲(甲)貯水至識點再稱之爲(乙)二者之較卽水之重爲(乙-甲)次貯所求之液質於瓶內稱之爲(丙)則(丙-甲)爲此液質等積之重故其重率爲 $\frac{\text{丙}-\text{甲}}{\text{乙}-\text{甲}}$ 。

算式 空瓶之重(甲) || 5.4 瓦

瓶滿水時之重(乙) || 30.4 瓦

瓶滿液質時之重(丙) || 25.2 2.5 瓦

重率 ||  $\frac{\text{丙}-\text{甲}}{\text{乙}-\text{甲}}$  ||  $\frac{25.2-5.4}{30.4-5.4}$  ||  $\frac{19.8}{25}$  || 79.3

重率瓶平時應製備之驗其於某熱度時容水若干瓦卽按此作識點。

如瓶足容水一千瓦則易得其重率蓋千瓦重率瓶貯輕綠酸一千二百四十瓦則其重率爲 1.240。

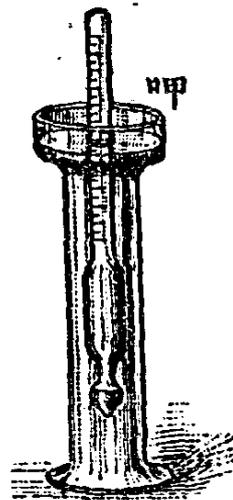
(乙)用重率球法 稱球形重物於空氣內爲(甲)再稱於水內爲(乙)又稱於所求之液質內爲(丙)則液質重率爲 $\frac{\text{甲}-\text{丙}}{\text{甲}-\text{乙}}$ 。

算式 銅球在空氣內重 46.3 瓦(甲)在水內重 40.7 7.7 瓦(乙)在煤油內重

41683瓦(丙)故

煤油重率 || 46633 - 44016783 || 5562137 || 836

(丙)用浮表法。浮表恆用一細玻璃管，下端有二泡，封閉不洩，下泡內置水銀或細鉛丸，所以使表桿直立。用於重液質者，其起點在上端，向下按百分分之第一百三十圖，為恆重浮表。用時浸入浮表瓶所貯之液質內，以觀液質所至之高為何度。測某種液質，以特製之浮表為便，如酒表，所以測酒內含醇之百分數。乳表，所以測乳之純否。



圖十三百一第

### 習問

- 一 鐵筭浸入水內，提出水面時，較之在面下時為重，何也。
- 二 薄馬口鐵片能浮水面否，可屈之成形而浮於水面否，其故何也。
- 三 石之體積為二立方呎，在水內重二百二十五磅，(甲)則在空氣內當重若干，(乙)其重率若干。

四 大理石一方、在氣內重四百二十六瓦、在水內祇重二百七十六瓦（甲）、其重率若干（乙）、其積若干。

五 一體長二十五呎、廣十二呎、高六呎、懸於水面之下四十四呎、其下邊正合地平、各面所受之壓力若干、且在何向、其壓力之功效如何。

六 如以一竿長八呎、或十呎、暴插入一深潭內、則必躍出其半長、其故何在。

七 某種金類 $5.6$ 立方呎、重四千磅、其重率若干。

八 一種玻璃、在空氣內、重 $321.5$ 瓦、在水內重 $224.6$ 瓦、則此種玻片長三呎、廣 $2.5$ 呎、厚 $1.5$ 呎、當重若干。

九 大理石之重率為 $2.837$ 、今有大理石一方、長六呎、廣四呎、厚三呎、其重若干、必施若干工程、乃能提之直高一百二十五呎。

十 象牙之重率為 $1.917$ 、有一球徑四呎、其重若干。

十一 鐵之重率為 $7.82$ 、有一柱長 $5.5$ 呎、徑 $5$ 吋、其重若干。

十二 一體在空氣內、重四百三十七瓦、在某液質內、重 $202.7$ 瓦、此液質之重率為 $1.42$ 、則體之重率若干。

十三 石蠟在空氣內之重1.3.8瓦、絕件之重2.1.0瓦、在水內之重1.9.1.5瓦、二者同在水內之重1.7.1.6.1瓦、則石蠟之重率若干。

十四 有一瓶重2.3.1瓦、貯水至識點、重4.8.1瓦、貯硫酸則為6.9.1.2.5瓦、硫酸之重率若干。

十五 水晶一塊在空氣內重1.4.3.2.6瓦、在水內重8.9.2.6瓦、在硝酸內重6.6.5.8瓦、硝酸之重率若干。

十六 銑之重率為2.0.3.3.7、汞之重率為1.3.6、今有銑球徑三釐、在汞內當重若干。

十七 2.5釐重之空銅球、浮於水面、其積當為若干、其徑當為若干。

十八 生鐵之重率為7.1、今有生鐵球一、徑六吋、浮於汞面、則其在面上之體為全體之何分。

十九 下表列攪金之成色、試各推其重率、各種金類之重率、可於末卷附表內檢之。

紅銅 銅九十分、銓十分。

黃銅 銅七十分、銓三十分。

青銅 銅八十五分、錫十五分。

日耳曼銀 銅五十二分、銻二十六分、鎳二十二分。

### 實驗室功課

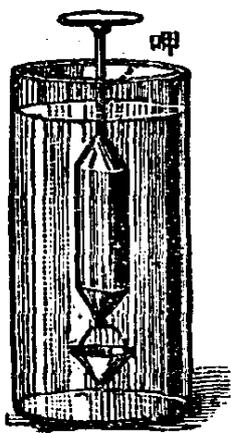
一 取一球能沈於水者、迭次度其徑、取其中數、推得球積、次衡之得其重數。又取圓柱形筒一、其邊識有立方糶數、注以水、觀其面至何處。乃以線鎚球入水內、再觀水面升至何處。此二分度數之較、與所推得之積合否。再取與球等積之水、衡其重若干。末按 (3)

8) 式求球之重率。

二 用衡法以求石英生鐵玻璃管銀圓各一枚之重率。

三 用一鉛球為紐件、以求蠟或石蠟一塊之重率。

四 用尼哥耳孫浮表、以求前問內蠟之重率。表之式如第一百三十一圖、以銅管為之、下端有圓錐形斗、內置重物、令表之上端正出水面一吋、上端連直銅桿、其上有盤、可置砝碼。



圖一十三百一第

此具為恆積浮表，起點叩在銅桿上，其求重率之法如左。

上盤內置砝碼，恰令叩點與水面齊，命此重曰（重），取去之，置蠟其上，另加砝碼，再令叩點與水面齊，命此次所加之重曰（重），又取去之，以線繫蠟於下盤，而加砝碼，令叩點又至水面，命此次所加之重為（重），是則

重率  $\parallel$   $\frac{\text{重一重}}{\text{重一重}}$  試言其故。

割一圓片，狀如第一百三十二圖，套於圓管上，上盤之下，以免盤內加碼過重，浸入水內，亦可免砝碼之墮入水內。

五 以重率瓶定釀之重率。

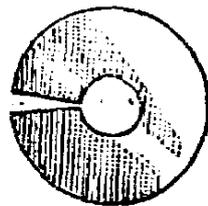
六 以粗厚玻管，一端鎔而封之，上端牽長曲轉，如第一百三十三圖，作為重率球，用以定第五課內釀之重率，須將此重率球在氣內水內之重數，

一一記之於冊。

七 製百分之二之鹽水，用浮表度其重率，再加鹽，令其含鹽率為百分之四，而度得其重率，以後迭次加濃百分之二，而求其重率，每次必待其鹽消盡後測之，直至消鹽飽足而止，乃將所得之數列表，并作曲線，自呖軸度得百分數，自嘍軸度得浮表度數，細玩此



第一百三十三圖



第一百三十二圖

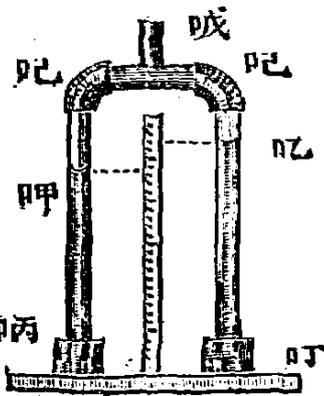
曲線而解其理。

八 取玻璃管長約四呎至六呎，中段於魚尾火燄上加熱，至櫻紅，離火，緩緩屈之，令其二臂平行，以此法屈玻璃管，較用本生燄尤妥善。乃注汞少許入管內，令成呷呷平面，如第一百三十四圖。次於其一臂注水，一臂注醕，令汞面仍平。觀水柱之高呷呷，醇柱之高呷呷，各為若干，則醕之重率，可以下式明之。

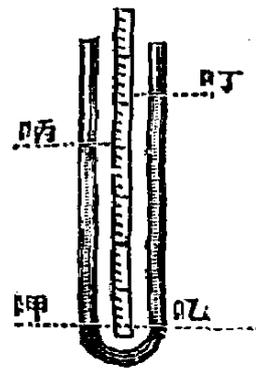
重率  $\parallel$  呷呷

此名曰較柱法。如二液質不相雜和，則無需用汞，但尋常用之為便。欲觀管內液質柱高低最精之法，乃置適當桿於二管之間，用小遠鏡之有交線者窺之。

九 取玻璃管二條，長約一邁當，內徑約五耗，於其乙端用橡皮管吧吧，接連丁字式玻璃管，如第一百三十五圖，裝之架上，其丁字管插入呷呷二杯內，呷杯貯水，叮杯貯求重率之液質。在丁字管上端呷呷字處，按以橡皮管，用口吸去呷呷二管之氣，二杯內之液立刻上升，其柱之高，與其密率有反比例。



圖五十三百一第

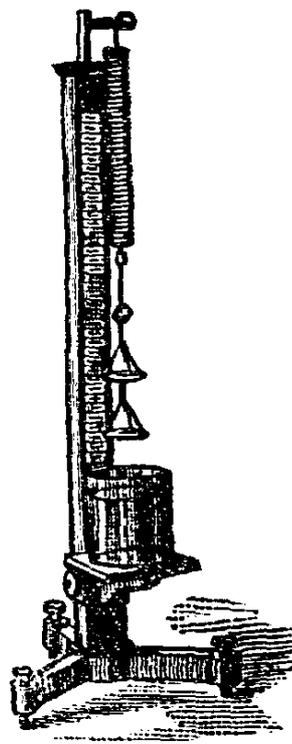


圖四十三百一第

用夾夾住其上端橡皮管，令不洩氣，乃觀呷呷二柱之高，而其重率  $\parallel$  呷呷  
 注○橡皮管內面，須塗甘油，其接玻璃管處，以繩繫緊，觀液質柱之高，按其凹面之切線為  
 準，以小遠鏡窺之為佳。又必除去因微孔吸力所升之高，此可於未吸氣之前度之。  
 此法名曰亥耳器之法。

十 取二十四號銅絲二十五呎，繞於  
 徑4吋之圓木桿，成螺絲圈簧，一端懸  
 之架上，下端繩表面所成之盤二，如第  
 一百三十六圖。其下製一托架，可上可  
 下，令定於一處。其上置水一杯，適在下  
 盤之下。簧後，裝一窄長之鑑，用刀尖於其水銀背上，畫分耗數，又於簧與上盤之間穿一  
 玻璃，以識度分。用時祇觀球之上邊與鑑內之影齊平，即得其所在之耗數。  
 盤中不置重時，可將下盤浸入水內，令水面正遇繫盤三線之中央一絲，而觀球所在之  
 分度若干。

上盤內置砝碼一瓦，觀其度分，又置二瓦三瓦，迭觀之，察其較數有定否。每重一瓦得相

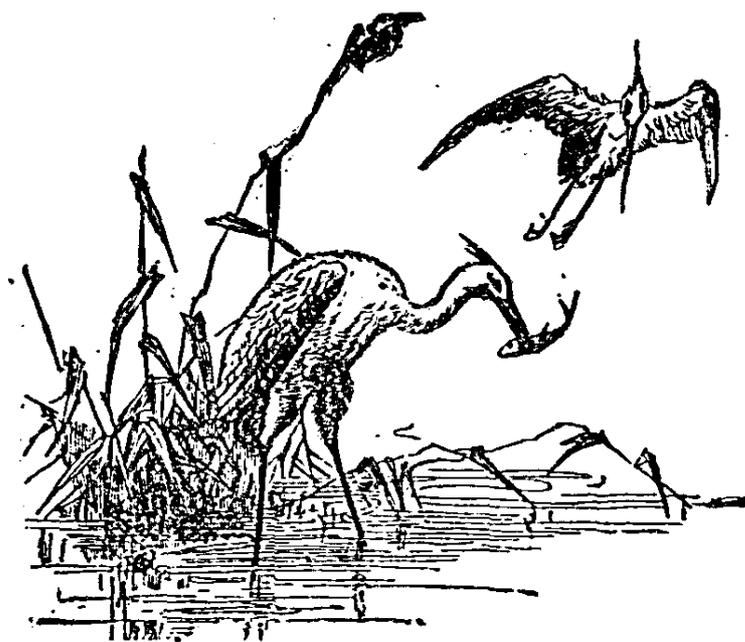


圖六十三百一第

當之糈數若干。試取第二十四號銅絲六吋衡之。

求小塊石英之重率法、先觀無重時之度分、命之爲(重)、置石英於上盤、移托架位、令水面仍遇下盤如前狀、觀其度分、命之爲(重)、置石英於下盤、觀其度分、命之爲(重)、是則其重率  $\parallel \frac{\text{重一重}}{\text{重一重}}$  試言其故。

上法所用之器、恆用以定小樣鑽石之重率、用之合法、則爲最精之具。學者宜習用以衡小重、且定重率。



● 第五章 氣質

氣質與氣之別 氣質者、物質合點互相流動極易之一狀態也。氣質無

自存之形狀、納之何等器內、即作何等形狀。加大壓力、及減其熱度、能令氣質變為液質。

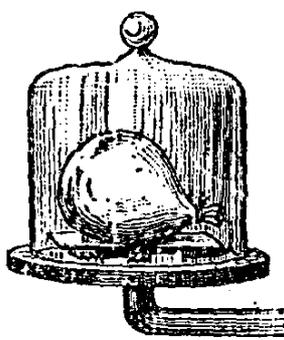
氣者、謂尋常熱度時、液質所成之氣也。如水之氣、空氣則氣質也。究氣質之狀與其性、可用以代表諸氣質。

漲性 試驗第五十六 取橡皮管一、鼓氣少許、緊緊紮其口、

納入抽氣筒之鐘式罩內、抽去罩內之氣、則球漲大、連抽則漲不已。

欲解漲大之由、必先知氣質運動之理、蓋氣質之合點、

恆依直線向前運動、與他合點或器邊相擊、始轉其向、置橡皮球於罩內時、球內每立方糵空氣之合點數、與球外相同、內外合點之擊力相消、故球皮不動。道罩內之氣、因抽出而較稀、則於等面積上、球內空氣合點之數、較球外為多、



第一百三十七圖

一五三 故球皮伸長，令其相等而止。是於等面積內外合點之數仍相等，即其密率相等也。此時苟放氣入罩，則球外之撞力增加，球為所擊，而仍縮為原形矣。

一五四 縮性 取一端有底之圓柱管，推進活塞，即可顯氣質之縮性。法持試管口向下，直插入水內，愈深則管內之水上升愈高，管內之氣愈壓縮，亦必愈用力推之，方能下降。

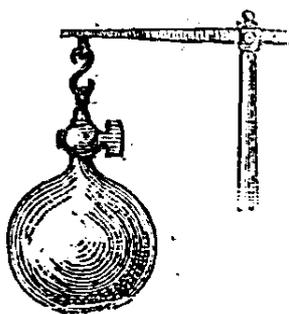
躍力 氣質不特有縮性，且有躍力，可以下法驗之。

一五五 試驗第五十七 取自行車之積氣筒，俗名打氣管將活塞退至口處，閉其下端之管，乃猛推活塞入口，可近底處，約縮十分之九，然一釋手，則活塞仍躍至頂。

氣質之躍力，與定質所蓄者不同，一則體積之躍力，一則形狀之躍力也。

重 氣質雖為物質之最輕者，然亦各有其重，可徑衡得之。

試驗第五十八 用精細天平，衡一輕玻璃瓶，其口有塞門，抽去其內之氣，再衡之，則必較前為輕。如第一百三十八圖



圖八十三百一第

依此可得空氣與他氣之重。乾空氣一立方呎、當百度表 0 度、風雨表七百六十耗時、重 0 0 1 2 9 3 瓦。水之重於此時為一瓦、故氣重抵水重之 7 7 1 3。氣之最輕者為輕氣、每立方呎重祇 0 0 0 0 8 9 5 瓦。空氣較之尙重 1 4 4 倍。按英國衡數、空氣每立方吋重 3 1 喱。碳養二氣重 4 7 2 5 喱。

**空氣之組合** 地面之空氣、乃氣質雜和而成、所含各積、及體積之平均分數、如下表。

育氣	7 7 5 0 分
養氣	2 0 6 4
氦	1 0 0
炭氣	0 4
水氣	8 2
	1 0 0 分

除上表所列外、空氣尙含氫、臭養、等質。近考得空氣所含氣質之最要者為氦、

係一千八百九十五年、英國物理學家雷賴、美國化學家蘭賽、屢用精法研究所得。

一五七

### 空氣壓力

氣質之合點、既運動無礙、則巴斯楷液質之例、亦可用於氣

質。抑空氣既有重、故近地面一層空氣、必任其上之空氣之重。

試驗第五十九 取二端開口之玻泡、如第一百三十九圖、上端紮

薄橡皮一塊、一端置抽氣筒臺上、略抽去球內之氣、則見橡皮癆入

球內。試問抽筒未動之前、球內有何物抵消空氣之壓力。

又法紮牛脬一片於玻球泡之頂、待乾、抽出內氣、脬即迸裂。

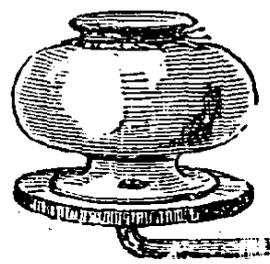
試驗第六十 取敞口長玻管一、割短之、令長四吋、如第一百四十圖、下套軟橡皮管乙、

彼端連短玻管丙、作爲口件、敞口呷處、紮薄橡皮一片、口呷

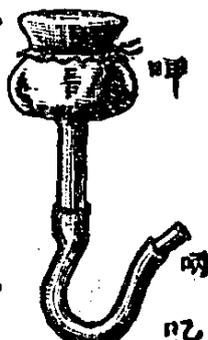
管、吸出內氣、試觀橡皮如何。持杯向各方向、以定空氣之壓力

各面皆同否。

試驗第六十一 玻杯滿水、將厚紙片或薄玻片、自杯邊輕移蓋住、不令內有氣泡、乃一



圖九十三百一第



圖十四百一第

手持片、一手將杯傾覆、釋片不持、而片不落、其故何在。

再持其片轉杯、令其口橫列、而片豎直、釋手則片仍緊貼杯口不落、此可表明何事。

試驗第六十二 備長玻璃瓶一口、塞橡皮、塞有孔、插入玻璃管一條、其下端抽成尖管、上端連橡皮管、通於抽氣筒、抽去瓶內空氣、夾緊橡皮管、令不洩氣、乃倒其瓶、令玻璃管下端浸入杯水內、如第一百四十一圖、拔去橡皮管、則杯水面之空氣、壓水入玻璃管、上噴如泉、迨瓶內所有之水積、等於抽出之氣、即不再噴。

此法甚古、名曰真空噴泉。

一五八

麥保半球

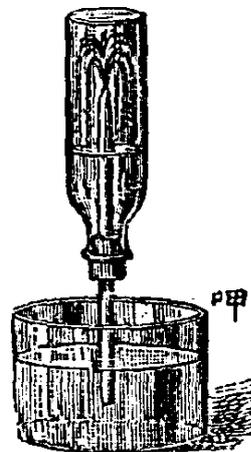
試空氣壓力之古法、用二銅半球、其口密

合、各半球裝柄、其一有塞門、連於抽氣筒、待氣抽盡、則二半球必有大力、乃能開之、因內外壓力不均故也。

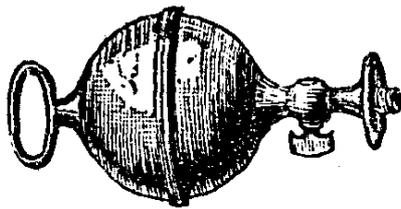
一五九

空氣之壓力分量

如上試驗、足證空氣之有壓力、

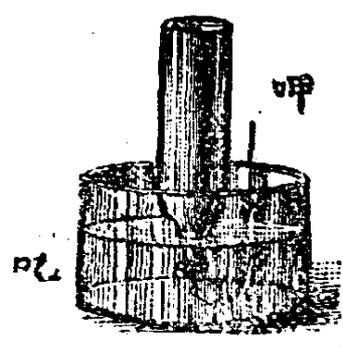


圖一十四百一第



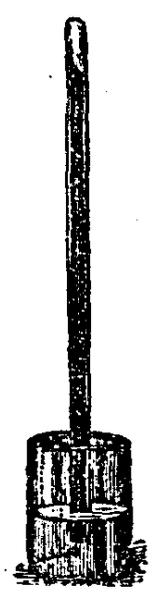
圖二十四百一第

然未能定其分量也。求其分量法與求液質重率之雙柱同理。試以呷瓶滿水，倒之，令口浸入吃器水內，如第一百四十三圖，則瓶內之水不洩。蓋呷瓶水之下壓力，有吃器內水面空氣下壓力，傳至瓶口，向上與之抵消故也。欲令水柱抵消空氣之全壓力，則第一百四十三圖之瓶，必用極長之管，然用較重之液質代之，則用短管亦可。



圖三十四百一第

試驗第六十三 取一玻璃管，長八十糎，內徑約六糎，一端有底，注入水銀幾滿，以指捺其口，倒轉數次，去其管邊所黏之氣泡，再裝滿水銀。用手指按住管口，倒插入水銀杯內，徐徐移去手指，勿令空氣入管，管中水銀卽下落若干，其餘之汞柱，卽可度空氣壓力。



圖四十四百一第

**海面空氣之壓力** 在海平面，水銀柱之平均高數，為七十六糎。此數與管徑無涉。倘管之橫剖面為一方糎，則汞之積為七十六立方糎，既其重率

為 13596 故其重為 10333 瓦。按英國數計之，汞柱之高，常為三十寸。如管之剖面為一方吋，則其重為 147 磅。按華數則汞柱高 42 斤 此重即為空氣之壓力數，故有諛語曰：

空氣壓力為每方吋 147 磅，即每方糶 10333 瓦，亦即每方寸 14 斤。此數名曰一空氣之壓力。因其屢變，故略言之曰：每方吋十五磅，或曰每方糶一瓦。

**風雨表** 試驗用玻管滿貯水銀，係一千六百四十三年吐黎失利所首倡，

故管內上端空處，名曰吐黎失利真空。

水銀風雨表之要件，為一玻管，長二十四吋，滿貯水銀，下端倒注入杯內之水銀面下，豎立於

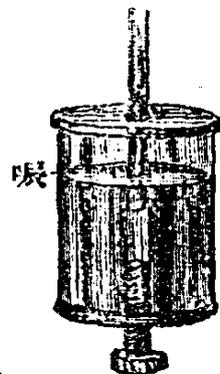
架上，近頂處有分度尺，其圈點即為杯內水銀之面。第一百五十四圖

觀風雨表之度分，每藉副儀之助，以得準數。用時須令副儀上至水銀凸面之



圖五十四百一第

頂且人目必與水銀柱頂平。法在柱後置一小鑑，則易見已目之影與柱頂齊。未觀度分之先，杯內水銀面，必使合於已定之圈點。法於杯底裝一螺絲，可以



第一四百六十六圖

進退，以升降杯中水銀面，俾正合杯內向下之針，如第一百四十六圖之脈。如用較輕之液代汞，則其柱必按比例增長，空氣壓力既變，而升降之數亦因以增大。如甘油之風雨表，必長二十七呎。常風雨表升降一吋，則此表升降十

一六二

一吋。  
**空盒風雨表**之要件，為金類扁盒，上為圓面，其一端之金類極薄，抽出其

盒中空氣若干，封閉之。其薄面與輪機接連，薄面動，即撥指針，令轉行於圓面。

錶如薄而何以能動，學者能知其故否。

空盒風雨表便於攜帶，用以測山之高下，甚宜。

**風雨表之升降** 夫風雨表汞柱之高，既可度空氣之壓力。故空氣壓力

有變，風雨表之升降可以顯之。測候臺常以預占天氣，蓋多年閱歷之所得也。

一六三

風雨表度數與天時之關係、有左四條。

一 天氣清晴之前、風雨表上升。

二 風雨之前、風雨表下降。

三 大風雨之前、風雨表驟降。

四 風雨表高而有定、則天氣佳而不變。

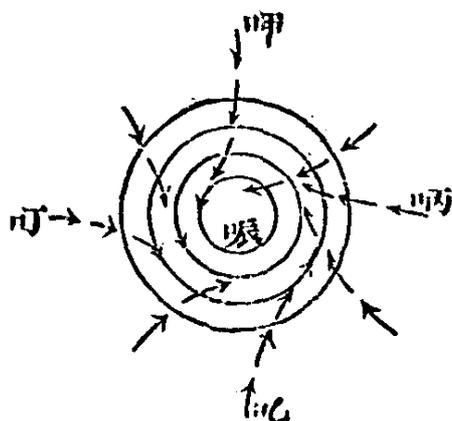
### 旋風之壓力

風雨表之度分與旋風之方向

有關、觀第一百四十七圖自明、吸為旋風之中心、壓力最小、呷、叮等處、壓力最大。空氣驟向吸點衝突、設在北半球、風自呷方吹向吸、遞遇轉向東較速之地面、故如落後、在中心之西。吸點以北之空氣皆如此、其南則相反、故令風有旋轉之勢。其方向與鐘之指針相反。設一人背風而立、則風之中心在其左、即風雨表最低處也。

### 空氣之高

空氣之縮性甚大、故近地一層、其密率必較大於上面、漸高



第一百四十七圖

則密率漸損。然無定例可確知風雨表之度分與空氣之高如何相關。但略知自海面上升每九百呎水銀柱降一吋而已。

如空氣之密率均勻則地面可有平均天氣。設有某面為底長之準筒為高之空氣柱其重數除某面所受之壓力可得平均天氣之高即高  $\parallel$  壓 (39)

**巴哀勒之例** 氣質體積與其所任壓力之相關曾經巴哀勒與麥利解

二博士考究所得之理名曰巴哀勒之例演成題語如左。

熱度不變時氣積如所受壓力之反變。書為同理比例則為  $\rho \cdot \rho' \cdot V \cdot V' = \text{const}$  由此得式為

$$\rho \cdot V = \rho' \cdot V'$$

是即  $\rho \cdot V$  為常數也。

空氣之體質不變而體積減少是必其密率有加故有題語如左。

熱度不變時氣之密率如所受壓力之正變。

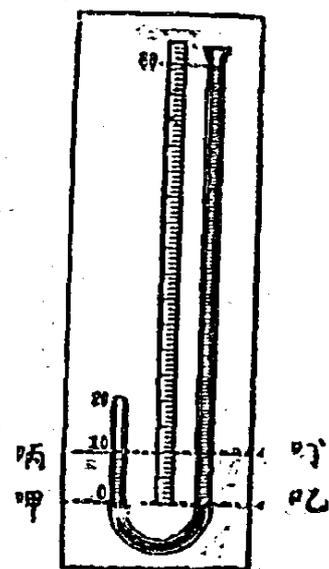
**巴哀勒例之實驗** (甲) 壓力大於一空氣者。試驗第六十四 曲一玻

管如第一百四十八圖之式，其長臂開口，短臂閉口，直立架上。二臂之間，設一分度尺。用長漏斗注汞入長臂內，時時輕拍其管，令短臂內之氣泡透入長管，故叩叩二面等高。此點可任意為之。設在短管閉口下二十糲，長管內再注水銀，必較短管

汞面高七百六十糲，乃可使短管汞積縮至一半。可知短管汞面所受之壓力，即其上空氣之躍力，足抵長管內兩叮以上之壓力。蓋空氣壓力有二，一為七百六十糲汞，一為其上無礙之空氣也。試言何以證明前例。

(乙) 壓力小於一空氣者。試驗第六十五。直立一玻管，下端閉口，長七十糲，內徑至少八糲。又割取玻管一段，外徑六糲或七糲，面上作識點三，其一在距任一端十糲處，一在二十糲，一在五十八糲。次注水銀入粗管，迨細管插入，則十糲之識點在上，粗管內水銀能上升至細管之十糲點而止。次以手指按沒細管之頂，令管內氣柱長十糲，而提起細管，迨管內水銀降至廿糲點，其外之水銀，乃下至五十八糲點，其故何也。

壓力表者，度氣質壓力之具也。有二式，一為開口，一為閉口。

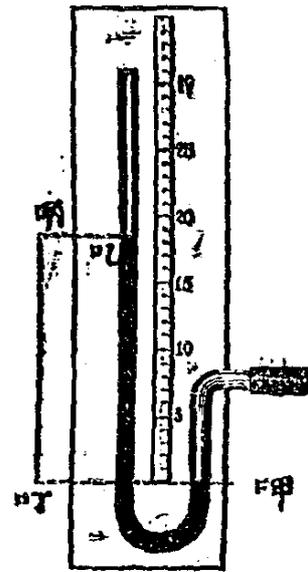


圖八十四百一第

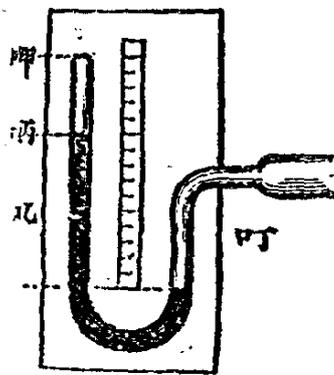
(甲) 開口壓力表。為曲玻管一，直立架上，二臂間設分度尺，第十九圖先注入汞或別種合用液質，次連短臂於貯氣之器，氣未出時，二臂之汞面齊平，及氣通入管，則見二柱高低參差，即壓力之驗也。兩叮液柱之重，即壓力之數。度小壓力，多用此器。

乙) 閉口壓力表。如第一百五十圖，異於前表者，因長臂閉口，且較短，氣未放時，二臂之汞面齊於吃兩，迨塞門一開，則氣之壓力，不但令二臂汞柱參差，且迫吃兩氣柱之積，縮為呷兩。度大壓力，則用此具，試解用以計壓力之法。

虹吸為二臂不等長之平行曲管，用以升高器內液質，越器邊而入低器之內。凡形式合宜之管，而不為液質所化合者，皆可用。以軟橡皮管作虹吸，頗合



圖九十四百一第



圖十五百一第

式。

試驗第六十六 彎一玻璃管、令如第一百五十一圖之式、滿注以水、手指按沒長臂之口、倒之、挿短臂入水杯內、水即自長臂之口下流、迨杯內水面低於短臂之口而止。

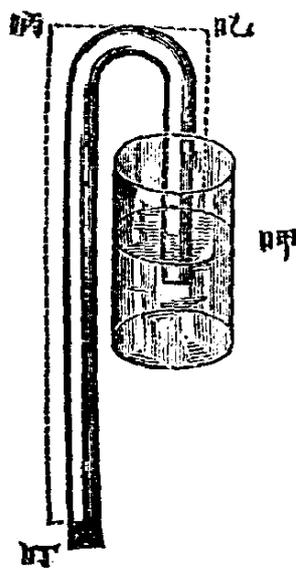
### 虹吸運動之理

在水面呷處、第五十一圖

短臂內之向上壓力、為空氣壓力。其向下壓力、為呷吃水柱之重。可點之上壓力、亦為空氣壓力。其下壓力為叮哂水柱之重。二點壓力之功效、各等於空氣壓力減水柱之重。

夫叮哂柱較呷吃柱為長、故呷點之上壓力大於可點、水為所迫、由呷向叮。夫呷吃水柱之壓力、如不小於空氣壓力、則水不能流。故虹吸當風雨表為中數時、不能提水高過三十四呎、亦不能提水銀高過三十吋。

所得壓力之功效、視二水柱之高低較、故其較愈大、則水流愈速。抽氣筒者、連於他器而抽出空氣之具也。其要件為呷筒、第十二圖內有活



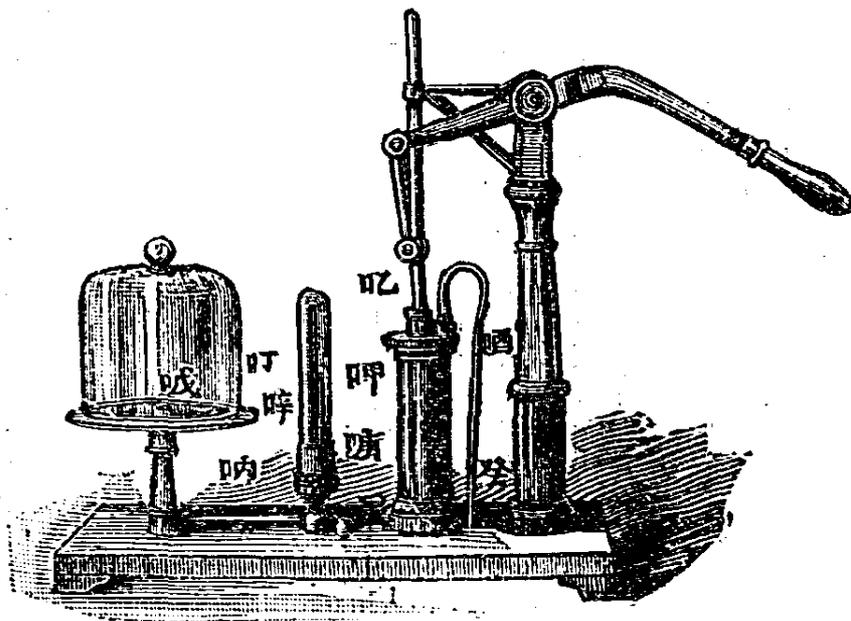
第一五十一圖

塞吃。筩以兩管連於叮罩，欲抽去者即罩內之氣，叮罩空氣與外氣之間有二合葉，一在筩底啖處，一在活塞上端，向外開，祇許空氣按一方向而運動。啖點有塞門，可使自筩至罩空氣流通，亦可隔斷，更可放外氣入罩。啖為不洩氣之玻璃管，通叮罩內，設虹吸風雨表，以度抽出空氣之數。

抽氣筩之運動

設活塞於筩頂，第一

次下行，壓緊空氣，令啖合葉自閉，活塞內之合葉自開，氣由之向上，迨活塞至底，則筩內之空氣盡在其上矣。活塞上行，其上之空氣受迫，活塞內之合葉即閉，而其上之氣，被催入筩上之細管，而外。如是者迭次上下，惟每次提出之氣遞少耳。設筩之積為罩之  $1/10$ ，則第一次提出者



第一五百二十二圖

為 110、二次提出者為 190 之 110、即 1090。餘仿此。

### 抽氣筒之用

抽氣筒之用頗多、其常用者、如抽去糖鍋之空氣、令糖漿

之水、化汽較速、而糖可不焦。又製白熱電燈、亦須抽去罩內之空氣。

試驗第六十七 取玻璃瓶二、連以口式曲管、吃瓶嚴塞、勿令洩氣、呷

管則寬鬆通氣、如第一百五十三圖、吃瓶內貯水半滿、二瓶同納於

抽氣筒之罩內、抽去空氣、提起活塞、吃瓶之水即流入呷瓶、試言其

理。迨吃瓶之水盡入呷瓶、乃放氣入罩、則水仍流過吃瓶、其故何在。

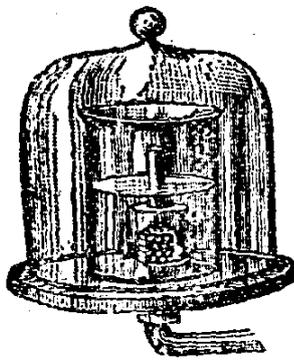
試驗第六十八 備乾杉木桿一條、長約二吋、徑一吋、其一端插入小木桿一段、又一段

穿徑半吋之穴、穴內滿置小鉛丸、穴口鎔蠟封之、令鉛丸不出。

置於水杯內、而增損鉛丸之數、令木桿之面正浮、與水面平。將

杯納入抽氣筒之罩內、抽出空氣、則見氣泡由木桿之底上升、

問此所表何事。放氣入罩、則木桿所浮之處、仍與前等高否、并



圖四十五百一第



圖三十五百一第

解其理。

一七四

汞抽氣筒之式略如第一百五十五

圖。長玻璃管之下端伸入杯內汞面之下。其

上端為漏斗內貯水銀。呬處有塞門。以節

汞流之多寡。橫管呬所連一器。即欲抽去

其氣者。當汞流下長管時。管甚細汞一凡

在下之空氣皆為所迫由下端而出。呬器

內之空氣乃漲而補入管內。汞流入管首滴與次滴之間。管內僅存之空氣。又

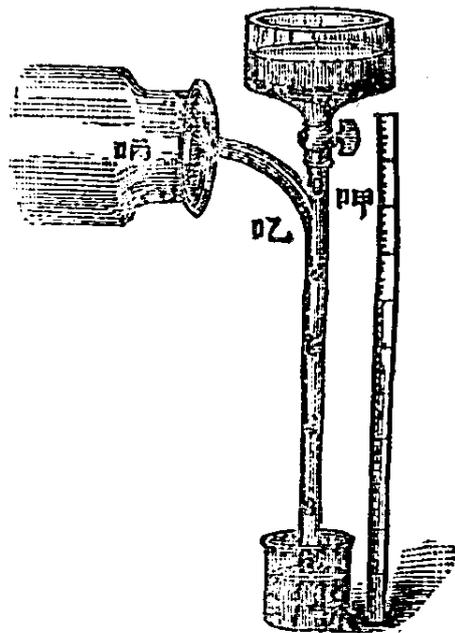
為次滴迫出。此法雖緩。然所得真空較前器為更佳。

積氣筒 如第一百五十二圖。抽氣筒之向上合葉。

改為向下。則抽氣筒變為積氣筒矣。自行車所用之打

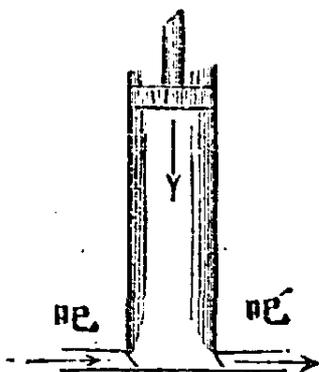
氣具。即如是。有時需將氣質自此器調至彼器。如裝氣

以備石灰光。則可用第一百五十六圖之法。呬管通貯



圖五十五百一第

一七五



圖六十五百一第

氣之器吧、管通積氣之具。

注○觀圖自可知筳之合葉、圖內祇略繪之、以表氣之流向。

一七六

吸水龍、吸水龍之理、與抽氣筳無異、二者

之合葉、皆向上開、並不洩氣、筳底有一管、通蓄水池、筳之上截有嘴、以洩水、吸水龍初動之時、

抽出空氣、水面之空氣壓力令水由管上升而至筳內、末則過活塞之合葉、為

活塞所提上、按空氣壓力之理、足見上合葉最低之處、其高於水池面、不可過三十四呎、此惟按理

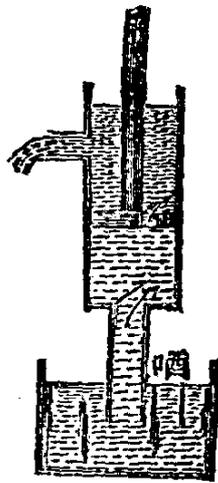
推得之數、若實驗之、則其限祇為二十七呎。

一七七

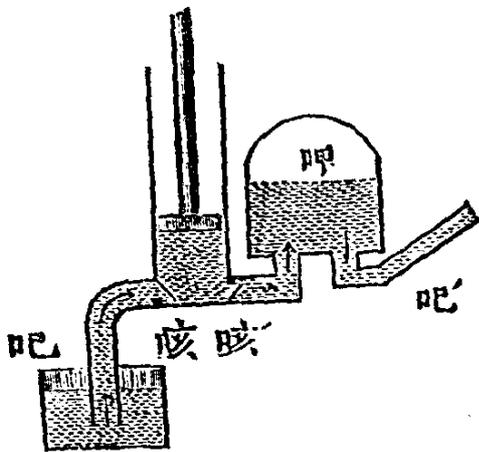
壓水龍 壓水龍用於救火水龍及壓水櫃、其

理以第一百五十八圖顯之、活塞並無合葉、緊不

洩氣、活塞上升時、咳合葉開、咳合葉閉、水受空氣壓力、自吧管上升、活塞推下、則咳合葉閉、咳合葉



圖七十五百一第



圖八十五百一第

一七六

開、水被迫入氣腔、復為腔內氣之漲力迫出。吧管水之過、咳合葉、祇於活塞下行之時、點滴不續、出吧管則連續不斷。

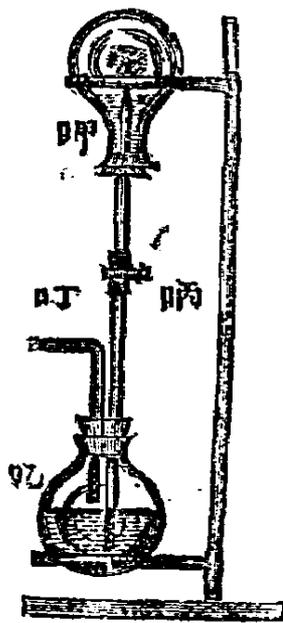
**定質收吸氣質** 多隙之定質、善於收吸氣質。故定質有能吸氣質較其本體多數倍者。

一七九

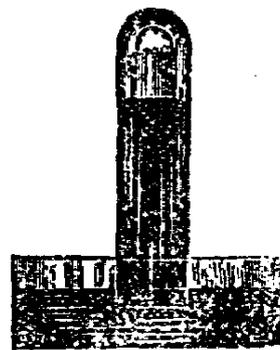
試驗第六十九 截桴炭一塊、令可納入試管內、倒立試管、滿以亞摩尼亞氣、乃注汞於杯內、浮桴炭於汞面、倒插試管於桴炭上、管口略入汞面之下、旋見桴炭收吸亞摩尼亞氣、而汞上升入管、如第一百五十九圖。桴炭有此性、可用以取除臭惡氣。

**液質收吸氣質** 液質亦收吸氣質、或多或少。水當常壓力與常熱度時、能收碳養<sub>二</sub>氣<sub>二</sub>一倍本積。收亞摩尼亞氣、則不止千倍本積。

試驗第七十 如第一百六十圖、取玻璃二塞、以橡皮塞、一塞中有一孔、一塞中有二孔、呷瓶



圖十六百一第



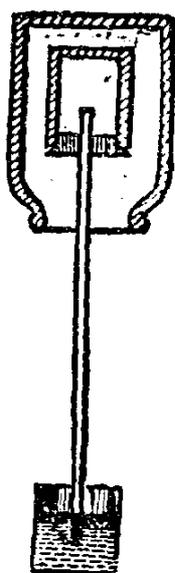
圖九十五百一第

內滿亞摩尼亞氣、抽玻璃管之口、令甚銳、挿呷瓶口內。呷瓶之塞、挿以二管、如圖、呷瓶內貯酸滴染紅之力低暮司水幾滿、塞嚴、二瓶之管、連以短橡皮管、以兩夾夾之、放鬆兩夾、口吹叮管、迫紅水上升呷瓶內、釋勿吹、水自上升不已、待呷瓶幾滿時、觀入瓶之水、可略度其所收氣質之數。觀呷瓶內之水色變否。

### 氣質融和

試驗第七十一 取電池所川之無釉磁瓶一、塞以橡皮塞、中有小

孔、挿入二呎長之玻璃管、倒之、下端挿入水杯內、鬆瓶之外、罩以輕氣或煤氣一大瓶、如第一百六十一圖、即見氣泡於水內上升。可知氣已透過鬆瓶矣。迨氣泡上升時、移去外瓶、試觀其後有何事、此可表明何理。



圖一十六百一第

### 習問

推以下諸問時、當計空氣之壓力、設非特別言明、則計算準風雨表高七百六十耗、即三十吋、亦即2222寸。

- 一 設置橡皮袋於抽氣筒之鐘式罩下、內容空氣一百六十立方糶、抽去罩內之氣、迨袋之氣漲為二百四十立方糶、則罩底受壓力若干。
- 二 麥堡半球、徑為三吋、如內氣抽盡、則全球受壓力若干。必用若干拉力、乃能分之。

- 三 一箱長四呎、廣三呎、高二呎、則頂及一邊一端、各受空氣壓力若干。
- 四 一箱長六呎、廣三呎、高二呎半、則其內容空氣重若干。
- 五 風雨表內汞柱高七百六十耗時、硫酸之柱當高若干、硫酸之重率爲 1.841。
- 六 風雨表內汞柱高七百三十耗時、每方糲受空氣壓力若干。
- 七 一立方呎氣質、必壓縮至若干、其躍力乃有原來之三倍。
- 八 甘油之重率爲 1.26、當風雨表汞柱高七百五十三耗時、甘油之柱當高若干、汞升降一耗、甘油之表當升降若干。
- 九 設人身外面共計三十方呎、則其受空氣壓力若干、何以不爲此力壓倒。
- 十 設空氣密率均勻、與地面之氣等、則其全高當爲若干、凡此空氣、稱以何名。
- 十一 實驗巴哀勒例之曲管、其閉口之管、高於圈點二十吋、則長管內汞柱、必高若干、乃能令閉管內汞柱之面距管頂在五吋之內。
- 十二 如第一百五十圖之呷呷距爲十二糲、必用若干壓力、乃能令汞柱頂距呷在四吋之內。
- 十三 風雨表內汞柱高 29.3 吋時、虹吸能提之水、當高至若干。

十四 二虹吸之橫剖面同，一自湖提水至較湖面低十呎盆內，一則通至較低十二呎之盆內，則二虹吸能於同時灌滿等積之盆乎，并言其故。

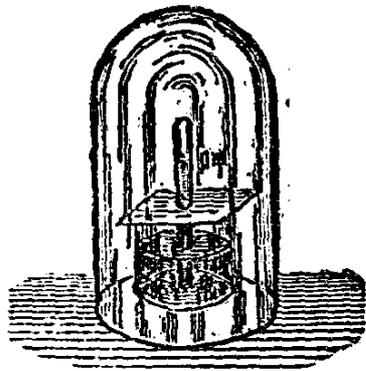
十五 置風雨表於抽氣筒罩內，漸抽其氣，則汞柱之高有何改變，其故何也。

十六 如何可用吸水龍自四十呎深之井提水上升，繪圖明之。

十七 如抽氣筒之積為罩三分之一，又設此筒並不洩氣，則活塞上行四次，罩內餘氣若干。

### 實驗室功課

一 取一試管，誌其度分，注水或汞一立方糵，於管邊誌其高至何處，再注如前，又誌之，至滿而止，次乃用此管貯水幾滿，倒挿入杯內水面之下，屢試之，令注水或多或少，終得空氣二立方糵在管頂呷字處。杯內蓋硬紙一片，中有穴，試管倚之直立，將管與杯同置抽氣筒之罩下，如第一百六十二圖，抽去空氣，使管內之氣漲為四立方糵，則罩內之氣已抽出者若干，再抽之，使管內之氣漲為八立方糵，則罩內之氣已抽出者若干，放氣入罩，則試管內之氣積如何。

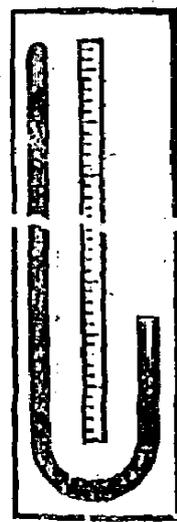


圖二十六百一第

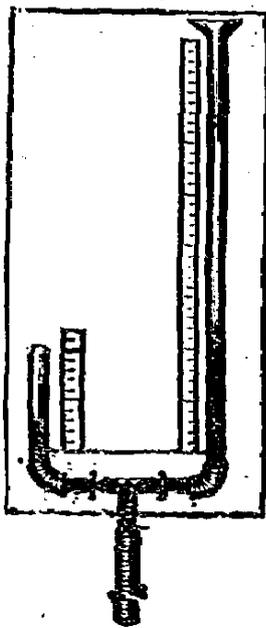
二 取一玻管、徑約一吋、長二呎、一端割齊、在本生燄上燒圓、縛以薄橡皮一塊、管內滿水、倒插開口、一端入杯水、觀其橡皮底之狀如何、半其管之長、再試之、設以針刺穿橡皮底、則現何狀。

三 作虹吸風雨表、法取一端有底之玻管、長一呎、距口十糎之處、於本生燄上燒熱、曲之如第一百六十三圖、豎立架上、二臂之間、裝一適當桿、管內注水銀、試觀其汞柱高至何處、且與常備之風雨表比較。

四 取玻管一、內徑約五糎、長一呎、一端於本生燄內加熱、待軟、捏成漏斗形、彼端接連厚橡皮管、另取一相仿之管、長約二十一糎、一端閉口而扁、一端開口、亦接連橡皮管、次乃連二橡皮管於丁管、如第一百六十四圖、接連處、皆宜用線或銅絲紮住、丁管之下端、連橡皮管、以極緊之夾夾之、次將二管同用銅絲釘於木板、而豎立之、長管之旁、裝一適當桿、其圈點乃在正距短管底二十糎之橫線、短管之旁、亦裝適當桿之一段、注水銀入長管、令二



圖三十六百一第

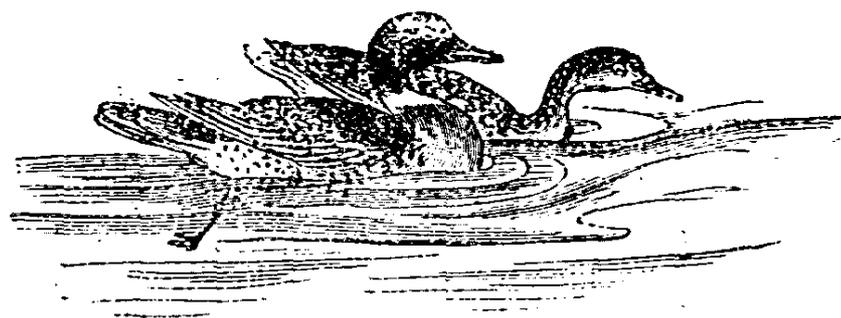


圖四十六百一第

管之汞柱齊至圈點，一如第六十四試驗。如有盈餘，則鬆下夾放出之。次再注水銀少許入之，觀二汞柱所至之度分，以後迭次注入少許，直至幾滿長管而止。每次觀二柱之高爲若干，列之爲表，繼乃屢鬆下夾，迭次放出水銀少許，迭次觀二柱之高，亦列爲表，用此諸數作一曲線，以表汞柱之高與管內空氣之關係。於呎軸取其高，於呎軸取氣之積。

五 作同徑之虹吸三，短臂同長四吋，長臂爲十二吋、十八吋、二十四吋。取一瓶滿水，將第一虹吸之短臂，插入瓶內，令水外流，常加水入瓶，令內水之高不變，量其一分時流出若干。更將第二第三虹吸試之，而考長臂之短長與同時內流水之多少有何關係。

六 取粗玻璃管一，於本生燄內，封閉其一端，抽長彼端，令其徑爲一糲，接以粗橡皮管，用夾夾之，乃衡得全管之重。次乃連橡皮管於抽氣筒，抽去管內之氣，夾緊，移管口插入水內，鬆夾，取出揩乾，再衡其重，得數更滿以水而復衡之，乃推定其抽去之氣爲百分之幾。



## 第六章 聲

### 一 浪動 速率

一八一 聲之解義 按物理學解之，則聲者，凡爲人耳所覺之顫動也。按身理學

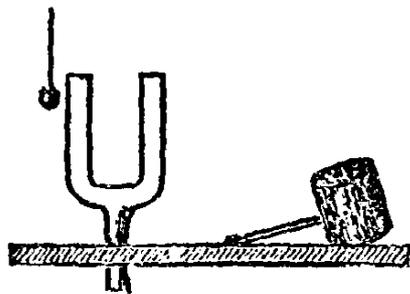
解之，則又含顫動感耳之功效。

一八二 發聲體爲顫動體 試驗第七十二 取大餅一，略如抽氣筒之鐘式罩，手持

其頂上之柄，而橫列之，以軟木小鎚擊之，或以弓弦微擦其邊，則瓶或爲發聲體否。試置小釘若干枚於瓶內，再試之，則瓶果顫動否。

試驗第七十三 桌面穿穴，插入音叉一柄，以針插入軟木，爲小鎚，以絲線鎚一小鈕扣，令近音叉之一股，以軟木鎚擊彼股，見鈕扣躍動，足證音叉之顫動與。鈕扣何以每次躍出等遠，漸令鈕扣低下，則有何效。令鈕扣在二股之中間，則有何效。第一百五圖

右試驗，皆證發聲體之顫動。試音叉之顫動，法頗有趣。取杯水，水面撒以細灰，令音叉顫動遇水面，則又股速擊，成微浪，甚爲可觀。



第一百六十五圖

一八三

### 傳聲

發聲體之顫動，必藉有躍力之居間體，乃可傳至人耳。定液氣三質俱傳聲，然濃率速率不同。

(甲) 氣質 氣質傳聲，為人所共知共覺，因空氣為傳聲之公居間體也。

(乙) 液質 液質傳聲，較易於氣質。泅水者，每聞水面下二石相擊之聲，雖遠仍清晰可聽。

(丙) 定質 木桿、或煤氣管、或銅絲，皆足證定質之善於傳聲。一人附耳於諸物之右端，一人用針刮左端，則在右端之人，聞之甚晰，蓋藉定質傳聲也。若僅憑空氣，不可得而聞矣。

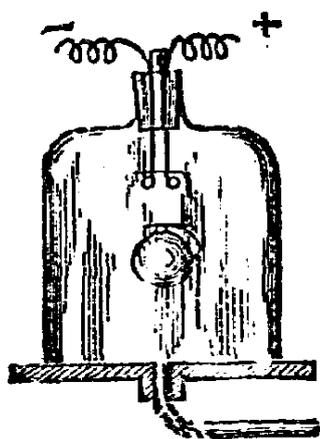
一八四

### 真空不傳聲

試驗第七十四 抽氣筒之鐘式罩

上有小口，塞以橡皮塞，中間有孔，穿過第三十號銅絲二條，連於罩內之電鈴，復插入玻條一，令銅絲不動，罩不洩氣，於是抽去罩內空氣，令銅絲二端，通連電池，使鈴發聲，則輕而難聞，緩緩放入空氣，則其聲漸宏。

第一百六十六



第一百六十六圖

**顫動 浪動** 所謂一體之顫動，即其體之往返動盪而有定時者也。顫

動體所過之全距，曰顫動之廣度。發聲之顫動，或為橫顫，或為直顫，或為絞顫。橫顫動，與顫體之軸縱正交。直顫動，順其軸之方向。絞顫動，圍繞其軸。

試驗第七十五 取一橡皮管，約長三呎，滿以細沙，一端繩重，一端懸架上，持其中點，推向一旁釋手，則見管作橫顫動。

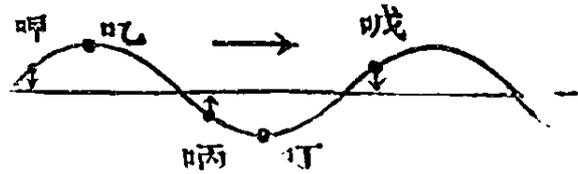
試驗第七十六 傾去前管內之沙，懸之如前，手拉繩重，下行數寸而放之，則重物升降作直顫動。

試驗第七十七 持重物旋轉之，則管亦繞轉，釋手則重物旋轉，而為絞顫動。

絞顫動亦有發聲者，然不如直橫二種顫動之於成聲，更為緊要。

水浪可表橫顫動之浪式，水之質點，祇上下動，然浪則前進。試觀小舟因浪升降，並不隨浪之方向前進，可知。

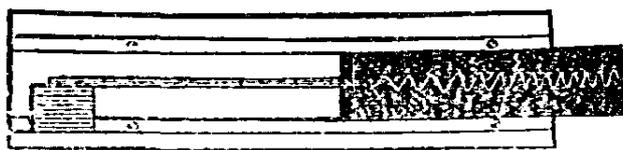
**浪長** 顫體之一質點，與其又一質點，苟同方向，而於同時行同速率，則曰同類。



第一百六十七圖

第一百六十七圖、表水浪之狀、自左向右。其呬點向下、有某速率、則與之同類者為呬點。丙點雖有同速率、但向上而不向下。同類二點之相距、按浪動之向而度得者、是謂浪長。浪頂乙字處曰浪峯。其底丙字處曰浪凹。峯與凹之直距為浪之高度。凡一質點運動、自峯至凹而又返動、遞次不紊、是謂純和合動。凡成聲之顫動常如此。試以一體、記其顫動而成浪線、如第一百六十七圖之式、其法如下。

試驗第七十八 取鯨骨一長條、(或牛角片)其一端穿小孔、以螺釘釘於木塊上、而木塊又釘於板上、另取玻片一長條、用燭燄熏黑、置之板上、嵌入兩旁槽內、適在鯨骨之下、鯨骨之端、連以細針、其尖適遇玻片之面、以是令鯨骨顫動、針尖即劃煙痕而成直線、其長如浪之高度、再頭之、而提起板之一端、令玻片滑下、則針尖劃成曲線、如第一百六十八圖。



第一百六十八圖

橫顫動成浪，亦可以法顯之，如左。

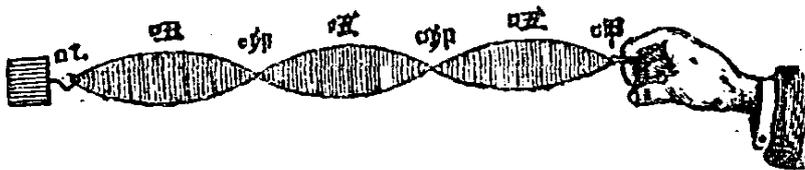
試驗第七十九 取徑半吋之銅絲簧一捲，計長十二呎，一端勾於柱上螺絲眼內，手持其一端拉之，迨其伸直，手乃微動，令全簧顫動，手動較急，則可令其半或三分之一或四分之顫動而成完全之浪。

如第一百六十九圖，表簧顫動之式。其不動之點如啣啣，名曰靜點。其顫動最大之點為咄咄等，名曰極點。凡浪自啣至啣，則令任一質點有一定速率，而自吃返動之浪，亦令此質點有等速率而方向相反。於二力相消之處，其質點靜而不動，即成一靜點。

小注 如不能得銅絲簧，則可用軟棉線繩代之。

空氣內之浪動 空氣成浪而傳聲，乃為直顫，非如水浪

之橫顫。蓋其合點為發聲體所激動，驟擠向前，擊前面之合點，而前點又擊其前之合點，迨發聲體後退，其後即成真空少許，



第一百六十九圖

而擠開之合點復衝入補之故空氣往返顫動成一聲浪。

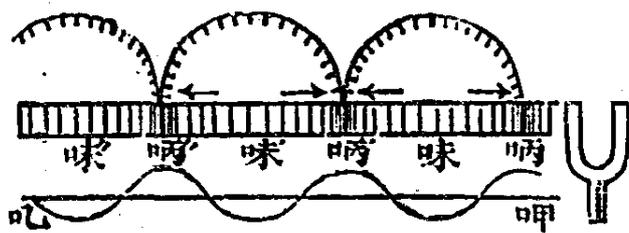
試驗第八十 將前試驗所用之銅絲簧鉤其一端又拉其一端使直又置刀口緊粘於絲簧二曲之間逼之向手更逼攏簧之數曲而驟放之則有浪直向前至鉤而反動至手如縛線一段於簧之中段簧即跳動往返而表直顫動。

**緊層鬆層** 成聲浪之空氣顫動乃為純和合動於此浪

內各層空氣之動法可設法表明之繪半圓若干一一互連各分其周為等分而影射於直線上如第一百七十圖之上半此圖表浪動由發聲體自右至左然空氣之動法乃略為往返動向前則成一緊層向後則成一鬆層也表明聲浪之常法乃如第一百七十圖下半直線以上之半圓代表緊層鬆層以其曲線上任一點距直線之數代表其緊鬆之分量。

**聲在氣內之速率** 聲傳於氣內之速率可於放礮見

光及聞聲之時推得之相距之數以秒數約之即得速率按此



圖十七百一第

法所得最準之速率爲 3 3 2 4 呎，即 1 0 9 0 5 呎，亦即 9 6 9 3 尺。  
**熱度之關係** 上之試驗，如於夏冬兩季試之，則見夏令所得之數較冬  
 令爲大。前所言者，乃當冰度表即百度之數。求某熱度之傳聲速率，可於下式內，  
 代入百度表之度數推得之。

$$\text{速} \parallel 3 \ 3 \ 2 \ 4 \ \sqrt{1 + 0 \ 0 \ 3 \ 6 \ 6 \ 5} \text{ 酉}$$

算式 熱度爲 2° 6 (百) 求傳聲之速率

$$\text{速} \parallel 3 \ 3 \ 2 \ 4 \ \sqrt{1 + 0 \ 0 \ 3 \ 6 \ 6 \ 5} \times 2 \ 6$$

$$\parallel 3 \ 3 \ 2 \ 4 \ \sqrt{1 \ 0 \ 9 \ 5 \ 2 \ 9}$$

$$\parallel 3 \ 3 \ 2 \ 4 \times 1 \ 0 \ 4 \ 6$$

$$\parallel 3 \ 4 \ 7 \ 6 \ 9 \ \text{呎}$$

如所求者爲呎數，則祇以 1 0 6 0 5 代 (4 1) 式內 3 3 2 4 即得。常用祇  
 須略數，如熱度每差百度表一度，而差 6 0 呎，即 2 呎，每差法倫海表一度，而  
 差 3 3 呎，即 1 1 呎。

如求聲在別種氣內之速率，則以其氣密率之方根，除空氣內傳聲速率，所得者為略數。故有下式。

$$\text{速} \parallel \frac{332}{\sqrt{\rho}}$$

### 聲在液質內之速率

聲在任一居間體內之速率公式為

$$\text{速} \parallel \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

此式可演為題語曰：聲於任一居間體內之速率，如其質躍力方根正比，又如其密率方根反比。是以聲在空氣內及液質內二速率之比，視其躍力與密率之相比。求水內傳聲速率法，於水內撞鐘，同時更燃火藥若干，其鐘聲乃以特製之接聲筒受之，以是二處之距，以見光及聞聲之時間除之，即得其速率。昔有人試於瑞士國之若內弗湖，二舟相距八哩，試得水傳聲之速率，為氣內之四零十分之三。

### 聲在定質內之速率

求定質傳聲之速率，事頗不易，因其速率之大，試一處之距，必須甚遠也。然已有人推得銅之傳聲速率，為空氣之1111倍。

一九一

一九二

鋼絲則 1.5 倍。

設置耳貼近長銅絲或鐵路之鐵條，令人於遠處擊之，則可聞二聲，一由定質，一由空氣。

一九三

**迴聲** 第八十試驗之浪，循銅絲簧前行，至定端而迴轉，此迴浪為縱顫動，聲浪亦如此迴射，其例與迴動等。試迴聲之法，莫妙於身立牆壁環拱之中央，而置首於中心，則任作微聲，各點俱迴射之，而令其聲益洪。

一九四

**迴音** 凡聲為任一平面所迴射而成返響，則曰迴音。迴音之清否，視其聲所迴之多少。迴音之遲速，視迴面之遠近。如每秒口出一音，隨聞迴音，則知身距迴面 166.2 呎。即 3 呎之 3 中 2因聲自出口至入耳，為時共一秒也。若每五分之一秒，能出一音，則迴面至近必距 33.24 呎。迴音始能清晰。

一九五

**繁迴音** 於二陡壁之間作聲，則迴音往互，疊成繁迴音。於二行平列之屋間，取二石擊一聲，則聞砉然連響，不啻下雹。夜間坐小舟內，苟能知湖邊之情狀，則可作呼嘯聲，聽其迴音，以定吾舟之所在。

### 習問

- 一 風吹麥田成浪、試言其浪及麥秒之動法。
- 二 魚如何能聽。
- 三 命(浪)爲某聲之浪長、(數)爲其顛數、(速)爲其速率、試作三式、以表此三數各等於餘二者之同數。
- 四 見電光後六秒、乃聞雷聲、當時熱度爲百度表二十四度、問雷之相距若干。
- 五 某島距岸上石礦、計二哩半、今在礦內燃火藥炸石、當時熱度爲 $0^{\circ}$  (百)則在島上何時可聞轟聲。
- 六 放礮擊二哩外之靶、每秒速率一千二百呎、問礮子與聲孰先及靶、當時熱度爲 $1^{\circ}$  (百)、則其先後距時若干。
- 七 呷處放槍、呷處距呷 3 2 1 6 呎、當時熱度爲 $2^{\circ}$  1 (百)、則呷處過若干時、可聞槍聲。設更有石壁距呷 2 1 8 2 呎、距呷 1 4 9 6 呎、則過若干時、可聞迴音、并繪圖以明之。

八 汽車將至、空氣內尙未聞聲。耳貼鐵軌、即可聞之、試言其故。  
九 設每秒可出六字音、有牆在 8 2 3 呎外、當時熱度爲  $2^{\circ} 3$  (百)、則過若干時、可聞迴音。

### 實驗室功課

一 可略變第七十四試驗之法、用一球形玻璃瓶、塞有二孔、一孔緊塞一銅桿、又一孔塞一短玻璃桿、銅桿之末、綴一小鈴、入瓶搖之、能聞聲否。次乃注水少許入瓶、置火上煮之、待沸、離火、緊塞玻璃桿、再搖其鈴、所聞之聲如何。又以冷水澆瓶之外面、再搖之、所聞之聲如何。○試解各次所聞之聲不同之理。

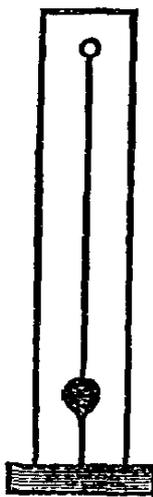
二 定空氣傳聲之速率、法令羣中一人、獨立於遠處、設相距二千呎、放槍、則羣衆可觀其出烟與聞聲、距時若干。定時之法、以線懸彈丸、令成一擺、每半秒時擺搖一次、令一人擺動之、而口中高呼其擺數、然後舉號、別命一人放槍、而觀其相距之時刻、如此迭試之。後又增其遠爲三千呎、再試之。



圖一十七百一第

三 定鐵軌傳聲之速率、法令羣中二人、遠立三千呎外、令一人揚巾為號、同時又一人舉椎擊鐵軌、未擊時、先如前作一擺、然後舉號令擊、遠立之一人聞椎擊聲、口中呼曰去、又一人附耳於軌、聞擊聲時、亦呼曰去、餘衆視擺之次數、迭試之、將其得數與聲在氣內傳過此距之時相比、則此次之擺、應較前為略短。

四 作半秒之擺一、懸之板前、令其顫動、與板平行、擺直垂時、依之畫一黑線在板上、置板與擺、令直立如第一百七十二圖、移此器於高牆之前、令擺每次擺搖、適為半秒、當擺過直線時、以二木塊相拍、細聽其迴聲、移器進退、終令迴音至耳、適為擺重過直線時、末量牆距此具之呎數、而定聲之速率。



圖二十七百一第

## 二 聲浪相阻 助響 樂音

一九六

### 浪動相阻

試驗第八十一 將試驗第七十九所用銅絲簧、聯其一端於壁間

鈎上、手執其他一端、輕輕直擊一下、即有一浪自此至彼端、後迴至手、如當其浪迴轉時、又擊絲一下、則此新浪與迴浪相遇、而簧之一處因受此浪而向上、正為彼浪向下之勢

所抵過。

如此名曰浪阻。凡浪必有浪阻，蓋因居間體能傳一浪，則亦能於同時傳他浪也。倘諸浪之力，并施於一質點，而其合效為無，則此點不動，即為浪阻。

試驗第八十二 注汞於略大盆內，令自行車所用之彈丸落入杯內各點，視其正浪及迴浪之浪阻。

**聲之相阻** 浪阻既為浪動必有之性，則亦為聲音之一現象。

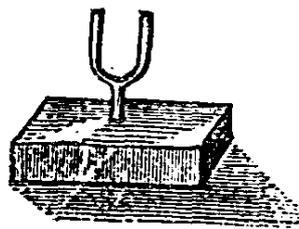
試驗第八十三 令音叉顫動，手持之，直立耳前，用巨指食指轉動之，則聞其聲忽宏忽細，循環不已，其故何也。

試驗第八十四 取音叉之下有空盒者，如第一百七十三圖，令之發聲，疾持之，向一磨光牆前進，旋即却行離牆，乃細察所有之聲阻。且聲阻不止一處，能求得否。

**助響** 同方向之二力，施於顫動之一質點上，則增其顫動廣度，所有之顫動廣度，適等於二者之和。譬之湖面有二種浪，其一可令水之一質點高三尺，

一九八

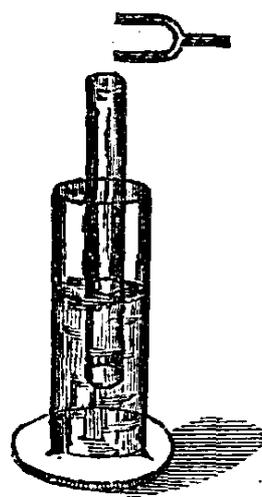
一九七



圖三十七百一第

又其一令此質點同時高二尺，則此質點必升高五尺，聲浪有此，則令其聲加宏。名曰助響。

試驗第八十五 長玻杯中注水幾滿，另取長一尺之大玻管，或用燈罩持一發聲之音叉，近玻管之上端，插管之下端入水內，如第一百七十四圖，迨管內之氣發聲，與音叉相和相助。



第一百七十四圖

如此名曰助響，其管名曰助響器。

一九九

### 助響器之理

欲以音為助響器所增強，則必令呬股

顫成之緊層，向下至管底呬處，而迴至呬處，其為時適足以和呬股向上顫之緊層，但呬呬之距不合，其迴射之緊層，遇一鬆層，則成浪阻，而又音轉弱。第一百五十七圖

### 速率顫數浪長三者之關係

某體接連發聲，則

體與人耳間之空氣，滿以無間之浪紋，擊耳之聲浪，可視其



第一百五十七圖

體之顫數。其浪長以每秒顫數乘之，即得空氣傳聲之速率。設浪長為四尺，發聲體每顫發二百八十浪，則於第二百八十顫時，其首浪已在一千一百二十呎之處，故有公式如左。

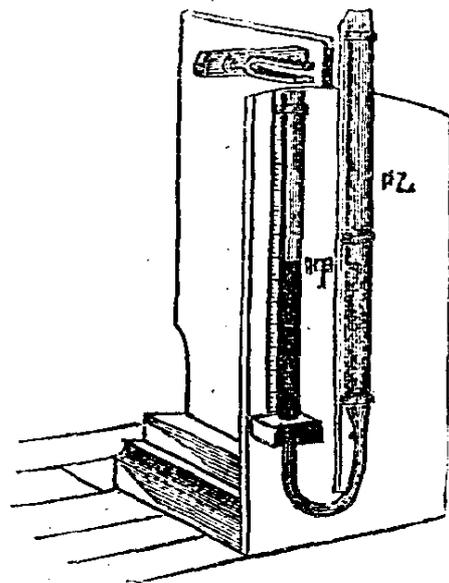
$$\text{速} \parallel \text{數} \times \text{長}$$

(44)

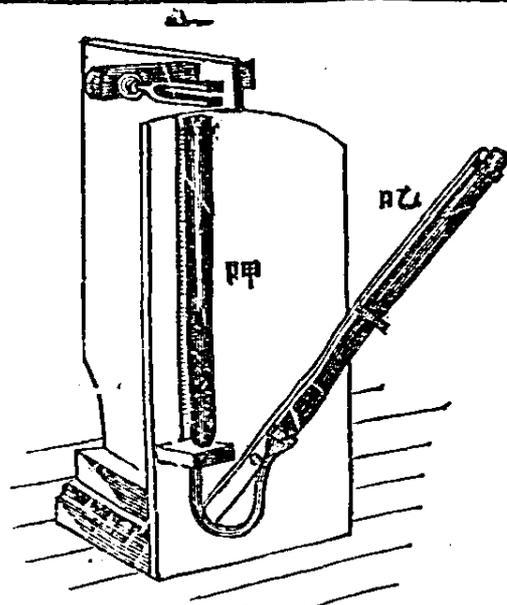
### 用助響管度聲之速率

以每秒顫數與助響管內氣柱之長相比，即

可度得空氣傳聲之速率。如第一百七十六圖，呷管之內徑為十一耗，其下端引長，連一軟橡皮管，而接於一同類之管。此管以木柱吃托之，柱可移動，因磨阻而定於任一方向，如第一百七十七圖。呷管後有分度尺，分之為耗，其起點即音叉所在之點。另設一架，與此木架正交，可持長短不同之音叉。次注水入管，移吃管斜倚，則呷管內氣柱之長，可增減之，令適助音叉之響。既定之後，可於尺上得柱之耗數，以法求聲



圖六十七百一第



第一七百七十七圖

分加入管長內，乃得為浪長四分之一。尊爵雷賴命此分數為一半，按此數改正之，則式變為

速  $\parallel$   $\frac{4}{\lambda}$  數 (長十未)

(45)

**助響之實效** 助響之效，於樂器見之。小段空氣顫動，發聲輕薄，大段顫

動，則聲洪亮。故弦器必連以助響之具，如琵琶、月琴等皆然。

試驗第八十六 取一八音匣，置手中轉之，又置桌上轉之，又置倚書櫥之玻門轉之，試

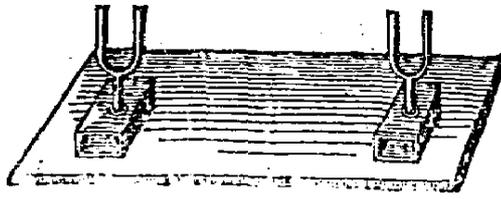
察其聲何異。

### 音顫

試驗第八十七 於呬叱二定點之間，展一堅繩，第七十八

圖 在呬叮二點，懸等長二擺，令呬擺擺動，旋見呬擺漸失之動，呬擺得之，迨呬擺靜止，吧擺之擺搖廣度，幾與呬初擺時同。

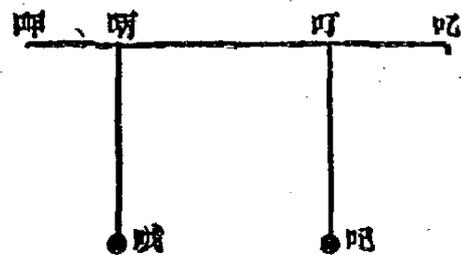
一發聲體近別體之顫時相同者，則其激動之空氣，能令別體顫動。



圖九十七百一第

試驗第八十八 選音叉二，立助響匣上，第一百七十九圖 此二叉之每秒顫數相同，置於桌之二邊，互為平行，然後重擊一叉，令之顫動，數秒之後，以手持之令止，則可聞次叉之音，次叉之顫動，另可以絲線懸一小球，適觸音叉之一邊而試得之。

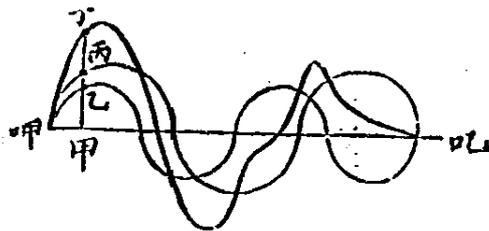
試驗第八十九 踏鋼琴足板，令其阻聲器離弦，口唱某音於其前，逾二三秒，即可令同音之弦，及顫數為此音之倍數者之諸弦，一齊顫動。  
試驗第九十 於天花板上釘一鈎，懸重二十磅，使之擺搖，求得擺時若



圖八十七百一第

二〇四

干、當其靜止時、用軟木鎚、輕擊重體、令擊時與其擺時相應、如擊之合宜、擺能往返不已、**拍音**、二發聲體相近、而顫動之時不同、則每因聲浪相阻而成拍音、耳易覺之。如第一百八十圖內二細曲線、代表二源所發之聲浪、則可見此體顫三次時、彼體乃顫四次。是即為此體之每第四浪、與彼體之每第三浪互相阻、而其間之時則互相助。此二種浪所合成之功效、圖內以粗曲線表之。當此曲線距呬呬直線最遠之點、耳聞之為拍音、而其間有相阻過甚之處、則聞其音甚微。作粗黑線之法、先作若干垂線、正交呬呬、次乃視二細曲線與直線之距甲乙、甲丙、同在呬呬之一邊、或在其上下二邊、而取其和或較甲丁、以定新曲線之諸點。



第一百八十八圖

二〇五

試驗第九十一 列二音叉、如試驗第八十八、黏蜜蠟一塊於其一叉之一股上端、蠟內或更嵌入小鉛丸一二枚、乃以胡琴之弓、激又令顫、而數其每秒有若干拍音。  
**樂音之性** 凡顫體必顫動速而無間、且為時均勻、則所發之聲為樂音。

樂音有二種。曰簡音。爲同類之顫動所成。曰繁音。則爲若干顫動所合成。雜音

之即喧亂

之與樂音異者。以其包含多種顫動。而不能彙爲一簡音也。如音義之音。則爲簡音。鋼琴之聲。則爲繁音。材木一堆傾跌之聲。則爲雜音。

樂音之性質。其要有三。曰高低。曰大小。曰趣。

高低 音之高低。視發聲體每秒顫動之次數。速則音高。緩則音低。

試驗第九十一 取硬紙片之角。劃過書面。初遲而漸速。則見速率與音之高低。有何關係。

撒伐耳輪者。試高低係於顫數之第一器具也。用一齒輪。裝於軸上。疾轉之。手持硬紙片。近輪邊。輪轉之疾徐有變。則擊紙之音。隨之高低。取舊鐘內齒輪爲之亦可。

西國輪鋸之疾徐。可聽其鋸木之聲辨之。遇木節則鋸緩。故聲亦低。

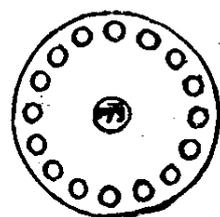
測音器者。所以定某音之顫數。及其相關之具也。其簡式及用法。觀下文試驗法自明。

二〇八

二〇七

二〇六

試驗第九十三 割硬紙或金類爲一圓片，徑三十釐，自中點兩作四內容圓，徑爲二十八、三十四、四十、十六釐，分此諸四圓爲三十二、二十四、二十、十六等分，各點鑽一徑六釐之孔，第一百八十一圖爲其最內一行之孔。



第一百八十一圖

於兩穿一孔，裝之轉機上，另取橡皮管一條，二端各裝一玻管，手持其一端，管口對圓片上之一孔，人口啣其又一端吹之，緩轉圓片，則每口吹氣過孔，忽通忽塞，噤噤作聲，如轉之極速，則此聲連成一片，變爲樂音，轉愈速則音愈高。

轉圓片，速率均勻，而吹氣過各行之孔內，先自內圓遞及外圓，有何功效，且言其理。

二〇九

### 竇培勒之理

發聲體與人耳俱靜止不動，則入耳之浪數，等於體所發

者。惟二者漸移，或互相近，或互相遠，則入耳之顫數，即音之高低，必有易變。命發聲體之顫數爲(數)，浪長爲(長)，每秒耳近之路爲(距)，則耳所聞之顫數，當爲數<sub>十</sub><sup>長</sup>，其音轉高。聲源獨動，或與耳俱動，皆然。如二體之距漸增，則所受之顫數爲數<sub>一</sub><sup>長</sup>，其音轉低。遇二汽車相遇時，一車鳴鈴，最足證明此理。

樂音中隔

測音器之旋轉加速，而音變高，乃由漸而致。故任二樂音之間，有一定之高低較。此較數乃以二音顫數之比例表之。設有一又，每顫三次時，又一又祇顫二次，則其中隔乃  $3:2$ 。

樂表



序名	1	2	3	4	5	6	7	8	次內	級字	顫	顫	中
丙	斗	來	米	法	叟	拉	替	斗	號				
丁	來	米	法	叟	拉	替	斗	斗	號				
戊	來	米	法	叟	拉	替	斗	斗	號				
己	來	米	法	叟	拉	替	斗	斗	號				
庚	來	米	法	叟	拉	替	斗	斗	號				
甲	來	米	法	叟	拉	替	斗	斗	號				
乙	來	米	法	叟	拉	替	斗	斗	號				
丙	來	米	法	叟	拉	替	斗	斗	號				
顫數	2	2	3	4	3	4	4	5	數				
	5	8	2	1	8	6	8	1					
	6	8	0	3	4	6	0	2					
比例數	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	例	比	數	顫	中
中隔		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	隔				

二二

### 樂級

如二音之中隔為 2 : 1，則已甚相似，實為一音。凡此音顫數倍於彼音者，稱為彼音之重音，即樂級之第八音也。樂級之八音，稱名不同，其位次於樂表五平行線內顯之，如右式。

二二

### 八音樂級

自丙至其重音，合成八音樂級。前款所表，即其排列之法。如再求其上升之諸音，則取其五百十二顫之斗音為準，而以顫數比例遞乘之，所得之諸音，名曰丙丁等。其下降一級，則可令二百五十六顫之斗音為 2 而求得之，是則下一級內之斗音為一百二十八顫，以此為準，可求得其級內之任一音，名之曰丙·丁等。

二二

大合音 第二十一節之樂級，乃依大合音而成，故為大合音樂級。所謂大合音者，乃其三音之顫數，如四、五、六之比例者也。大合音有三對如左：

元音 || 丙 · 戊 · 庚 || 4 : 5 : 6

主音 || 庚 · 乙 · 丁 || 4 : 5 : 6

三四

副主音 己：甲：丙 4：5：6。

樂級之中隔

1：8 9 4 5 3 4：表顫數之比例，亦表斗音與級內其餘諸

音之中隔。中隔之要者為第二大音 5：4。第五大音 3：2。第六大音 5：

3，及重音 2：1。

二五

底音

取一音令為某級之斗音，則名之曰底音。前所論之樂級，以丙為

底音，稱為丙級子。今試以庚為底音而成一級子，取其顫數與丙級子相比如左。

庚 甲 乙 丙 丁 戊 己 庚

丙級子 3 8 4 4 2 6 6 4 8 0 5 1 2 5 7 6 6 4 0 6 8 2 6 7 6 8

庚級子 3 8 4 4 3 2 4 8 0 5 1 2 5 7 6 6 4 0 7 2 0 7 6 8

表中有二音，俱名為甲與己，而其顫數不同。二甲之中隔，為 4 3 2：4 2 6 6

即 8 1：8 0。二己之中隔，相差較多，為 1 3 5：1 2 8。或稱之曰半音。是

以凡奏樂時，令庚級子合式，則必另需丙級子內所未有之二音，其一為庚級

子之己音，法以 2245 乘丙級子之己音顫數而增之，成一新音，名曰剛己音，其號為丙<sup>#</sup>。其一為庚級子之甲音，顫數相差無幾，故常用樂器，俱以一音代二者，不加分別。

既可取樂級內之任一音為底音，是則每一新級子，必加二新音，而鋼琴等樂器之音鑰，必甚多而不合用。且更有當留意者，即所謂柔級子也。柔級子之顫數比例，乃取其相當音之顫數乘  $2\frac{2}{5}$  以損之，所得之新音，名曰柔音，為乙。由此可見丙與丁之間，有二音如左，丙<sup>#</sup> · 丁<sup>b</sup>，其相當之顫數為 2 5 6 2 6

6 6 2 7 6 4 8 2 8 8

惟在實用之時，鋼琴於丙<sup>#</sup>丁二音之間，祇有一音鑰，兼為丙<sup>#</sup>及丁<sup>b</sup>之用。定鋼琴上各級十三音之顫數，其法名曰等度之法。級內十二中隔，設為均勻，其中隔為  $1\frac{2}{2}$ ，即 1 0 5 9 4。此十三音名曰全級子。

**移位** 觀鋼琴之音鑰，即可見丙級子內第三第四音與第七第八音之間，各有一半音，餘者均為全音。凡大音樂級皆如此。曲調之以某底音表之者，皆

柔 吃 <sup>b</sup>	鑰 吃	哂	剛 嘆	鑰 叮
3-叮 <sup>#</sup>	6-叮 <sup>#</sup>	2-叮 <sup>#</sup>	5-叮 <sup>#</sup>	8-叮 <sup>#</sup>
2-哂	5-哂	8-哂	4-哂	7-哂 <sup>#</sup>
8-吃 <sup>b</sup>	4-吃 <sup>b</sup>	7-吃 <sup>b</sup>	3-吃 <sup>b</sup>	6-吃 <sup>b</sup>
7-甲	3-甲	6-甲	2-甲	5-甲
6-嘆	2-嘆	5-嘆	8-嘆	4-嘆
5-吃	8-吃	4-吃	7-吃 <sup>b</sup>	3-吃 <sup>b</sup>
4-吃 <sup>b</sup>	7-吃 <sup>b</sup>	3-吃 <sup>b</sup>	6-吃 <sup>b</sup>	2-吃 <sup>b</sup>
3-叮	6-叮	2-叮	5-叮	8-叮 <sup>#</sup>
2-哂	5-哂	1-哂	4-哂	7-哂 <sup>#</sup>
1-吃 <sup>b</sup>	4-吃 <sup>b</sup>	7-吃 <sup>b</sup>	3-吃 <sup>b</sup>	6-吃 <sup>b</sup>
7-甲	3-甲	6-甲	2-甲	5-甲
6-庚	2-庚	5-庚	1-庚	4-庚
5-吃 <sup>b</sup>	8-吃 <sup>b</sup>	4-吃 <sup>b</sup>	7-吃 <sup>b</sup>	3-吃 <sup>b</sup>

圖三十八百一第

音、今設求嘆級子之米音、則唱哂級子之斗音至叟音、命之爲斗、而遞唱來米二音、此米音即所求之音也。

第一百八十三圖、又指明

可易之爲別底音、祇用合式之剛音或柔音以令半音至合宜之位可也。第一百八十三圖、即顯此理、觀之可見成嘆級子之法、即取哂級子之第五音、即爲新級之首音、且令新級之第七音升高半音足矣、於此祇用一剛音即吃<sup>#</sup>、蓋其餘諸音與哂級之音相合也。叮級子有二剛音、乃按同法、自嘆級子得之、要之凡新級之剛音、遞次加一者、祇以前一級之第五音爲首音、而升高第七音、即可成。苟得哂音之音義、則可任求何級內之某

哂 <sup>#</sup>	叮 <sup>#</sup>	吃 <sup>#</sup>				
哂	叮	吃	吃	吃	吃	吃

圖二十八百一第

二七

成柔級子之法。乃取原級子之第四音爲新級之首音，而變新級之第四音爲柔者也。

聲之大小在乎三事：一顫動之路。二聞處之距。三發聲體之面積。

(甲) 顫路。擊一音叉，其感動空氣之工力，視其顫動之廣狹。如顫動甚微，則感空氣之工力，不久卽息。重擊之，顫路增而音叉感空氣之工力亦大，則聲音宏大矣。顫路與聲之大小之關係，可以音叉代試驗第七十八之鯨骨徵之。擊音叉令發大小不等之音，可觀其在煙熏玻片所劃之痕，且宜比而視之。

(乙) 距。發聲體既向六面射浪，故聲浪爲球形之外面，而體爲其中心。球面積與其半徑之平方有比例，故聲之大小，如與聲源之距成方反比。如設法令聲浪向一方向而射，若自管之內面回射，則所傳更遠。通聲管卽依此理所製也。

(丙) 面積。小音叉顫動，祇令少須空氣運動，故發聲不大。如叉股加廣，則運動之空氣加多，而聲亦加宏。以擊音叉持之手中，則音輕而微，貼其柄於書

櫺之玻門，則聲加大而不能持久。試言其理。

**音趣**

凡聞樂音，即辨其為何種樂器，或胡琴，或鋼琴，或號筒，各有其特異之處，如人之發聲，此人圓而滿，彼人細而弱，又一人則平而直焉。凡聲音之特性，使人聞之而可定其源者，名曰音趣。考音趣之由，因凡發聲體，不第全體顫動且亦分段顫動，如鋼琴之弦然。凡音必其顫體之本音和以第一第二第三等附音，然後其音趣乃能圓滿。

**和諧**

**失調**

二樂音並發，而其聲悅耳，則謂之二音和諧。反是則謂之二音失調。失調之故甚多，其一因二音之間有拍音。苟拍音為每秒三十二次，則最易失調。拍音每秒少於十次，則二音雖不諧，然亦不致失調。凡二音並發，而所有拍音多於每秒十次，少於七十次，則二音馴致失調矣。

**習問**

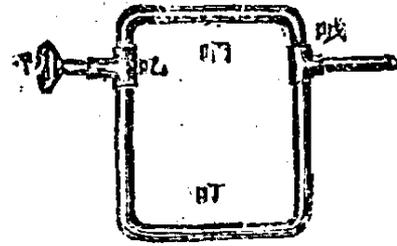
- 一 二浪動如何則互相全滅。
- 二 當熱度  $1.8$  (百) 時，音叉每秒顫四百四十次，則必用若干長之管，方可為助響器。

- 三 第一百七十七圖內之助響器、長三百二十四耗、管徑十二耗、當時音叉每秒二百五十六顫、則聲之速率若干。
- 四 兵隊過橋、則散其行列、何歟。
- 五 二音叉同時發聲、其一每秒顫二百六十四次、其一二百六十次、則每秒有若干拍音。
- 六 令一音與其第七音、即唎與吃、同時發聲、然後作曲線以表其拍音、於鋼琴上擊此二音、然後細聆其拍音、是否清晰、抑或失調。
- 七 設試驗第九十四之測音器、其外行之孔發丙音、即每秒顫二百五十六次、則圓片每秒轉若干次、其餘諸行之孔當發何音。
- 八 設有汽車過前、其速率每小時三十哩、如其汽管每秒顫一百二十八次、則當過汝前時、其音高低之變如何、未過時及既過時、入耳之顫數各爲若干。
- 九 全級子之呬音顫數若干、吃音之顫數若干。
- 十 已與庚之顫數各爲若干。
- 十一 自唎音易位至呬音、其法當如何。

- 十二 促織鳴於樹杪高四十呎、在樹根聞之、問其音所激動之空氣、當重若干。
- 十三 中古之樂師、定甲音之顫數爲每秒四百二十四、近時變樂具者、求聲之嘹亮、故升之、而甲音每秒顫數爲四百六十、故唱中古時曲調之高音較難、何歟。○今所用之高低準則、乃世界所通用、命甲音又當 $1.5$ （百）時、每秒顫數四百三十五次。

## 實驗室功課

- 一 置盆水於轉機之架上、（如輪鋸等）試作一圖、以表其所有浪動、并解其理。
- 二 如第一百七十七圖法、用顫數已知之音叉、而度傳聲之速率。
- 三 仍用前具、將第二問所得之速率、代入 $(4.5)$ 式內、求又一叉之顫數。
- 四 黏重於試驗第八十八之第二音叉、迨每秒約有六拍音、乃再試之。
- 五 用試驗第九十三之測音器、以求吹過瓶口所成之聲。法用四童子、使一童吹瓶、一童轉輪、一童用橡皮管吹氣過測音器之孔、一童數輪之每秒之顫數、童子稍稍習練、即可轉輪均勻、使測音器發定音半分時之久。



第一百八十四圖

六 取丁字式玻管二枚、連以橡皮管二、式如第一百八十四圖、呬字處有漏斗、令一音又近之、發聲、則音至吃處、分爲二支、一過上支、一過下支、吶、此二浪復合於吶、置耳於連吶之橡皮管口聽之、如吃、叮、吶、較吃、吶、吶、之長爲音之半浪、則二浪相阻而靜、當管長合宜、而令聲浪相阻時、於吶、叮、二點用夾夾住、則有何效、再另取音叉試之、當用之管、應長若干。

### 三 弦片及桿之顫動

三〇

#### 弦之顫動

樂器之重要者、多爲弦器。弦以金類或羊腸

製之、輓於二定柱上、橫顫成聲、弦顫之聲、因器之發聲體而益宏壯。

三一

#### 準弦器者、所以考弦顫公例之具也。其要件爲木架、下有二

足、此端插一針、所以絞弦。彼端連簧秤、所以繩弦令緊。常用者



第一百八十五圖

多具二弦，式如第一百八十五圖，曰俗名 所以變弦之長短，其下有分度尺。

### 弦顫之例

- 一 墜重密率與徑皆等，則每秒顫數如弦長反比。
  - 二 墜重密率與長皆等，則每秒顫數如弦徑反比。
  - 三 密率與長及徑皆等，則每秒顫數如墜重方根正比。
  - 四 長與墜重及徑皆等，則每秒顫數如弦之密率方根反比。
- 以上諸例，可以下式同理比例表之。

$$\text{數} \cdot \text{數}' \parallel \begin{matrix} \text{徑} \\ \text{長} \\ \text{密} \end{matrix} \cdot \begin{matrix} \text{重} \\ \text{長} \\ \text{密} \end{matrix}$$

按第一例，則同理比例變為

$$\text{數} \cdot \text{數}' \parallel \begin{matrix} \text{長} \\ \text{徑} \end{matrix} \cdot \begin{matrix} \text{重} \\ \text{密} \end{matrix} \quad \text{即} \quad \text{數} \cdot \text{數}' \parallel \text{長} \cdot \text{長}$$

按第二例，則有

$$\text{數} \cdot \text{數}' \parallel \begin{matrix} \text{徑} \\ \text{密} \end{matrix} \cdot \begin{matrix} \text{重} \\ \text{密} \end{matrix} \quad \text{即} \quad \text{數} \cdot \text{數}' \parallel \text{徑} \cdot \text{徑}$$

按第三例，則有

$$\text{數} \cdot \text{數}' \parallel \begin{matrix} \text{重} \\ \text{密} \end{matrix} \cdot \begin{matrix} \text{重} \\ \text{密} \end{matrix}$$

按第四例，則有

數：數  $\parallel$   $\left\langle \begin{array}{l} \text{密} \\ \text{密} \end{array} \right\rangle$  即數：數  $\parallel$   $\left\langle \begin{array}{l} \text{密} \\ \text{密} \end{array} \right\rangle$

用準弦器依下法試驗，可證以上四例。

試驗第九十四 轉準弦器之弦，令其合宜，以弓拉之，即發某音，乃置活柱於弦之正中，試觀其半弦，果發全弦音之重音否。

試驗第九十五 準弦器上裝二弦，其一弦之徑倍於他弦，以等重墜緊之，（用第十六與二十二號銅絲即合用）用弓拉粗弦，令發某音，一面轉測音器之圓片，吹其外行孔，迨所出之音與之相等，轉之速率不變，即用橡皮管吹內行孔，則其所成之音，必與弓拉細弦所出之音相同。

試驗第九十六 準弦器上置二弦，料與徑並同，一以四磅墜之，一以十六磅，則其出音正差一級。

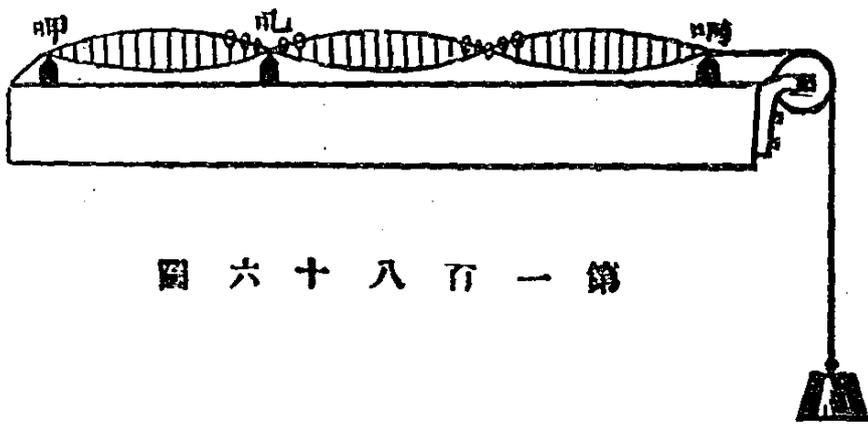
試驗第九十七 割銅弦腸弦各一，其長與徑均相等，分衡之，并推得其在二柱間之重為若干，裝之準弦器上，墜以等重，令出聲，以鋼琴或提琴之聲與之相比，命準弦器所發低音之顛數為（數），又一弦所發音之顛數為（數），試觀數：數  $\parallel$   $\left\langle \begin{array}{l} \text{密} \\ \text{密} \end{array} \right\rangle$  之式果確否。

試驗第九十八 命準弦器二柱間之距為一、於距一端  $\frac{9}{8}$  ·  $\frac{5}{4}$  ·  $\frac{4}{3}$  ·  $\frac{3}{2}$  ·  $\frac{5}{3}$  ·  $\frac{1}{5}$  等處、俱黏以紙條、乃先擊全弦發聲、次第移活柱止於黏紙之點、而令餘弦發聲、則此八聲果成全級子否、并言其理。

鋼琴亦可證以上諸例、其最長最重最寬之弦、發最低之音、最短最細最繁之弦、發最高之音。

弦之靜點動點 弦既緊展發聲、不祇全弦顫動而出本音、其一半或三分之一或四分之一等、亦分段顫動、各出本音、此諸音與本音合而成音之趣。弦之有動靜點、可以下法驗之。

試驗第九十九 割紙片成環十餘枚、徑約半寸、套於準弦器之弦上、置小重於弦上、且以弓拉弦令顫、即發本音、而紙環盡歸定柱、輕按弦之中點、再以弓拉之、則發高一級之音、而紙環分歸中點及二定柱、又輕按一弦距一端三分之一



第一八十六圖

三二四

之點、以弓拉之、則見紙環如何、且所發者何音。第一百八十六圖

**附音 諧音** 使弦分顫、不必以手按之、即緊展弦、細聽之、亦可聞其分

段顫動之音、是謂附音。如顫動之數、適為本音顫數之二倍、三倍、四倍等、則曰諧音。

三二五

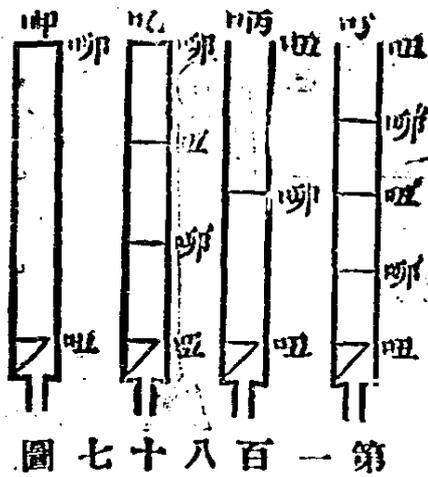
**氣柱之顫動** 樂器中有曰吹器者、藉長短不同之氣柱、顫動而發聲。使

氣柱顫動有二法。故分之曰口器、曰簧器。風琴管、即口器也。其口件皆裝定勿動、吹管之窄端、而令氣柱顫動。簧器則有薄木片或金類片、先為空氣溜所顫動、而後顫動氣柱。如笙、其一種也。

三二六

**風琴管之靜點動點** 管內空氣、乃循其長

度而顫、亦可成靜點動點、與弦無異。但所謂靜點者、乃空氣質點不動之處、唯自緊層速變為鬆層、又自鬆變緊。所謂動點者、乃空氣質點動盪極甚之處、唯其密率不變而已。由此觀之、可知管之閉口處為靜



點、而其敞口則動點也。如第一百八十七圖之呬，靜點在上端，動點在其口，故閉口管之長，為其所發本音浪長四分之一。重吹此管，則發音高一級，但靜點仍在閉口，動點仍在開口。如吃，中間猶有一靜點在卯，一動點在呬，而管之長為所成音浪長四分之一。

圖中呬管，其二端各有一動點，中間為靜點，管長為本音浪長之半。令發高音，則有卯卯二靜點，并增一動點如呬。以呬與吃相比，可見凡開口管所發之本音，高於等長閉口管所發之音一級。

試驗第一百 取風琴管，一面裝以玻璃，用繩縋入一環，鞞以薄膜，上面撒以細沙，如第一百八十八圖，管發本音，環漸縋入，則沙跳動，而知顫動漸損，至管之中點而全息。如令管發高一級之音，則中央為動點，可由沙之跳動知之。

管邊開一口，即成一動點，而管所發之音，高低即變。是以吹簫者用指開合旁



圖八十八百一第

三七

孔乃發各音。

### 條之顫動

試驗第一百一 取玻條長一呎餘者，一手持其中央，又一手持溼布輕輕自中點向下擦之，條即直顫動而發本音。又取等長之木條、銅條、銅管各一，而以敷松香之布擦之，試觀音之高低，係於條之料質否。

試驗第一百二 用等長殊徑之二玻管，再如前法試之，觀音之高低係於管徑否。以其一管所發之聲與等徑半長之管所發者相比，觀聲之高低係於其長短否。此二音相比如何。

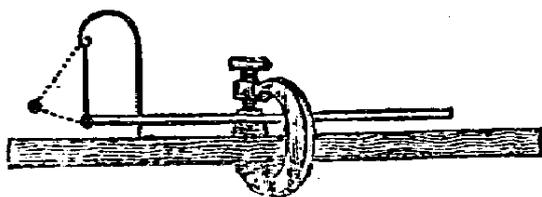
上文試驗，管與條所發之聲，乃因直顫，可以下法驗之。

試驗第一百三 散軟木屑於前試驗所用玻管之內邊，橫持其中點而以溼布自此點向一端擦之，管即發高音，木屑即依次橫積於管邊，積處即表靜點，如第一百八十九圖。

試驗第一百四 夾銅條一於鉗上，如第一百九十圖，於其一端懸有躍力性之球，適觸條之一端，以敷松香之布，自中點向一端擦之，管即直顫，推球離條端拋向外面。



圖九十八百一第



圖十九百一第

管之顫動，為力頗大。試筒以溼手巾擦之，則每裂為螺旋紋條。鐘式玻璃罩，以提琴之弓重拉數次，則其邊雖厚四分之一，有時亦迸裂。

### 片之顫動

取薄金類片或玻片，中點托於架上，以

弓拉過其邊，片即顫而發聲。片之靜點線，以下法驗之。

試驗第一百五 銅片之中點，托於架上，如第一百九十一圖之

第一式，面上薄鋪細沙一層，一指按其一隅，以弓拉其二邊，沙即

跳動，終乃止於片不顫動之點，故沙線即表靜點線，第一百九十

一圖為片之各式，大小厚薄不同，各片所成之聲圖數種，如於片

之一隅，設法夾住，而不於中央托住，則所成聲圖，式又不同。

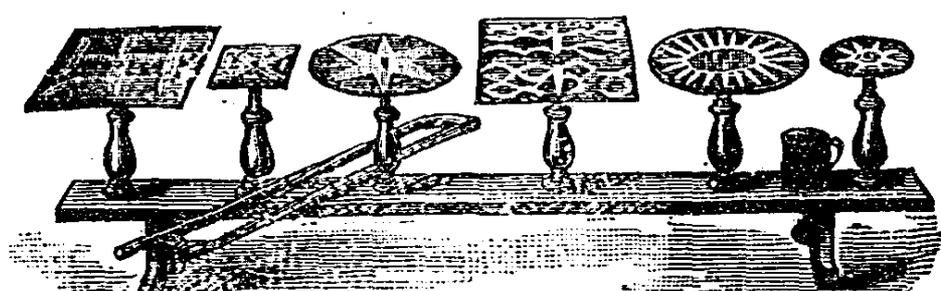
試驗第一百六 片上撒沙，又和以萬年松粉少許，則片顫時，見

粉聚於極動之處，而沙聚於靜點線上，試言其故。

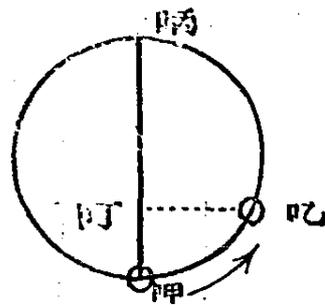
### 曲線記合顫法

高低諸音之顫動，互相關係，每可

以曲線記之。常法，設二體之顫動為正交，作一曲線，即表



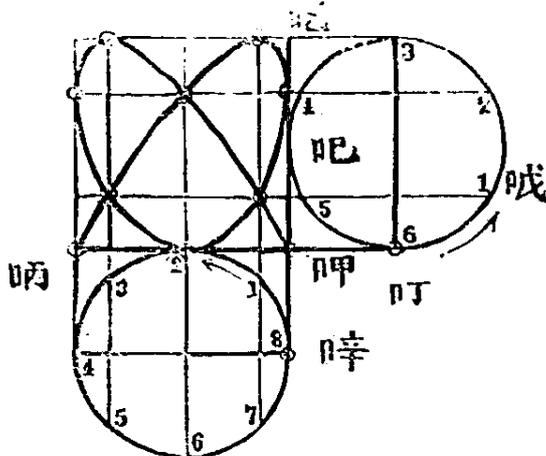
第一百九十一圖



圖二十九百一第

二顫動之合效。如第一百九十二圖、呬球以平均速率行於圓路、如人目在其顫動之平面內、相距略遠視之、則見球如往返於呬呬徑上、成和諧動、與擺無異。其於任一時間內、向呬所行之路、可射其影於呬徑上如叮。如發丙音已音之二顫動相合、其曲線可按下法繪之。

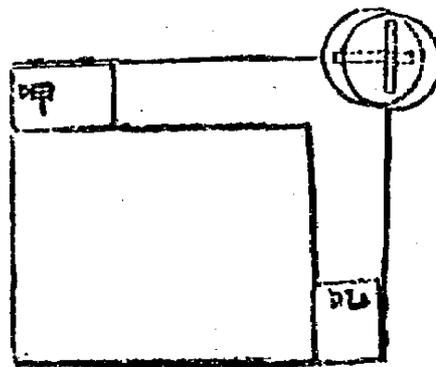
如第一百九十三圖、設有一點、以平均速率、繞行於呬圓上、代表發丙音之顫動。又一點繞行叮圓、代表發已音之顫動。此二音顫數之比例、既為 1 : 3/4、故發已音之體顫八次、發丙音之體祇顫六次。分叮呬圓為六分、又一圓為八分、自分點至呬呬及呬呬、各作諸垂線、引長之、其交點為所求曲線之諸點。諸點之間、再補以點、乃可綴成曲線。凡表二種顫動合力之曲線、皆可仿此作之。



圖三十九百一第

### 光顯曲線法

此法乃使顫體所成之曲線，人目得以察之。



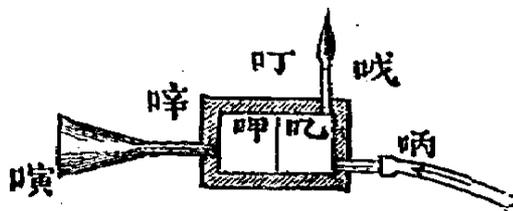
第一百九十四圖

試驗第一百七 釘呷乙二木塊於木箱之隅，如第一百九十四圖，二木塊之外面，各連細木條或鯨骨一條，其端綴一圓片，木桿顫時，二片平行相貼而擺動，各片之上作一長狹孔，如圖，然後同時令二桿顫動，自狹孔以窺明處，則顫動相合而成曲線，如顫動之比例為 6 · 8，則曲線與第一百九十三圖相仿。

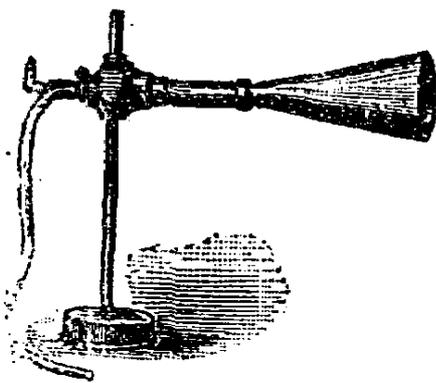
### 度聲火燄

德國博士江尼革

設法令聲浪之鬆緊，感動煤氣燄，而制其高低，可自旋轉鑑內，觀其功效。江氏名此燄曰度聲燄。其器之理，如第一百九十五圖，式如第一百九十六圖，為一木匣，或金類匣，以有躍力



第一百九十五圖



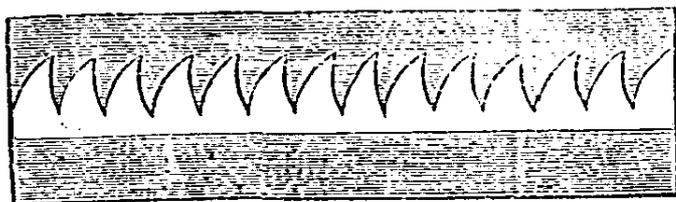
第一百九十六圖

之膜叮、分之爲呬呬二腔。通呬腔有二管、通呬腔有一管。由呬管通進煤氣、然於呬管之尖。燄小而圓。呬管通入呬腔內、將在開口噴處所成之聲浪傳入。如一緊層擊叮膜、則曲向呬、令腔變小、壓力加增、呬處火燄增高。如一鬆層擊叮膜、則呬腔變大、密率減少、呬處火燄縮短、其變甚速、非令燄影分開、則人目不能見、分燄影之法有二、其一轉目甚速、使視線橫過火燄、則影於目內分開。其二、置一旋轉鑑於其前、火燄不動時、鑑內之影成一光帶、如第一百九十七圖、但如向噴口唱一單音、則燄之升降、返照於鑑、成等高之尖鋒、其斜向與轉鑑之軸反對。如第一百九十八圖。若唱高一級之音、則其影之鋒數加倍。如所唱之音、爲長短不同之顫動所合成、則其影繁雜、作小浪以附入本浪。

試驗第一百八 向器口唱一級八音、俱用阿字音、細察各



圖七十九百一第



圖八十九百一第

音所有之變狀、再唱此級而呼斗來米法等音、能言簡音繁音之別否。

### 音顫火燄

管內之空氣、可以小燄感之、令成顫動而發聲。

試驗第一百九 取長一呎徑二三厘之玻管一直立

之、另取長三十厘徑五耗之玻管、抽長成尖、而有小口、

其下端連橡皮管、通於煤氣藏、放氣入管燃之、令燄高

在二至四厘之間、挿此燄入管內、如第一百九十九圖、

至一點、則燄搖動、而其管作聲、用旋轉鑑察之、則見其影如第一百九十八圖。

注○凡用旋轉鑑以察顫燄之試驗、於暗室中為之、尤妥。

試驗第一百十 取長二十厘徑八耗之玻管、抽成細尖、曲為直

角、用銅絲鉤、裝於板上、其上置三足架、蔽以銅紗、如第二百圖、放

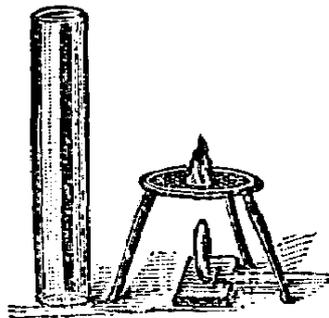
煤氣通入此管、於銅紗上燃之、改玻管之位置及煤氣之壓力、令

其燄淡藍、底寬頂銳、此燄之上、套一徑五厘之管、其長無定、則即

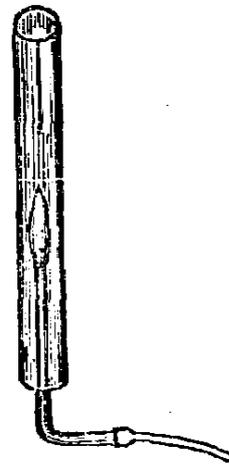
發樂音、觀其因管之長短、發音高低之比較如何。

### 記聲器

愛狄孫製記聲器、以記聲之顫動、最為奇妙。其最近製法、要件為



圖百二第



圖九十九百一第

蠟製圓筒、膜之顫動、藉其下所綴金類尖劃記於筒上、聲浪激膜顫動、即推動金類尖、時蠟筒旋轉、故尖劃成螺旋形淺槽、槽如無數小凹凸、與聲浪之緊鬆層相當、再另取一尖針、以代劃之之具、轉動蠟筒、則尖循原槽動盪、令薄膜發聲、與原聲逼似。

三四

聞聲之限

常人出音、高低不一、或唱下品調、或唱上品調、或唱副品調、或唱正品調、此人所習知也。而聞聲之能、亦有不同、或易聞高音、亦有易聞低音者。

試驗第一百十一 第二百一圖為一種吹器、銅製、一端有橡皮泡、一端有螺旋、可進退以定音之高低、當螺旋在最外端時、手握橡皮泡、則出低嘯聲、轉進螺旋少許、再發聲、則較前稍高、仿此迭為之、令音漸高、終則全班學生內有一人不能聞、繼而又一人亦不能聞、即聞高音之限已至。

習問

一 有弦長八十浬、每秒顫一百二十八次、有同類之弦、以等重繩之、每



圖一百二第

秒顫二百十三另三分之一次、其長當爲若干。

二 有弦長一呎、每秒顫二百五十六次、同類之弦、以等重繩之、每秒顫一百二十八次、其長若干、欲不用此長弦而發此顫數、當用何法。

三 弦長四呎、發啞級子之斗音、則活柱當置何點、可令其發同級之叟音。

四 有弦爲一磅半之重所繩、則發丙音、當其發戊音時、繩重若干。

五 一呎長木風琴管、與等長之金類管發聲、於何不同、於何相同。

六 如開口風琴管長六呎、乃出某音、則開口管必長若干、乃發其第三全音。

七 禮拜堂所用之風琴管、爲開口乎、抑閉口乎、并言其故。

### 實驗室功課

一 於音叉之一股、上以蜜蠟黏細白絲線一條、線之彼端、連於天平紙盤、置格蘭姆砝碼於盤內、橫持音叉、旁邊向下、以軟木槌擊之、則線顫成浪形、試察盤內之重與動點之數、有何關係、試變其重、則觀動點有變否、又持音叉、令其邊向下顫動、則如前之等重、能令動點之數、亦與前相等否。

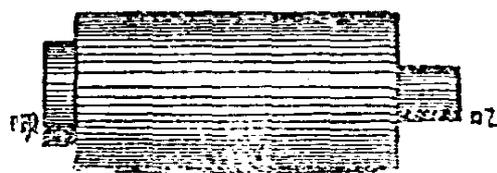
二 用二百二十八節之顫片、成十種聲圖、而給出之、且各定其拉弓及執手之點。

三 作大小不同之助響器數枚、式如第二百二圖、用紙黏合作圓筒、二端黏以硬紙片為底、另黏小管、插入其底孔內、如呷與吃、其二端均開、用時呷口向發聲體、吃口連以橡皮管、通度聲火燄之一邊、如第一百九十五圖之呷管、用大小各式之助響器、則可見某音能令某火燄顫動、餘者並無功效。

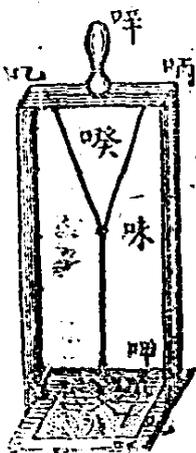
作架置諸助響器、令各連一合宜之度聲火燄、為考查聲趣最佳之法。

四 如第二百三圖、製一木架、其底板厚約四糲、方四十糲、二旁釘二板

柱、高出底板之面一百二十糲、其頂連一橫頂板、頂板之中央穿一孔、插入呷柄、雖緊而可旋轉、另作一鉛圓片、厚二糲、徑十糲、中穿一孔、徑五糲、以三線懸之、在呷點與上面二線相繫、此二線穿頂板之吃呷二孔、而入柄之孔內、再作一銅絲小環、如味、套於二線之外、可上可下、令二線并而為一、如圖中之味呷。次於底板之面置一玻片、上鋪細沙、次選一玻桿、適可插入鉛片中間小穴、將其下端於本生燄內燒去棱角、然後插入穴內、



圖二百二第



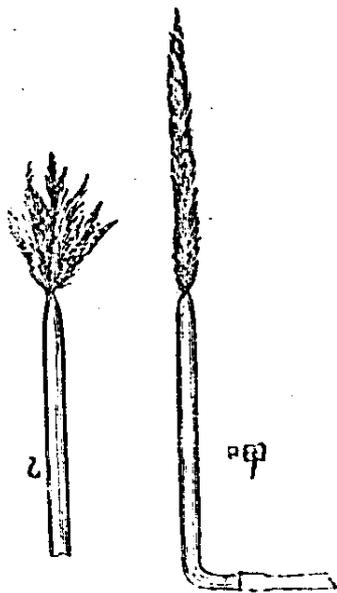
圖三百二第

手拉鉛片向旁、釋手、令循叮吡向擺動、則片爲自吶吡二點起之擺條、而玻璃於沙內劃一直線。再令片循吧啞向擺動、適與叮吡正交、則桿爲自咪點起之擺條、又劃成一直線。更拉片向旁、正對前二方向之間釋之、則玻璃所劃於沙上者、爲一曲線、其式視二擺之長而異、即其視咪與味二點與鉛片之距而異也。

咪點與鉛片之距、可轉柄令適爲一呎、移動咪環、可令短擺每擺三次時、長擺祇擺二次、則所得之曲線、乃表叟與斗二音之合效、如擺時之比、如 2 : 1、則所成之曲線、表某音與其重音之合效、按擺之例、以求擺之長與時、則易定短擺之長、適可代表諸樂音之中隔。

五 取一錫管、長三十糲、徑一糲、其一端閉口、近口周圍鑽小穴一行、管之彼端通煤氣、藏氣由小孔出、以火燃之、另取一錫管、長一呎餘、徑十糲、直立之、以前管并鑽插入其下端、觀其效如何、並言其理、大管之上、再套一管、則音之高低、何以有變。

六 取小玻璃管一、於本生燄內引長成尖、上有細



圖四百二第

口、下端連以橡皮管、通煤氣、如管口小孔合式、則煤氣之壓力、足令火燄之狀、尖如第一、二、四圖之呷、正在跳動之際、如發一尖高之音、則燄即降低而作吃狀、聲未息時、作此狀跳動不止。作輕嘯聲、或金類相擊聲、其燄即現此狀、足見燄之善於感覺也。向此燄變動之故、是否果因此高音感浪之鬆層緊層、而使管口壓力速變。試閉室門、在室外作一尖嘯聲、觀燄之變動如何。

## 第七章 熱

### 一 熱度及其度量之法

二三五

熱爲工力之變狀

近世格致家考定熱之新理，以爲凡物體之諸合

點時時顫動不息，任以何故，苟增其顫動之速率，則其體之熱亦增。減其顫動之速率，則其體之熱亦減。

熱爲合點工力之一狀，故可以別種工力變成之，而熱亦可變爲他種工力。

二三六

熱度

常言物之冷熱，不知冷熱二字，特連絡詞耳。蓋某體較別體之爲冷

爲熱，唯視其體之能分熱於次體，或受次體之熱而已。凡此名曰熱度。熱度高，低，視合點顫動之速率。

一體之合點，工力加倍，則熱度亦加倍。一體遇他體，則熱度高者，失熱若干，熱度低者，得熱若干，直至二體之熱度相等而止。

熱度非言熱之多少，學者切勿誤會。設自一桶熱水，昏取一杯，二者之熱度相同，然杯水之熱較之桶水，則固爲甚少。

熱感物體之效 加熱於物體其功效之大者有二。一則變其體積、一則變其體性。

試驗第一百十二 作一器式如第二百五圖、法於底板上裝二立柱、於近頂處各鑿一穴、足穿徑8吋之銅絲、於其一端裝螺旋、令其緊不能動、又一端則鬆而易動、另取一電池及電鈴、一端與銅絲連、其又一端連一銅簧、在銅絲鬆端之外、相距少許、次以本生燄燒銅絲之中央、絲漲而鬆端與簧相遇、電路通而鈴發聲、移去燈燄、銅絲即縮、電路絕而鈴不鳴矣。

試驗第一百十三 置蜜蠟一塊於錫盤內、以火烘之、試觀其體性有何改變。

圖百二第



試驗第一百十四 於試管之口、裝一橡皮塞、中間有孔、插入長三十糎之玻管、試管滿水、推

塞塞之、迨水上至呷點、如第二百六圖、持管之上端、浸熱水內、先見玻管內之水下降至

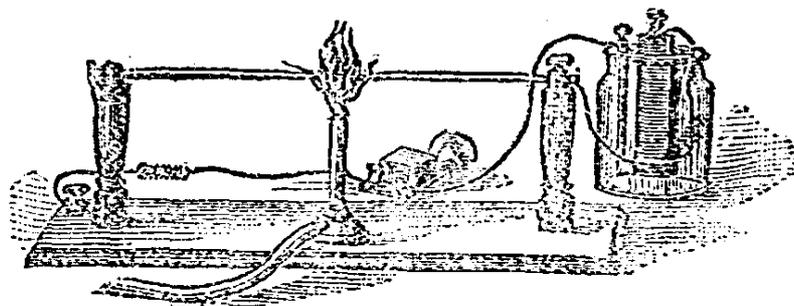


圖 五 百 二 第

二三八  
吃、繼見水漸升高、終則自啞流出、試言其理。

試驗第一百十五 用前具、先於玻管中段、貯短水柱、試管勿令著水、推塞入大口內、然後握試管下端於掌內、觀水柱高低有變否、空氣受熱果能漲否。

上文諸法、足徵液氣二質受熱皆漲。漲之多寡、視熱度之改變。

### 度量熱度

寒暑表為度量熱度之具、即依物體遇熱增漲之理所製。常用

者為水銀寒暑表、以一厚玻璃管、中間甚細、下端作球形以為之。

### 寒暑表貯汞之法

玻管上口作杯形、



圖七百二第

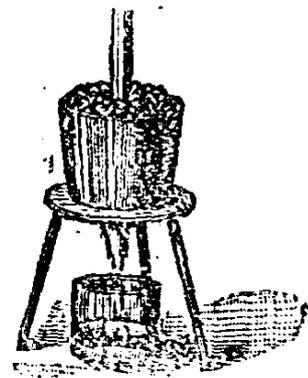
如第二百七圖、球受熱時、逐出空氣若干分、乃

注汞於杯口、迨球冷時、有汞少許、為空氣壓入

球內、再令球受熱、注汞於小杯、則球注汞可滿。次令汞

受熱而沸、管遂全滿、急封閉之、令不透空氣。

定諸點之法 寒暑表有二定點、曰冰點、曰沸點。



圖八百二第

冰雪之器其底多孔以便冰水濾下。第八圖 二百觀管內水銀定於某點即為冰點。有二事宜慎即令冰雪緊遇玻璃且勿令汞高出冰上。定沸點之法於器中煮水而懸表於汽內球距水面至少亦當一吋。煮水之器亦宜高庶汞之上升微高於塞見汽自別管散出而汞止不復升。第九圖 二百則汞柱之頂點即為沸點。惟當時風雨表宜高七百六十寸乃為合宜。煮水之器以高圓柱式而有壁二重者為最合因如是則寒暑表為等熱度之汽所圍繞也。



圖九百二第

二四二  
定度分之法 冰點與沸點既定其餘度分即按之而定凡製寒暑表先細驗玻璃管如徑之粗細不勻即不合用。如果均勻則加相等之熱管內任一段之汞柱增長皆等。度分既定則祇就冰點與沸點之間分為等分而命每分曰度。

二四三  
寒暑表分度法 常用之寒暑表一為百度表命水之冰點為 $0^{\circ}$ 而其沸

點為  $1^{\circ}00'$ 。二為法倫海表，命冰點為  $3^{\circ}2'$ ，沸點為  $2^{\circ}12'$ ，其  $0^{\circ}$  在冰點之下三十二度。二表於  $0^{\circ}$  下之度數，並先以負號，如  $-1^{\circ}00'$  (百)。法倫海表於英美二邦頗通行，然當世格致家，俱以用百度表為便，故此編所述之寒暑表數，如不別加標明，則恆為百度表數。

### 百度表法倫海表度數相比

夫既百度表於二定點之間分一百

度，法倫海表分一百八十度，是則  $1^{\circ}00'$  (百)  $\parallel 1^{\circ}80'$  (法) 明矣。故  $1^{\circ}$  (百)  $\parallel 59^{\circ}$  (法)，而  $1^{\circ}$  (法)  $\parallel 91^{\circ}5'$  (百)。如一種度數變為別種，則其  $0^{\circ}$  點之不同，與度數之大小俱須核算，其公式如左。

$$\text{百} \parallel 91^{\circ}5' \text{ (法} - 3^{\circ}2' \text{)}$$

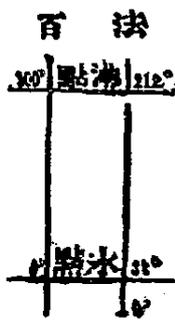
$$(46)$$

$$\text{法} \parallel 91^{\circ}5' + 3^{\circ}2'$$

$$(47)$$

二種度數之關係，觀第二百十圖可明。

二表於二定點間之度數，俱為正，惟百度表於冰點下為負，法倫海表則在  $3^{\circ}2'$  與  $0^{\circ}$  之間尚為正。測極低之熱度，



圖十百二第

二四四

則以醋代汞，以汞至  $-3^{\circ}8'8''$  即凝冰也。汞至  $3^{\circ}5'8''$  而沸，故測極高熱度，必別用金類所製之熱表，或空氣寒暑表。

### 空氣寒暑表

其簡式，乃以空寒暑表球之管，倒插入軟木塞內，塞有二

孔，推入半滿色水之試管口內。於上端設一板，劃分度，以便察管內水柱之高。令水柱入管之法，先加熱於上球，及冷水即上升至管內。此水柱之位，係於熱度，亦係於空氣壓力，故不能與水銀寒暑表適合。

二四五

### 度分之差

製寒暑表，得二定點後，其汞柱之於圈度，每高出圈度上，於

沸點時，每高出百度上，此因泡積漸變之故。如管既抽成後，待一二年，然後定其度分，則可稍免此弊。凡寒暑表宜時時查驗，以得其改正之數。

二四六

### 極度

屢經試驗，知氣質減熱，設自  $0^{\circ}$  至  $-1^{\circ}$ ，則其積較在圈度時，小  $2^{\circ}7'3''$ 。

此於任一度時俱真確，故以為至  $-2^{\circ}7'3''$  時，則氣質並無合點顯工力，而亦無熱。此  $-2^{\circ}7'3''$  (百) 之點，名曰極圈度，以此為準，得極度數，冰點為  $2^{\circ}7'3''$ ，沸點為  $3^{\circ}7'3''$ 。

金類寒暑表推二金增漲不等之理而成。使用之式，乃以二金合製一簧，善漲者居外邊，簧之一端定而不動，又一端連於指針，使之旋轉於圓面上，指出熱度之數。此表必以極準水銀寒暑表比較，以定其度分。

### 習問

- 一 熱度之變，在百度表為十四度，則在法倫海表當為若干度。
- 二 熱度之變，在法倫海表為三十七度，則在百度表當為若干度。
- 三 改下文度數為法倫海表數。  $2^{\circ}3$  (百)、 $-4^{\circ}$  (百)、 $-2^{\circ}3$  (百)。
- 四 改下文度數為百度表數。  $6^{\circ}9$  (法)、 $2^{\circ}3$  (法)、 $-8^{\circ}$  (法)。
- 五 百度表與法倫海表何度相齊。
- 六 甲寒暑表最高之度為 $1^{\circ}00$ 。乙表之最高度為 $3^{\circ}60$ 。倘泡積等大等長，則管徑孰當較細，熱度微變，則於何表更易辨識。
- 七 汞於 $1^{\circ}388$ 凝冰，則按百度表數之極度，當為若干。
- 八 按法倫表數之極度，則水之冰點當為若干，極圈度在法倫海圈度之下若干度。

九、羅木耳表水點為 $0^{\circ}$ 、沸點為 $80^{\circ}$ 、其變為百度表法倫海表數之法、各如何。  
 十、苟欲速得水之熱度、則用寒暑表之泡、宜大抑宜小。

### 實驗室功課

- 一、按第二百八圖法、以致實驗室內寒暑表之圈度、並列表記之、
  - 二、按第二百九圖法、以致其沸點、并記其效、存其所記、以備改正諸表之用。
  - 三、既試表之沸點後、器內加水、令其上圍玻璃泡沸、而觀其度數、則水之熱度與汽之熱度果同否。
  - 四、量玻杯及銅杯內沸水之熱度、觀二器內之沸點果相同否。
  - 五、化鹽於水內而煮沸之、其度數與前同否。
- 上文諸試驗、表水沸之度數、視器之優劣及水之清濁、凡受等壓力之水沸滾、其汽之熱度如常不變。

次數	下 端	上 端	中 點	較
1	$3^{\circ} 2$	$2^{\circ} 2 8$	$1^{\circ} 3$	$1^{\circ} 9 6$

六、試寒暑表管內孔之均勻法、橫持表管、按長之方向、驟搖之、則將水銀一線分開、用顯微鏡先觀

其下端之度數、繼觀其上端之度數、其每度之十分數、則可估得之、乃再搖令水銀線更近上端、而觀其度分、如是二三十次、將所得者、列表如上式、依之作一曲線、以表水銀線之長、及其中點度分之關係。

## 二 發熱 傳熱

### 熱源

熱之大源曰日、曰地之內層、曰力源、如因磨擦、擊撞、收縮、則工程變

為熱。曰化功、則化力變為熱。曰動物體熱、則因養氣化合、亦化功之一也、

日為熱源、人所共知。墻工於深墻內、徵地內之熱、距地面愈遠、則熱愈甚、

### 磨擦

磨擦生熱、其例甚繁。火車之輪驟止、則火星迸裂、足徵磨擦之能發

大熱、蓋火星者已燃之鋼也。二手相擦、則覺和煖。火柴磨擦、即發火燄。車床夾

木塊一而疾轉、別取木塊之一隅緊依之、則漸焦黑、皆其證也。

### 擊撞

二體相撞、則擊力令合點之顛動加速、而其體之熱度增高。

試驗第一百十六 置鐵條之一端於砧上、重鐵椎擊之十餘下、試觀其熱度有變否。

### 收縮

氣質驟縮、則其熱度亦因之驟升。

二五一

二五〇

二四九

二四八

試驗第一百十七 自行車所用之橡皮積氣筒，用夾夾之，提其活塞至頂而驟抑之，試觀筒之下端熱度有加否。

**化功** 化合每多發熱。人所常見者，為燃燒。火柴及煤之燃，皆足徵化功之生熱也。

試驗第一百十八 試管內貯水四立方糵，緩緩以

濃硫酸一立方糵入之，水與酸本皆與室內空氣同熱度，試插寒暑表入此雜液內，觀其熱度之變若何。



圖一百二十二

**傳熱** 二體互切，則此體略散已之合點力<sub>熱</sub>若干以與彼體。如二體之熱

度等，則所散所受者相同，而熱度不變。惟呬體之熱度較呬體為高，則呬體所散多於所受，而其熱度降低。所低之數，視二者熱度之較。同時呬體熱度增高，即謂熱已傳過。傳熱有三法，曰引傳，曰環傳，曰射傳。

**引傳** 試驗第一百十九 手指十糵長銅絲之此端，燃彼端於木生燄內，不久紅熱，而此端亦熱可灼手。

二五四

二五三

二五二

熱於體內、自此合點傳至彼合點、此法名曰引傳。

用前法設以玻管試之、則雖距手四五糲處已鎔、手尙不炙。又如燒木柴、則雖近手指、亦可無害。

以上三事、表明物體之傳熱、分善傳不善傳及中等三項。凡善傳熱者、捫之常較同熱度不善傳熱之物、或熱或冷、因其傳熱至手、及引手之熱、俱較不善傳者為易故也。凡液質俱不善傳熱。

試驗第一百二十 置冰塊於試管底、冰上注水幾滿、管以銅絲一條持管、置本生燄上、燒上端注水處、煮水至沸、而水底冰、祇距數糲、仍不融。

**環傳** 熱度升、則液氣二質之重率減輕、故其任一點較別段受熱較多、則合點上升成溜、是名環傳溜。

試驗第一百二十一 薄玻璃瓶塞以橡皮塞、中有一

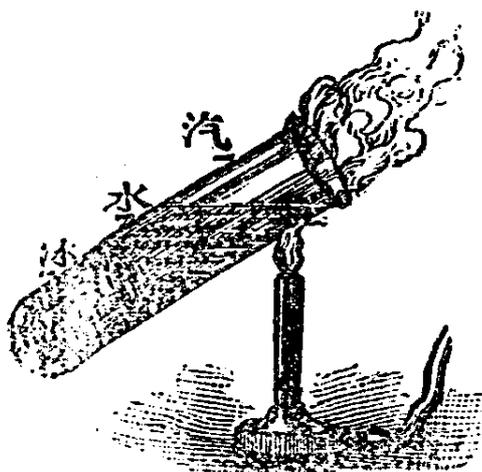


圖 二 十 百 二 第

孔、插入八厘長之玻管二、其一下端幾與塞之下面齊、其上一端幾與塞之上面齊、瓶內滿以色水、加熱、塞之、沈於大冷水杯內、如第二百十三圖、則見煖水自一管出、而冷水自一管滲入、即成環傳溜。問此冷水進至何處。

液質環傳之理、通諸日用者、為熱水煖室之法。其法煮

水於釜、連以管若干、環通全室、熱水上升、通過諸管、涼者仍還釜內。

**氣質環傳** 空氣遇熱、則漸熱、熱度高則重率漸輕、故成環傳。試法、燒煙

紙於熱金類之上、則見煙隨空氣溜而上升。既製煙紙法取鬆紙浸硝水內

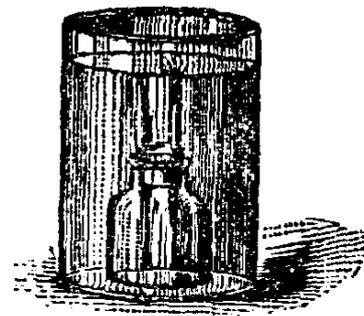
試驗第一百二十二 立短燭於盆內點之、取燈罩套其外、

注水少許入杯、令空氣不能自下入罩、則燭不久即熄、其故

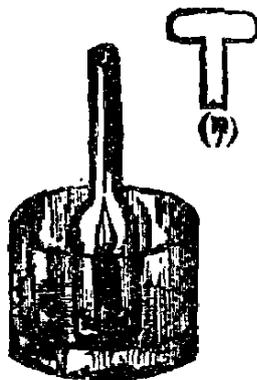
何也。割薄皮作第二百十四圖之甲字式、插入套頂、則燭可

久燃不息、其故何也。以煙紙可試鐵片二旁之氣溜。

**通風** 由上文試驗、可知空氣必時換新者、然後燃燒不息。亦可知換氣賴



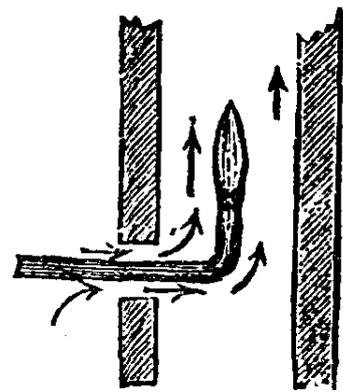
圖三十百二第



圖四十百二第

環傳之理。室內通風最佳之法，於牆內煙囪開口，插入煤氣焰一，如第二百十五圖，即足引室內空氣，令自煙囪外出。

射傳為傳熱之第三法。展手掌於火爐之前，則火之工力射至手掌，即覺其熱，而其間之空氣，初未熱也。置屏於爐與手之間，則射傳即隔斷。地受太陽之熱，亦為射傳。工力乃自太陽四射，為以太浪，以太之為物凡體受此顫動，則其合點顫動更速，令全體熱度增高，自人言之，即所謂體之受熱也。

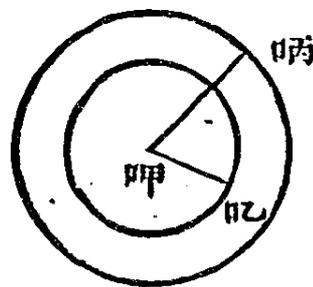


圖五十五第

### 射傳三例

- 一 射傳乃循直線。唯於密率均勻之傳質內，此例方真。
- 二 真空內亦能射傳與空氣內同。此即射傳之原理，蓋傳熱者，乃以太而非空氣也，如此例不真，則地球不能得熱於太陽。
- 三 所射之熱，其濃率如熱源之熱度正比。

四 濃率如距之平方反比。



圖六百二第

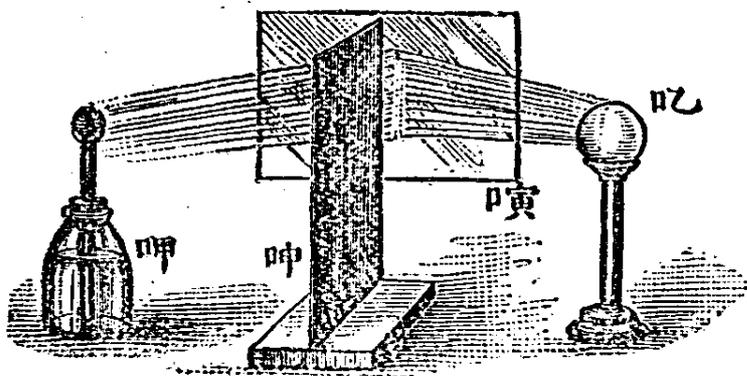
設如第二百十六圖，呷為熱源，在空球之內，其半徑為呷，凡於若干時內，所射之熱，盡為球面所受。如易以更大之球，其半徑為呷丙，則同時內小面所受之熱，今為大面所受，既二面積如其半徑之方正

比，故二球面等積之處，所受之熱數，如距源之數平方反比。仿此可證濃率之例。

返射 已經試驗，而知射熱乃按左例而返射。

- 一 射熱線與返熱線在同一平面內。
- 二 返角等與射角。

試驗第一百二十三 注水少許於玻璃瓶內，塞以橡皮塞，中有二孔，其一孔插以空氣寒暑表，如第二百十七圖之呷，置紅熱球於呷架上，間以呷屏，隔絕向呷直射之熱線，置鑑於噴，其位



圖七十百二第

適足以返射熱線至呷，則表泡內空氣漲大，逐出管內之水少許，表泡塗黑，則收熱更易，試驗愈靈。

### 射熱表

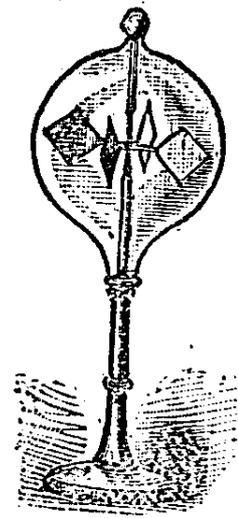
一名器者，用以察射熱之具也。式如第

二百十八圖。玻璃泡內有

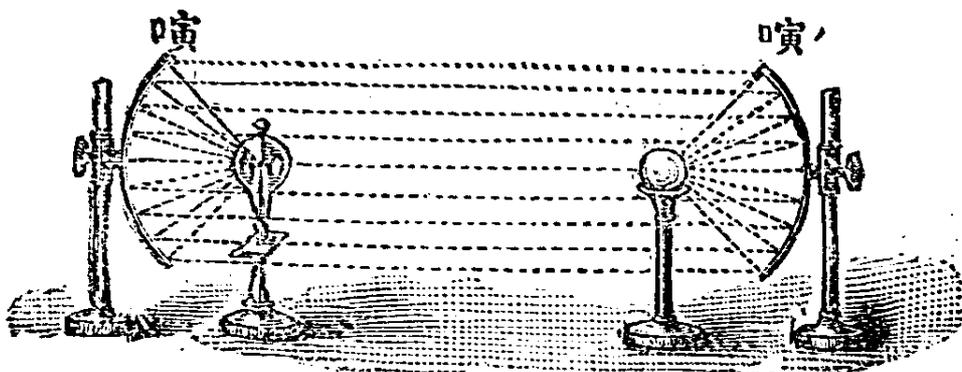
正交十字鈇架，四端綴以圓鈇片，各片一面塗以煙灰，一面光亮。此架橫裝於直桿上，可與之同轉於泡底，窩內圓片受射熱，即旋轉不已。其速率視所受熱之濃率大小。

此器可用以顯返射熱線之理，其法如左。

試驗第一百二十四。取噴噴二凹鑑，於噴之光心，置射熱表，噴之光心，置一紅熱鐵球。勿令球與表互近，以避熱之直傳，球與表既同在光心，則表受返傳之熱，旋轉不已。



圖八十二第



圖九十百二第

試驗第一百二十五 作一匣，密不透光，其中適可容一射熱表，另將生鐵或銅一片燒至將紅熱，貼於匣門之內面，置表於匣內，而閉其門，為時一分餘，開視之，則見表旋轉，是則使表轉者光乎，抑熱乎。

**射熱收熱力** 熱體之射熱，乃係乎熱度及其面之形狀。光滑之面，射熱力小，質同而面糙之體，則射力較大，凡體善收熱者，亦善射熱，然不善返熱。收熱之力，略係於顏色。

試於雪上展布二方，一黑一白，日光照之，則黑布收熱較易，其下之雪多融，白布之下則否。

**收熱之特異** 物質收熱之力，時亦隨熱源之熱度而異。

試驗第一百二十六 煤氣燄之前，置射力表，則旋轉不已，中間隔一玻片，則燄所射之熱，幾盡為玻片所收，而表不動，又置射力表於日光內，當其轉時，以玻片蔽之，則輪停轉否。

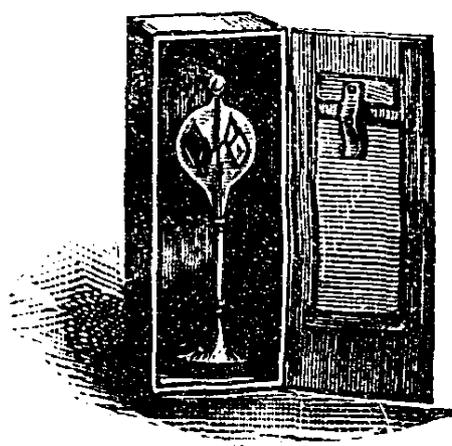


圖 十二百二第

玻璃透過日之射力，而收食低熱度體所發之射力，其理尤重要，蓋日光可透玻璃而入室，爐火之熱，不能透窗而出也。

日透玻璃之射力曰明熱，低熱度體所發之射力，為玻璃所收食者曰暗熱。石鹽等物，易透射熱，是為透熱體。玻璃礬水等物，善收射熱，是謂阻熱體。

試驗第一百二十七 置電池所用扁磁瓶，以隔日光與射力表之間，則表之轉速有變否，瓶內滿水，則其變是否更多，貯以礬水鹽水而屢試之，觀何水最有透熱之性。

空氣內之水氣，收食暗熱甚多。昔田大里驗得溼空氣收熱之力，較乾空氣大七十倍，緣晝間日之射熱，為明熱，大半透射入地，晚間地所返之暗熱，則被阻止，不能外散。

### 習問

- 一 火車內之熱匣何為而設。
- 二 試解劃火柴取火之理。
- 三 熨斗之柄，以木不以銅，何也。

- 四 設有熱水若干，欲置於涼室內冷之，則宜貯以鐵筒乎，抑木筒乎，并言其理。
- 五 試繪冰廠牆壁之略圖，并解其理。
- 六 居室有雙層窗，何益，并言其理。
- 七 熱水煖室之法，試作畧圖表之。
- 八 熱氣煖室之法，亦作圖明之，并言此二法之優劣。
- 九 解成風之理。
- 十 山巔較之山谷，日光之內更熱，蔭內更寒，何也。
- 十一 以玻璃蔽爐，合否。
- 十二 冬令雪面有落葉或暗色體，則漸融入雪內，何也。
- 十三 花房之玻璃罩，對日之射熱，及其內之返熱，有何關係。

### 實驗室功課

一 以車床轉一軟杉木之圓柱，持細硬木桿，緊貼其面，而疾轉之，則有燃痕數條，其故何也。

二 選紫銅黃銅白銅鐵等絲，插入銅環孔內，塗以石蠟一薄層，置環於架，令本生燄可穿過之，如第二百二十一圖，細察石蠟之鎔，迨第一絲將鎔至外端，急去其燄，次度別絲已鎔之距，乃列諸金傳熱力之次序。

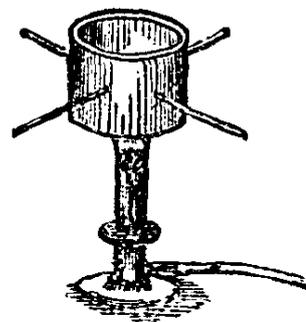
三 高玻璃瓶內，貯熱水，染以安尼林色料，次持冰一方，令其一隅觸水面，則見水之成溜如何。

四 取等大之馬口鐵箱二，其頂各穿一孔，插橡皮塞，內裝寒暑表，一箱塗以煙灰，一箱光亮，俱貯以同熱度之水，乃置之日光內半小時，試觀寒暑表度數，并解其理。

五 如上二箱，貯以熱水，置冷處半小時，試觀寒暑表，并解其理。

六 距魚尾式煤氣燄一呎，置一射力表，數其每分時之轉數，移表近五呎，再數其轉數，以後遞次移近五呎，迨至極近，其轉數至不可數而止，乃以所得之數，作一曲線，自橫軸上取距燄之數，自縱軸上，取每分之轉數，如射力表精善，則所成曲線極佳。

### 三 增漲 化散



圖一十二百二第

二六四

### 度增漲之法

(甲)

定質

試驗第一百十二

已證定質之熱度增則

漲但未表明所漲之多少。體之熱度與其所漲之數有一定之關係，可以下式明之。

$$\text{長} \parallel \text{長} \text{ (一十啞西) }。$$

(48)

式內長為體在圈度時之長，長為其西時之長，西為熱度，啞為線漲指，即熱每加一度而長一準值所變之數也。定金類之線漲指，必以精器細驗之，用第二百二十二圖之簡器，亦可得其略近之數。

簡器為一銅管，中間通所試之金類條，近管之二端，各有一小管以通汽。金類條之一端，定而不動，又一端觸槓桿之一短臂，其長臂則為指針。管之中央，設一寒暑表，以定其熱度。先注冰水於管內，繼則注汽，則條所漲之真數，可自表面之數及槓桿二臂之長推得之。既得每百度增漲

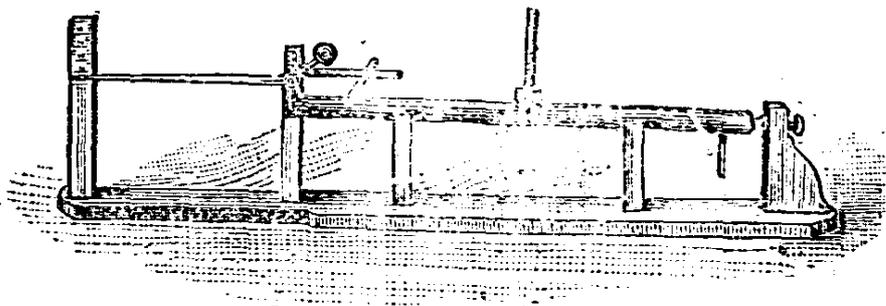


圖 二 十 二 百 二 第

之數若干、即易推得每度之漲數若干、是即線漲指也。各質之漲指、列爲下表、

杉木	00000608	銅	00001718
白玻	00000861	黃銅	00001878
銹	00000884	鉍	00002316
生鐵	00001125	汞	000018180
煉鋼	00001239	冰	0000640

二六五

### 定質增漲之功效

冬日嚴寒、夏令酷暑、其熱度之較、足令金類條所

漲之差數、易於覺察。電報與德律風線、夏令較冬日爲鬆。鐵索橋、如伯魯華林之懸橋隆冬較盛夏高數寸。馬車輪之外箍、煨熱套上、迨冷、則緊縮而堅固。橋工與蒸釜、皆用紅熱之釘釘之、迨冷、則緊塞諸件、堅固異常。

增漲之功效、觀熱光電燈內之炭絲可知、電路既通、見絲於紅熱之前、漸作絞形、迨白熱而止。

二六六

度增漲之法 (乙) 液質。製寒暑表所以用汞與酒精者，皆藉其增漲

也。液質既閉於玻璃管內，則所見者乃其視漲數，非真漲數也。

試驗第一百二十八 擇等大之試管二，塞以等大之橡皮塞，其中各穿玻璃管，長二十糎，內徑三糎，一滿以水，一滿以酒精，塞之，迨水與酒精升於管內等高而止，浸此二管於七十度熱水內，觀管內液質上升之處，此二液質增漲相等乎。

第二百二十三圖之具，可定玻璃管內水之視

漲指。呬為玻璃管，上截細長，下端有塞門呬，此

管可貯四度熱水一百立方糎，細管之上刻

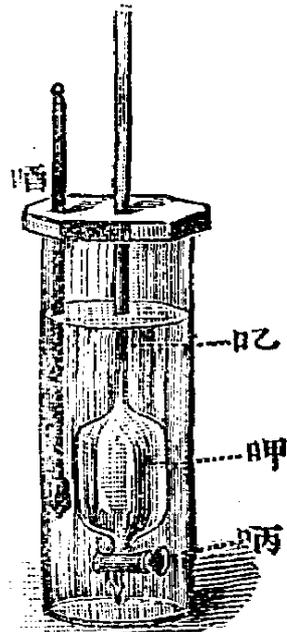
度分，至每立方糎千分之一，先貯四度熱水

於管內，上齊圈度，次乃浸之玻璃杯水內，漸漸加熱，由寒暑表呬，可得其熱度，當

其漸熱漸冷時，屢記呬管之度數，將其漲數以  $100 \times (\text{西} - 1)$  除之，即為

水在玻璃管內之視漲指數。

液質增漲之功效 液質受熱則漲，是其熱時較冷時為輕也。海溜之



圖三十二百二第

二六七

所以運動、即因此理與風力而成環傳。

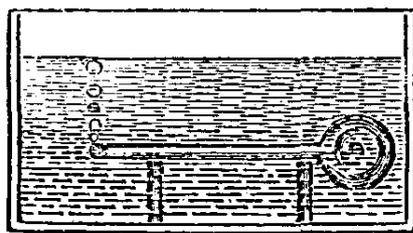
### 度增漲之法

(丙)

氣質

下法可顯空氣之增漲、且略定其漲指數。

試驗第一百二十九 如第二百二十四圖箱內貯冰水、置空氣寒暑表之泡與其幹之大半於水面下、迨其降至圈點、則沒其全體、橫置水內、如圖、用虹吸吸出冷水、而注入熱度、待其熱度為 $6^{\circ}0$ 、則空氣增漲、而自管口成泡上升、觀末一泡浮出、必記其熱度、置冰於箱內、令水仍冷至圈度、水即浸入管內、以補空氣之缺、次乃指乾表之泡與幹、衡之、貯水於泡與幹內、至滿而再衡之、此二數與泡滿空氣時之重相比、即可得其漲指數。



圖四十二百二第

屢經試驗、知空氣與別氣之漲指數、為  $2 \frac{1}{7} 3$ 。亦為  $0 \ 0 \ 3 \ 6 \ 6 \ 5$ 、是謂空氣一段、當 $0^{\circ}$ 時積為  $2 \ 7 \ 3$  立方糵、如壓力無變、至 $1^{\circ}$ 則變為  $2 \ 7 \ 4$  立方糵、至 $1^{\circ}5$ 變為  $2 \ 8 \ 8$  立方糵。

### 查理斯之例

氣質體積與熱度之關係、以查理斯之例顯之。

例曰壓力不變則氣質一段之體積與其極熱度有比例。

空氣增漲之功效 觀熱面之空氣易見其增漲之功效。蓋近面之空

氣受熱而升附近之冷氣來彌其缺故令熱面有上升氣溜其旁面有橫吹氣溜如熱面爲大塊地面則有大風向之而起。

體性之變 取圈度下數度之冰一方入煖室內則其熱度漸升至圈點

而其體積增漲再加熱融爲液質加熱至一百度則沸而化散於此有二變初則定變爲液次則液變爲氣雖至堅之體苟得合宜之熱度則多可仿此變其體性如鐵亦可化液然必熱至一千五百度始足。

二七二 鎔者加熱使定質化液也凡定質化液時之熱度其名曰鎔點鎔有二例如左。

一 某定質至一定熱度始鎔如壓力不變則度數亦不變。

二 鎔體自初鎔之後其熱度不變迨其全體俱鎔然後再升。

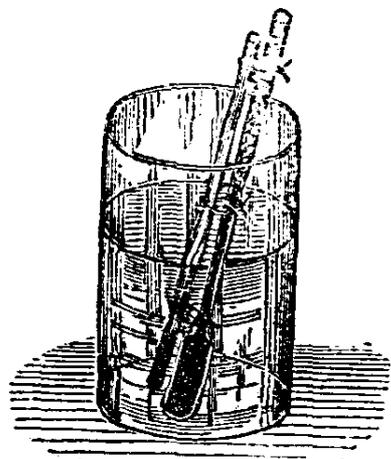
試驗第一百二十 抽玻璃管之一端令其外徑祇爲一耗次鎔蜜蠟於玻璃淺盆內以前

凝為鎔之反對、凡液質冷至鎔點以下即凝。物質凝時之熱度、與鎔點同。如

硫	白蠟	冰	汞	醋
1° 14	6° 5	0°	3° 88	1° 3050
鈦	鐵	銅	銀	鉛
1° 775	1° 500	1° 054	9° 54	3° 35

鎔點表

所抽細玻璃管之端吸滿之、待冷、繫於寒暑表之旁、令蠟正對表泡、同置於煖水杯內、如第二百二十五圖、下以本生燄加熱、觀蠟初鎔時之熱度若干、移去本生燄、待冷、觀蠟初凝之熱度若干、取二者之中數、即蠟之鎔點也。



圖五十二百二第

水汞等物，則謂此熱度曰冰點。凡液質凝時散熱若干，正等於其鎔時所收之數。菜蔬之冰點較水略低，故冬令藏蔬之室，置水一桶，則天氣雖寒，水先凝冰，其放出之熱，足令室內空氣稍煖，不更冷至菜蔬之冰點以下，而菜蔬不因冰損壞矣。

二七四

### 化散

水受熱則熱度漸升，即表其合點顫動之速率漸增也。合點上擊水面時，多有穿水面而入空氣者，為水氣之合點。熱度漸增，則凡此透出之合點，數亦漸多。當熱在沸點之下，則名之曰化散。當在沸點時，名曰沸滾。

七二五

### 化散之例

- 一 化散按熱度而遞增。
  - 二 化散如液質面之正比。
  - 三 化散如液質面上壓力之反比。
  - 四 化散按空氣之飽足而減少。
- 熱度甚低，化散仍不止。巨冰一方置於一處，雖天氣熱度常在  $0^{\circ}$  之下，而冰以

化散故、其重時減、冬令溼衣立即結冰、而仍可乾燥。

空氣當某熱度時、不能再容水氣、是謂飽足。如熱度增、則仍可化散、熱度漸降、即凝結。

**露點**

試驗第一百三十一 注以脫於試管內、

半滿、插入寒暑表、另取一玻管成直角、如第二百二

十六圖、置之試管內、其短端連長橡皮管、口銜之、輕

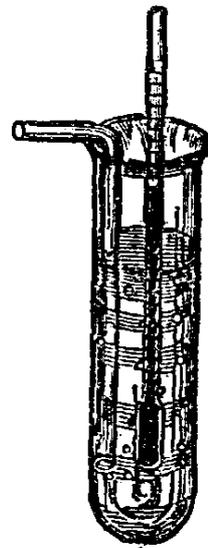
吹氣過以脫、以脫即化散、而熱度速降、觀試管下端、

外面溼氣凝結時、記其熱度若干、口停吹、熱度即升、迨溼氣不見時、再記其熱度若干、取

二者之中數、是為露點。

試驗時、更宜另備寒暑表、以測空氣之熱度、如二表之度數差甚、則知空氣熱度、尚遠在飽足點之下、如相差無幾、則知空氣已近飽足、苟熱度略降、即有水點凝結。

霧、露、雨、雪、皆空氣熱度低於露點所成者也。夏令空氣內飽足水氣、則鬱熱難



圖六十二百二第

二七

堪。

沸

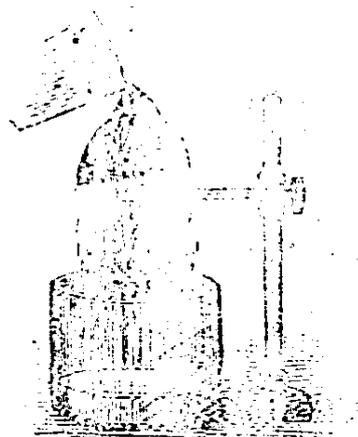
淡水若干、置火上、則初見之效、即有氣泡聚於器邊、此因水內容有空氣也。俄而諸氣泡離器邊與底、上升水面、旋見汽泡屢上、當此時、水之熱度、時增加、至一點、則成汽、上升甚速、作翻騰之勢、於是熱度不再加而液質沸矣。

試驗第一百三十二 玻筒內煮水、熱至六十度、移去火燄、取試管半滿以脫、與寒暑表同浸熱水內、如第二百二十七圖、可定以脫之沸點。

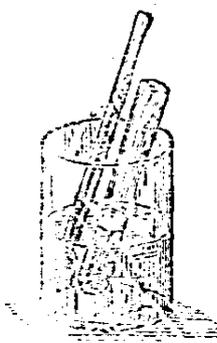
註 火燄勿近以脫、因其最易燃燒也。

試驗第一百三十三 仿前法、試得醋之沸點、先熱水至六十度如前、足令醋沸乎。

試驗第一百三十四 球形玻瓶、半滿以水、在本生燄上煮沸、迨汽自口噴出、移去火燄、塞其口、倒置架上、如第二百二十八圖、注冷水其上、令瓶內水面之汽縮而壓力減



圖八十二百二第



圖七十二百二第

少、故水復沸、此可徵壓力減則沸點降也。

壓力與沸點之關係、可更徵之山巔煮水、山愈高則沸點愈低、其熱馴至不足煮熱食物、每升高約 560 呎、沸點按百度表下降一度。按此理蒸蔗汁爲糖、用真空盆、令其化散加速、而糖不焦。反之、提皮骨內之膠、則增壓力、令其沸點下降。

二七八

**球勢**

水注於極熱之金類面、則成球勢。蓋熱而令水之少許化汽、餘水不緊貼面、汽承其下、不啻茵褥、汽時時往返、故水點速顫不已、迨而略涼、水徑遇面、則驟化爲汽、汽機蒸釜內之水過低、則水線上之釜邊、必驟紅熱、設冷水陡化爲汽、其力足使蒸釜炸裂。

試驗第一百二十五 置光滑鐵片或銅片於三足架上、以火燄加熱、將滴管酒水數點於其上、即成球勢、去燄而片冷、水徑遇片、則有何驗。

二七九

**氣之凝**

氣凝成液、乃因熱度之降、或壓力之增、或兼此二者。液質各有一定之沸點、故如雜液融合、則可用法使液沸而後凝、以分其質、此法名曰分蒸。

氣與氣之別，祇係乎熱度與壓力。同一物也，在溫道為液質，至熱道則有為氣質者，如以脫即其一也。凡氣質受大壓力，且減其熱度至一點，則變成液質。空氣受與空氣相等之壓力，冷至一 $1^{\circ}91$ （百）即成無色之液。反而言之，則可云空氣液之沸點，按常壓力，乃在 $1^{\circ}91$ （百）。

試驗第一百三十六 設器如第二百二十九圖，注冷水入套筒之下端，而自上端流出，取醴與水等分，同納瓶內，沸之，迨所凝而滴出者為三分之一，則去火燄，置蒸得者於火上試之，又置瓶內蒸餘之液於火上試之。

**分蒸法** 液質既各有其沸點，故數液之雜液，可以分蒸法分之。蒸粗石油時，待其初沸，即不加增熱度，迨可以蒸取之質盡出而後止，首次蒸得者，為最易自散之油，次乃加熱數度，則油又沸，定

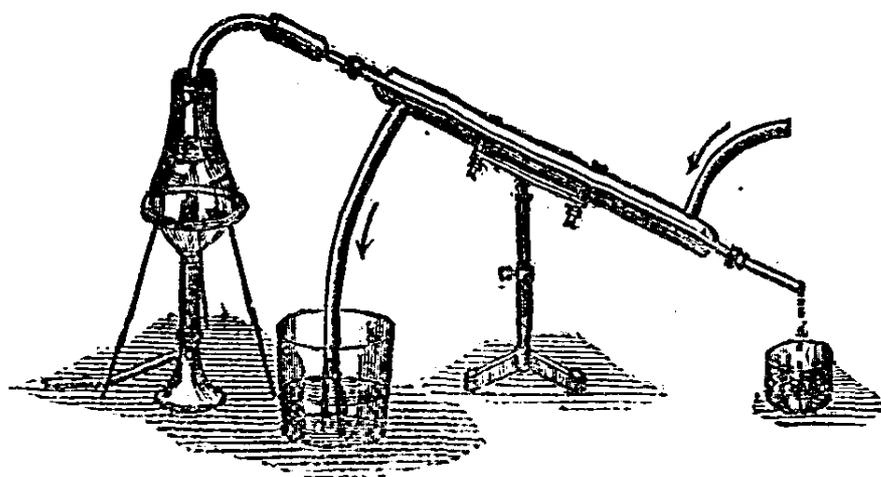


圖 九 十 二 百 二 第

其熱度、又令可蒸得者盡出。如此屢蒸、終則僅存厚漿、此爲最上等。

### 習問

- 一 黃銅箱長十呎、自 $0^{\circ}$ 至 $2^{\circ}4$ 、增漲若干。
- 二 鎔金類絲於玻璃管內、則恆用鉤絲何也。
- 三 設玻璃瓶滿水、於其底之正中、置木生燄、則其環傳之狀、試圖以明之。
- 四 一段空氣在 $0^{\circ}$ 時、積爲625立方呎、則在 $2^{\circ}3$ 時、積當若干。
- 五 試作圖以表北半球貿易風之方向、且言其故。
- 六 試言水管冰裂之理。
- 七 試得湖之水化散、每三十分爲003時、設其面廣一百方呎、則十小時當化散若干斤。
- 八 輪舟蒸釜內用海水、必先蒸之、何也。
- 九 玻璃杯貯八十度熱水、置於鐘式罩下、抽去空氣、則有何效。
- 十 死海較洋面低一千三百另六尺、則其處水沸點爲若干度。

十一 北美洲麥荊來山、高出水面二萬另四百六十四呎、在彼處水之沸點為若干度。

### 實驗室功課

一 備等長等徑之黃銅條、鋼條各一、裝之如第二百二十二圖器上、定其線漲指各為若干。

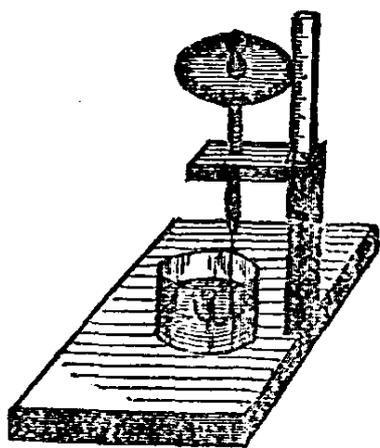
註 學者所得之漲指數、縱不能極準、然二金之漲數不等、已可顯然。

二 用第二百二十三圖之具、以定玻璃管內水之漲指、加熱須緩、當加熱時、及漸涼時、各記其度分、二者之中數、乃為真數、按所得之功效、橫取漲數、直取熱度、以繪曲線。

三 測定乳油、豬油、石蠟、蜜蠟之鎔點。

四 寒暑表之泡外、裹以薄層棉花、觀其度數、水溼棉花數分時、再觀其度數、另裹乾棉花、而以以脫溼之、又觀其度數、則可見化散之功效如何。

五 用第二百三十圖之鉤表以量(甲)室內之化散數、(乙)窗口風內之化散數、(丙)屋外之化散數、其鉤連於



第二百三十圖

測微螺旋、所以旋轉、用時先令鉤尖下浸水內、然後漸升之、令其却至水面、橫觀水面如鏡、則其尖所致微凸之處易見。

六 注水百立方糶於玻璃瓶內、其內化鹽十五、蒸之、令蒸得之水、每十五即易一杯、嘗各杯之味、以考其有鹽否、次傾去瓶中蒸餘、清水洗淨、乃以有鹽味之十五蒸水、再蒸之、則有何效。

#### 四 度熱

二八二

度熱 度水內所有之熱、則必計及二事、一爲水之體質、一爲熱度之變。

體質之準箇、寒暑表之度分、各有數種、故量熱之準箇亦有數種。如令一磅水加熱 $1^{\circ}$ (百)之熱數、則名曰一熱準箇。令一瓦水加熱 $1^{\circ}$ (百)之熱數、則名曰一克羅力。令一瓦水加熱 $1^{\circ}$ (百)之熱數、則名曰一小克羅力。本書所用者常爲克羅力。亦格致學家所公認也。偶用別種準箇、必明言之。

二八二

熱量 試驗第一百三十七 擇相等之玻璃筒二、一注以水至三分之二、一注以醋、至

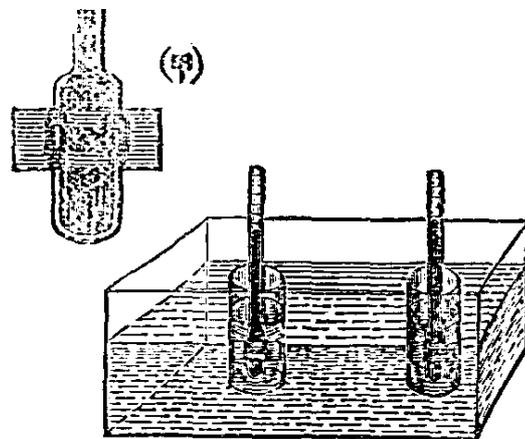
等重之數、另以長方銅片二、中各劃二縫、套寒暑表泡上、如第二百三十一圖之(甲)式、

作攪扇、置之筒內、觀表之度數、次將二筒浸入熱水箱內、熱水設為七十度、乃以手指轉二表之幹、攪動筒內所貯之水與醋、每過一分時、觀表之度數、則見何種加熱較速、如用玻璃筒大小合宜、令其內液質所蔽之面積適等、則試之更準。

上文試驗、始則二液質之熱度均為  $10^{\circ}8$ 、後則水為  $5^{\circ}0$ 、醋為  $7^{\circ}0$ 。倘所加於杯之熱、無須改正、則為  $7^{\circ}15$ 。蓋明乎熱量足令水加熱至  $30^{\circ}2$ 、則亦足令等積之醋加熱至  $53^{\circ}5$ 。熱量者、使水加熱一度、所需之熱數、與使任一質加熱一度、所需熱數之比例也。

諸質之熱量列表如左。

熱量表



圖一十三百二第

水	1.000	鉛	0.031
冰	0.502	汞	0.033
汽	0.480	銅	0.094
以脫	0.516	鐵	0.113
醋	0.620	鈦	0.214

**度熱** 度熱量之簡法爲攪和法。其理有二。一、熱度不同之二體相和，則此體之熱度降，彼體之熱度升，迨等度而止。二、涼體受熱時，所收之熱，適等於熱體涼時所散之熱。

算式 一二磅細彈丸熱 $9^{\circ}0$ 、傾入 $1^{\circ}5$ 熱水一磅之內，所得之均度爲 $2^{\circ}0$ ，則彈丸之熱量若干。

彈丸涼時所散之熱  $\parallel$  體質  $\times$  熱度之差  $\times$  熱量。初加熱時，所受之熱  $\parallel$  體質  $\times$  熱度之差  $\times$  熱量。

二八四

即 質度量  $\parallel$  質度量、 (49)

水之熱量為一、故得  $1 \times 5 \times 1 \parallel 2 \times 70 \times$  量、

即 量  $\parallel 1.450 \parallel 0.36$ 。

**鎔化之隱熱** 碎冰一杯、漸加以熱、則見冰融時、其冰水之熱度、不再升

高、即圖所加之熱、不變其熱度、祇變其體性、故自定質而變液質。

凡熱變一體之性、而不變其熱度者、是謂體之隱熱。

鎔質一準箇而不變其熱度、其所需之熱準箇數、是為該質融化之隱熱。迨質凝時、其熱仍退出。

試驗第一百三十八 注  $8^{\circ}0$  熱水五百立方糶於玻杯、置乾冰一百五十五瓦於內、調之、令冰全融、而測水之熱度、則約為  $4^{\circ}3$ 。

冰融時之隱熱、據上理可推得之如左。五百立方糶水所給之熱、乃用以融冰、且令全水至  $4^{\circ}3$ 。

水所給之熱  $\parallel 500(80 - 4^{\circ}3) \times 1 \parallel 5000 \times 37 \parallel 18500$  小克羅

力、

冰融時所收之熱  $\parallel 150 \times$  隱熱  $\parallel 150$  呔小克羅力。

冰水所收之熱  $\parallel 150 \times 43 \times 1 \parallel 6450$  小克羅力。

$$\therefore 150 \text{ 呔} + 6450 \parallel 18500$$

$$150 \text{ 呔} \parallel 12050$$

呔  $\parallel 8031$  卽隱熱也。

是卽謂融冰一磅之熱，足令一磅水熱至八十度。

化散之隱熱

玻杯貯水，漸加以熱，則水之熱度升至沸點，此後其沸雖

急，然熱度不升，煮之不止，則水可全化爲汽。熱之用以化一準箇水爲汽，而不

變其熱度者，爲化散之隱熱。迨汽化液後，則散出之熱，與之相等。歷經試驗而

知水化散時之隱熱爲 537，是卽謂化一磅水爲汽之熱，足令 537 磅水、

自  $0^\circ$  加熱至  $100^\circ$ 。

熱效之曲線

加熱之準箇數與其功效，以第二百三十二圖曲線表之、

二八五

二八六

最爲顯明。此線所以表明一坩冰自 $1^{\circ}8$ 受熱不已，迨其盡化爲汽而熱至 $1^{\circ}20$ 時，熱準箇與其改變所有之關係。橫距代表熱準箇，直距代表熱度之變。

冰之熱量爲5，故質度量 $\parallel 1 \times 18 \times 5 \parallel$

9 克羅力，卽令冰至圈度所需之熱。融盡之需

熱 80 克羅力。使其水熱至 $1^{\circ}00$ ，需熱 $1 \times$

$100 \times 1 \parallel 100$ ，故爲一百克羅力。化之爲

汽，則需熱 537 克羅力。汽之熱量爲48，故

質度量 $\parallel 1 \times 20 \times 48 \parallel 96$  克羅力，卽

汽至 $1^{\circ}20$ 所需之熱也。諸數之和，卽共需熱

7356 克羅力。

細玩此曲線，足令學者明熱準箇熱量隱熱三

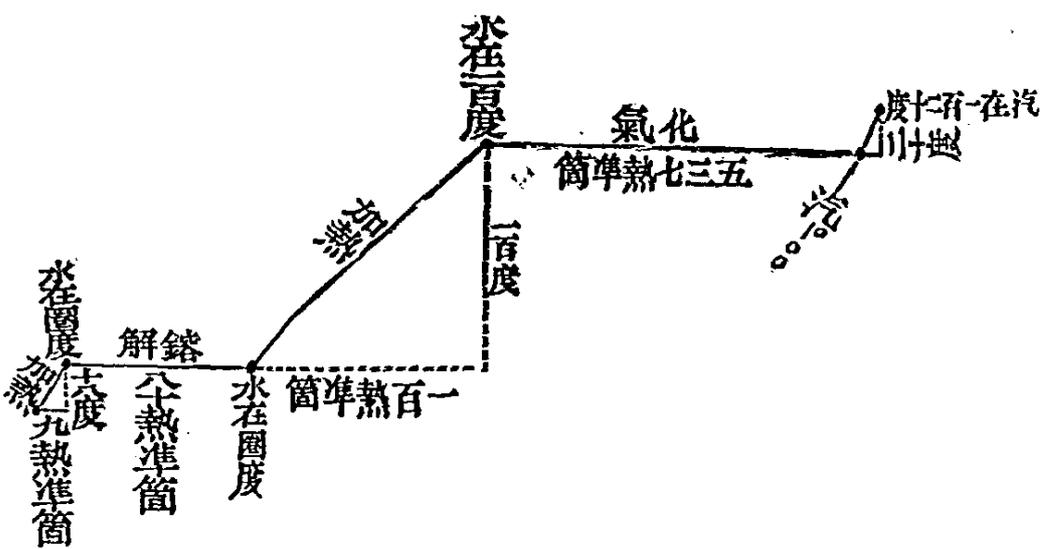


圖 二 十 三 百 二 第

事之相關、以推算含此三數之問題。

### 習問

- 一 水之高熱量、有何功效、並言其有益與否。
- 二 設一室之熱度爲 $1^{\circ}$ 、令水凝冰於其內、則有何效。
- 三 六十度熱水一甓、與二十五度熱水六甓相和、求其均度若干。
- 四  $9^{\circ}$ 之熱水與 $1^{\circ}$ 之汞、等重相和、則其均度若干。
- 五  $1^{\circ}$ 之鏢一片、落入等重之 $0^{\circ}$ 水內、則其均度爲 $9^{\circ}$ 、求鏢之熱量。
- 六  $6^{\circ}$ 水若干、足令 $0^{\circ}$ 之冰五甓融盡。
- 七  $9^{\circ}$ 之水若干、與 $0^{\circ}$ 之冰十磅相合、足以融盡、且令冰水、熱至 $1^{\circ}$ 。
- 八  $8^{\circ}$ 之水若干、能令 $1^{\circ}$ 之冰十磅、融爲 $5^{\circ}$ 之水。
- 九  $1^{\circ}$ 之汽若干、能令冰十六甓化盡、且其水熱至 $2^{\circ}$ 。
- 十 融 $0^{\circ}$ 之冰八磅、令水熱至 $1^{\circ}$ 、且化散至盡、則需熱若干、準箇、試作曲線表明之。
- 十一 鉛之鎔點爲 $335^{\circ}$ 、則令 $0^{\circ}$ 之鉛八甓、熱至鎔度、需熱若干、準箇、將此熱加於 $0^{\circ}$

之冰入甕，其功效如何。

十二 4° 5 之水十磅，涼至 0° 凝冰，所散之熱若干準箇。

十三 玻杯內貯 0° 之水五百瓦，通以氣管，則必凝若干汽，乃足令水之熱度至沸點。

十四 1° 5 0 之銅屑五百瓦，傾入 0° 之水二百另五瓦內，則其均度若干。

十五 鈦一百瓦，熱至 9° 0，置之 1° 6 之水三百瓦內，則其均度若干。

以上諸問，未計及器具之熱度，然不可不計。

十六 銅杯重 1 2 5 瓦，貯 0° 之水三百瓦，傾入沸水五百立方吋，則其均度若干。

十七 鉛皮一捲，重 6 5 0 瓦，懸之沸水內，次移入別水杯內，此杯重七十五瓦，貯水三百

瓦，熱 1° 8，如玻璃之熱量為 1 7 7，則其均度當為若干。

十八 加熱若干於以脫一百八十五，令其熱度自 0° 至沸點 3° 7，將此熱加於 0° 之水

一百八十五，則有何效。

### 實驗室功課

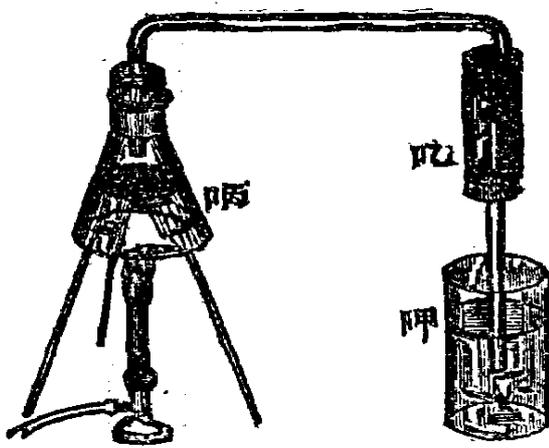
一 取相等之玻杯二，一貯熱水三百瓦，一貯冷水三百瓦，各測其熱度，而速并之於第

三杯內、測得其均度、以此爲始、屢爲之、令貯合液之杯熱度與合液略等則其熱不外散、而杯加熱、試觀其均度、果適爲二度之中數乎。

二 以線懸鉛片一捲於水杯內、以沸水加熱、另取一杯、貯冷水、適足浸沒鉛捲、記其重與熱度、乃將鉛捲速自熱水移入冷水內、迨均熱後、測得其熱度、末乃衡得鉛捲與玻璃杯之重、以此諸數、推鉛之熱量。

三 取一玻璃杯、衡之、貯水至三分之二、再衡之、次加熱至七十或八十度、將冰擊碎、以巾抹乾、既測熱水之度數、急納冰入之、緩緩調透、冰自全融、熱度既定、乃再測之、又衡玻璃杯與所容之物、以求冰之重、末用此諸數、以推冰融時之隱熱。

四 設器如第二百三十三圖之式、衡呷器內之水、并測其熱度、呷器下置火焰、煮水令沸、自呷具通呷器之管、必待其爲彼端來汽所熱、然後浸入呷器水內、煮呷水十五分、移去呷器、量其水之熱度、末乃用此諸數、以推水化之隱熱。



圖三十三百二第

註 加於呷筒之熱亦必計之、法取重乘其熱量、又以熱度之差數乘之。

五 貯水於玻璃筒內、加熱至九十度、移去火焰、測其漸涼之時刻與熱度、或觀每差一度所過之時若干、一一表之、繪成曲線、自呷軸取時刻、自吶軸取熱度、所成之曲線、平直少曲折、可見水之漸涼、隨水與他氣熱度相差而遞減。

### 五 熱與工程

二八七

#### 總例

前已言磨擦擊撞、可以生熱、又考得凡工力俱可生熱、英博士朱勒復考力熱之相關、而得總例曰、工力若干、隱而不見、即成等數之熱、反言之曰、有熱若干、隱而不見、即成等數之工力、其例亦真確可憑。

二八八

#### 熱力互等率

生熱一準箇、所需之工程準箇數、曰熱力互等率、朱勒試

得使一磅水加熱 1、(法) 所需之工程為 772 呎磅、亦即使一磅水加熱 1

(百) 所需之工程為 1390 呎磅、近時博士羅蘭考得更確之數、為 778

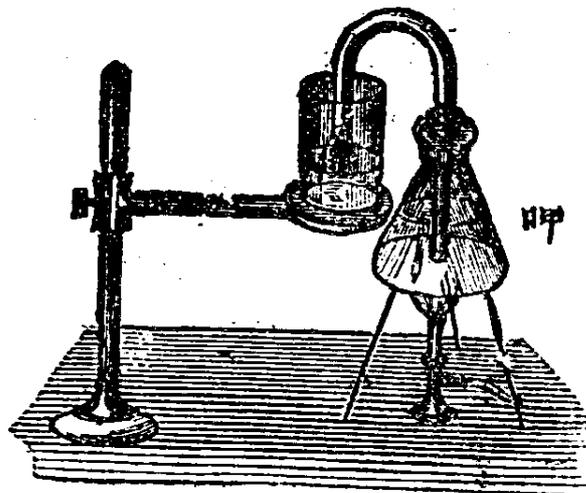
與 1400。

朱勒考驗之法、以一繩繫重物、繞過滑車而連於輪軸、軸之下端、裝一轉輪、重

物下行時、帶動轉輪、旋轉於水內。其水之多少為已知數、故重乘其下行之距、為工程之數。水之體質乘熱度之變數、為熱準箇數。按朱勒所得者、十磅重下行 772 呎、則足令水一磅加熱 1° (法)。

試驗第一百三十九 如第二百三十四圖、呷瓶貯水若干、煮令沸、一分時、移去其火、中央穿管之橡皮塞堵其口、管之下口、宜浸入水內、再置火其下、煮之、瓶內水氣加稠、壓力漸增、馴可壓水由管外流。

汽機者、變汽之漲力壓力、以成工程之器也。汽必因加熱而發、故汽機又不啻熱機。然煤之燃、汽之漲、機之動、皆失力甚巨。故近製最精之汽機、亦祇能用煤內蓄力百分之十五。簡式汽機之理、可以第二百三十五圖顯之。呷為蒸釜、以汽管吃通至汽腔。中間有合葉可。



圖四十三百二第

汽自汽膛過吸口而入汽筒之左端，在汽筒上蓋吧與活  
 塞吧之間。其壓力即推活塞向右，逐旁之餘汽，自吸口出，  
 至活合葉咳之下，由放汽口啐而入凝水池，或至空中。  
 活塞被汽推過若干，則活合葉咳為未桿所移而向左，閉  
 住吸口。則汽不復入，而活塞所以能仍向右者，汽之漲力  
 推之也。迨活塞既抵右端，如圖中虛線之式，則活合葉向  
 左移過已多，放開吸口，汽可由之而入汽筒，推活塞左行，  
 逼其左旁之餘汽，自吸口外出，而入放汽管啐。活塞之桿  
 味，連於總軸之曲拐，變活塞之往返動，為軸之旋轉動。軸  
 上裝一飛輪，其體甚重，所以令汽機穩動不簸。另有皮帶  
 輪，輪周繞以皮帶，傳軸之力以至各機器。  
 洩出之餘汽，放入空中，如輪車然，則稱其機曰高度機。苟  
 通入水池，凝而為水，則稱之曰低度機。

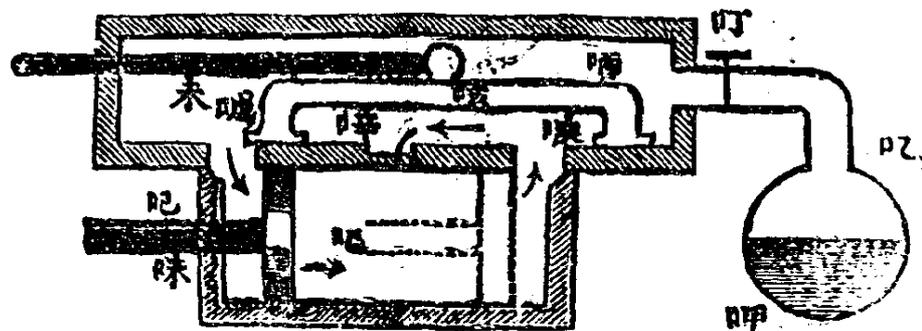
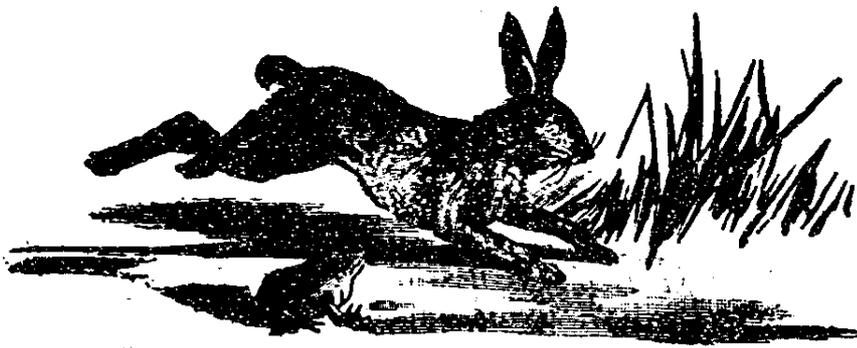


圖 五 十 三 百 二 第

### 工力蓄於煤內

太陽為世界之熱之大源，固矣。然於上古時，太陽積熱

無數於地內煤層。燒炭一磅，發熱 8080 準簡。白煤含炭甚多，故設一磅煤所發之熱，不使稍失，可令八千磅水加熱 1°，亦可令八十磅水，自 0° 熱至沸點。燒炭時，每三分炭，必須八分養氣與之化合，是則燒煤一磅，需養氣 2 3/2 磅矣。試思燒煤二千四百磅，可使重輪車一乘，自紐約至斐拉德斐亞，二城相距約九十里則煤內蓄力之多可知。燒煤二千四百磅，需養氣約三噸。



## 第八章 磁氣

二九二

天然磁鐵

有數種鐵礦，具吸鐵性，名曰磁石。俗名吸石西名曰馬克尼德

石 (Magnetite)

以初得之於小亞西亞之馬革尼西亞地也。取磁石一片懸之，

隨其往返自止，則其向必指南北。此南北方向乃磁氣之微差也名曰天然磁鐵。

人為磁鐵

試驗第一百四十 取縫針一，自中央向尖磨於天然磁鐵之此端，其

又一半磨於彼端，次令針近鐵屑，即有吸之力，亦能吸小鐵絲。

有吸鐵性之鋼塊，曰人為磁鐵。此名頗不合宜，常用以指鐵與鋼所製之磁鐵，

以別於天然磁鐵而已。

人為磁鐵，其式不一，或為條形，或為馬掌形。

恆磁鐵

暫磁鐵

磁鐵按其留存磁性之久暫，可分二種。以鋼所製

之磁鐵，留存磁氣甚久，故曰恆磁鐵。軟鐵所製之磁鐵，留存磁氣殊少，故曰暫

磁鐵。

極性

試驗第一百四十一 桌上鋪小釘，置磁鐵其上，持其中央，提起之，則見小釘

二九四

二九三

二九二

吸住磁鐵二端最多，如第二百三十六圖。

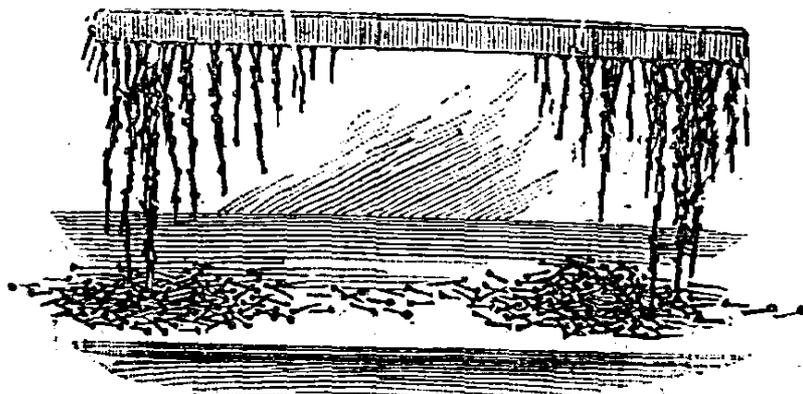
近二端之點，釘吸之最多者，曰磁鐵之二極。謂磁鐵乃有極性。凡體有極性時，即曰其體成極。

試驗第一百四十二 取前法所用之磁條，以線懸其中點，隨其往返自止，則其方向幾為正南北。

指磁氣北方之一端曰正極，亦曰北極。彼端曰負極，亦曰南極。此通稱也。然細核之，則宜稱之曰尋北之極，尋南之極。

磁針者，為一小磁針，懸以線，或架於尖樞之上，其用甚多。羅經一物，尤眾所共知者也。磁針所定之方向曰磁氣經線。其所指者為北磁極。

試驗第一百四十三 取縫針一，磨磁鐵之正極，自中點磨至針尖，計十餘次，乃倒之以磨負極，自中央至針眼，亦十餘次，乃以一線繫針之中點，懸之正平線之上端，以蜜蠟或



第二百三十六圖

火漆黏住一處，則可作多次試驗之用。

懸此針以求磁氣經線，觀其何端向北，且觀其果否為磨磁鐵北極之一端。

試驗第一百四十四 將精絨線之粗鐵針，作一小磁條，法置針於板上，以磁鐵正極磨之，自中央磨至一端，倒針與磁鐵再磨之，若製大力磁鐵，則必磨至多次，然後以鐵屑與釘驗之。

### 磁鐵之吸驅

試驗第一百四十五 令磁鐵

之正極，近磁針之正極，則有何效。又令磁鐵之負極，近磁針之正極，則有何效。更仿之，以試磁針之負極。

按前法試驗所得之理，可以例語括之曰：同極。

相驅，異極相吸。此例為磁氣學之要理，學者宜熟記之。

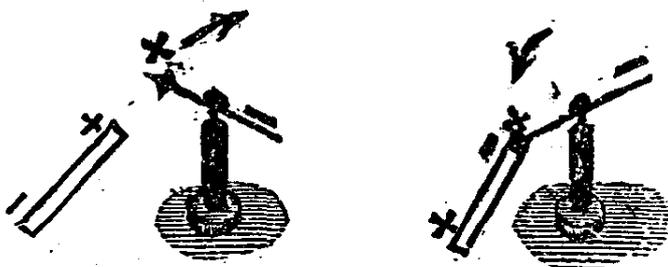
### 磁體與非磁體

試驗第一百四十六 桌上置小釘、螺

絲、鎖針、鉛筆、銅絲、紙張等物，乃以磁鐵吸取之，有能吸者，亦有不能吸者。



圖七十三百二第



圖八十三百二第

二九八

凡質為磁鐵所吸者，是謂磁體。不為所吸者，曰非磁體。鐵、鋼、鎳、鈷，俱為磁體。鐵礦有為磁體者，亦有為非磁體者。加以大熱，如於吹火之內，則可使變為磁體。

### 磁鐵內磁氣之分佈

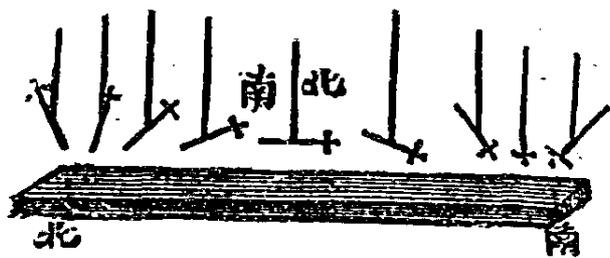
試驗第一百四

十七 置磁條於桌上，又取有磁性之針，如試驗第一百四十三所製者，以線懸之，自磁條此端移至彼端，在中央則針與條平行，此點曰中立點。其餘各點，則針俱欹側，或多或少，皆向磁鐵之一極。近端之二點，針幾直立，所指之二點，即二極也。

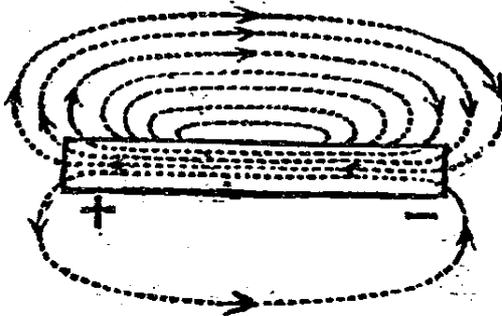
### 磁界

經諸試驗，可知磁鐵內，有一種力，為吾人五官所不能覺。此力之方向廣狹，講

磁氣學者，定其名曰力線，乃設想磁氣溜在磁鐵內，自負至正，在磁鐵外，自正至負。如第二百四十圖虛線之箭所指。磁力線常成連環，擇阻力最小之路而行。自一極所出之力線，其形雖直，然必過空中曲線路，而至彼極。



圖九十三百二第

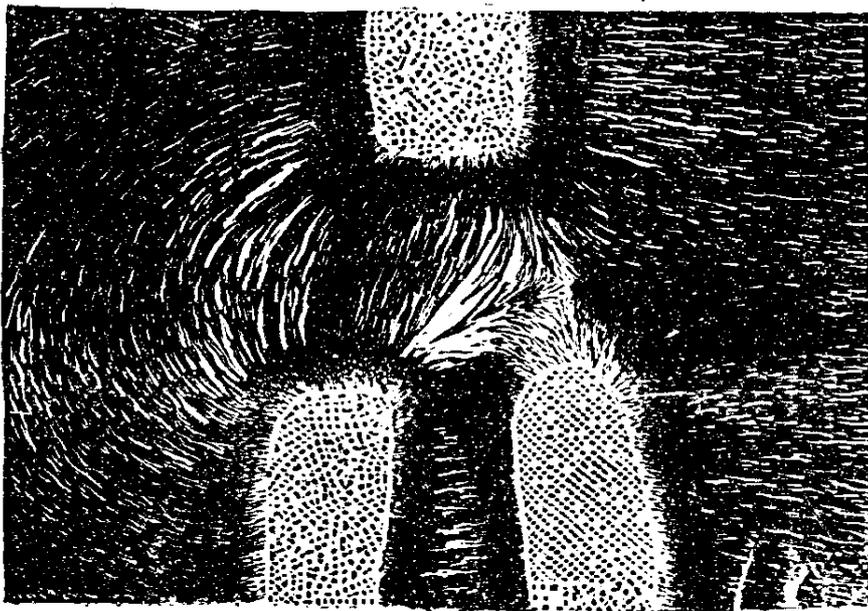


圖十四百二第

試驗第一百四十八 臥磁條於桌上，蔽以白紙一方，上置玻片，篩鐵屑勻攤其上，以鉛筆輕擊白紙，每一擊，鐵屑移動，復自排列成行，顯明力線之方向。作前法所用之篩，可取洋鐵罐一，鎔桿錫而去其底，乃鞣細洋布代之。

試驗第一百四十九 持有磁性之針，近前法之紙，則其自列，與鐵屑同行，如以半寸長斷針製成磁鐵試之，更為合宜。

**照相記力線法** 取去試驗第一百四十八之玻片，而代以照相乾片，且於暗室內，用紅色燈試之，則可得存久之圖。乾片必置磁條上，其有膜之面向上。篩鐵屑鋪勻，鉛筆輕敲之，迨力線之方向明顯，乃於片上距一尺遠，燃火柴一枝，以顯其影。



圖一十四百二第

然後按照相常法製成負片，可晒之於紙上，以表鐵屑之方向。第二百四十一圖爲一馬掌磁鐵與一磁條所成磁界之力曲線。觀其北極間之直線及北南二極間之短曲線，即可表極之吸驅。

三〇一

### 地球之磁性

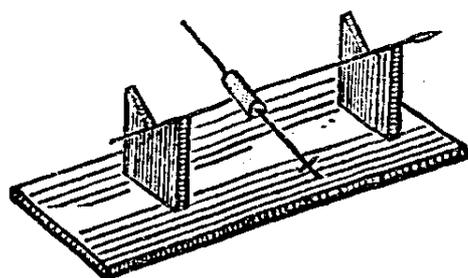
觀前文則已知者有三事。一、磁鐵之正極驅磁針之正極，而吸其負極。反之亦然。二、針欲自列於力線之方向。三、磁針懸之，隨其擺搖，則其北端指磁氣北方。由是可知，地球儼如一大磁鐵，磁針北極所指之極，乃如磁條之負極。因地之北磁極與磁針之北極本不同類，其定名頗與實理不合，然通稱磁針之正極爲北極，相沿已久，不可改易矣。

三〇二

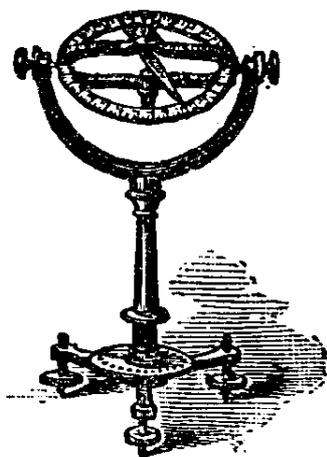
**俯度** 觀第二百二十九圖，知除一點之外，磁針俱俯指磁條之理。任在地面各處，將針平托樞上，令有磁性，則亦俯指其相近之一極。針與地平線之交角曰俯角，乃隨其與磁赤道之距而遞增。當磁赤道則磁針無俯度。當二磁極則磁針直立。

試驗第一百五十 如第二百四十二圖，以一針直穿小軟木塞，又取一針橫穿之，適與

正交、爲軸、擱之架上、屢變針之地位、伺其正合地平、乃復取下、以火漆黏針於塞內、且用大力磁條、使針有磁性、再擱軸於架上、觀針之正極向北、有何變狀。



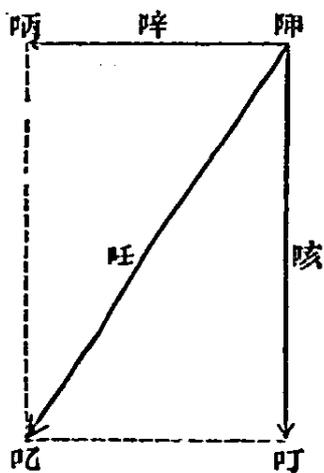
圖二十四百二第



圖三十四百二第

指極針、以定俯度之多少、有分度圈二、其一定於底、其一如環、可定針二端所指之度分。礦工多用類此之器、以定磁石之所在。

磁氣名目 如第二百四十四圖、呬吃爲指極針之方位、其呬呬吃角即名曰俯度。如呬吃代表磁氣之濃率、旺則呬呬代表地球磁力之直分力、咳、呬呬代表其橫分力、呬、針之附於直軸者、祇



圖四十四百二第

能變橫分力之感應。

### 磁氣偏差

上文已言磁針非指正北，因地之北極與磁氣北極非適相合也。北磁極約在北緯七十度西經九十六度之處。

觀第二百四十五圖，可見美國之東、北、省、磁針

偏向西，西方諸省，磁針偏向東。凡磁針指向與

本處子午線所成之角曰偏差。偏差每年有變

名曰年變。

### 無偏線

以線聯地面磁針直指正北之諸

點，曰無偏線。第二百四十六圖，即以明美國境

內之無偏線。線東諸地，針偏向西，線西諸地，針

偏向東。偏差每年有變，於測地繪圖，為尤要，故

宜察其變數而記之。攷歷年所記者，知偏西之差漸損，偏東之差漸增，近年之

中數約為每年七分。

三〇六

三〇五

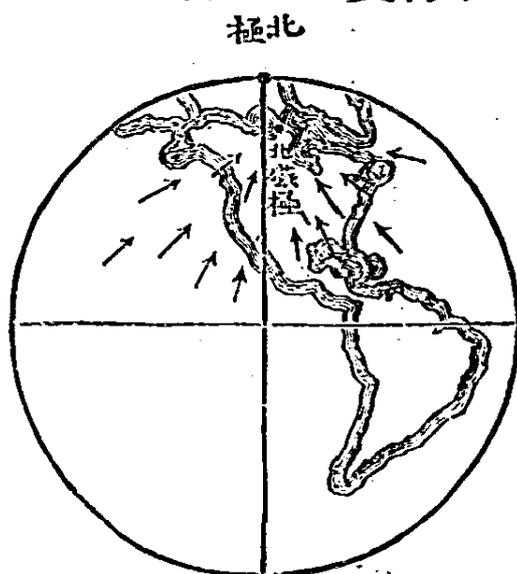


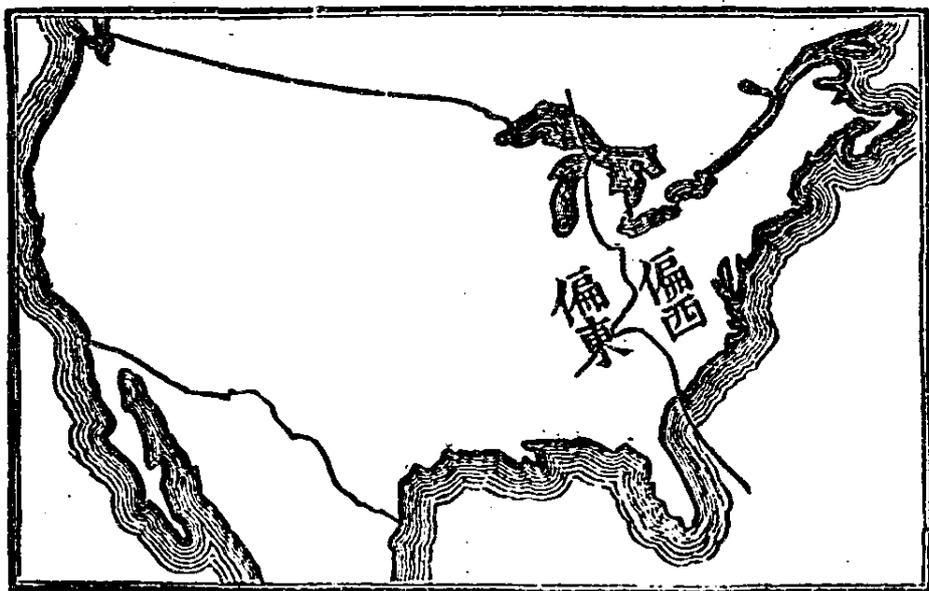
圖 五 十 四 百 二 第

# 磁氣感應

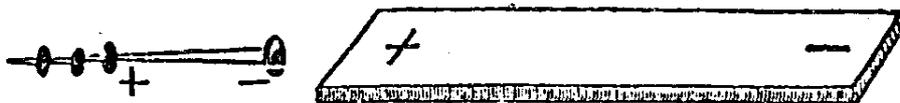
軟鐵一方遇

磁條則變成磁鐵、能吸別鐵。磁條插入鐵屑或小釘之間、吸起若干枚、則見其互相吸、各成一小磁鐵、雖未觸磁條之釘、亦然、是名磁氣感應。

試驗第一百五十一 平置磁條於桌面、近一端相距約一寸、置一大釘、其外端又以小釘近之、則能相吸、試以有磁性之針、試釘外端。第二百四十七圖 磁鐵有感附近磁體成極之性、為種種磁氣現象之底蘊。按此理則可解二磁鐵互吸、及其吸



第二百四十六圖



第二百四十七圖

鐵球之故。如第二百四十八圖之甲式，鐵球距磁鐵過遠，在磁力之外，故具中立性。令相近如乙式，則有感應，球成極性，近磁條之一旁為負，彼旁為正，球之負與條之正相吸，球之正與條之正相驅，但球之負邊距條之正端較其正邊為近，故吸大於驅，而球移向條。

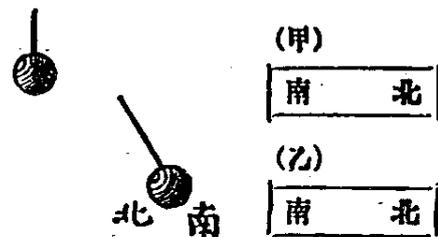
三〇八

地球之感應

地球之磁感，可以下法顯之。

試驗第一百五十二 取徑約一吋長三四呎之圓鐵條，橫之，正向東西，令其二端迭近磁針之南北極，則皆為所吸，是可證鐵條之未成極性也。持條循指極針之方向，下端在針旁，近其北極，針即退避，足徵鐵條在此位，已成極性，調轉鐵條之二端，以針試之，則見條之二極，亦已更換。仍令條橫置，正合東西方向，則又可吸針之二端，表其未成極性。再將條循指極針之方向，用錘猛擊一二下，乃東西橫置，以針試之，則見其已具極性。當東西橫持時，重擊一下，則又不具極性。第二百四十九圖

試驗第一百五十三 取屋內之鋼鐵條，試之，多有極性，直立者更甚，以有磁性之針試



圖八十四百二第

直立之桿、如桿之上端吸針尖、則其下端必吸針眼、反之亦然、問桿之下端為何極、並言其故。

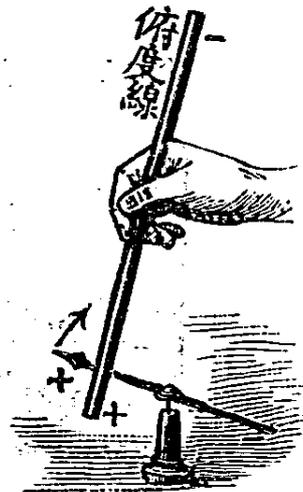
### 合點成極

設想鐵之合點、各成極性、則可

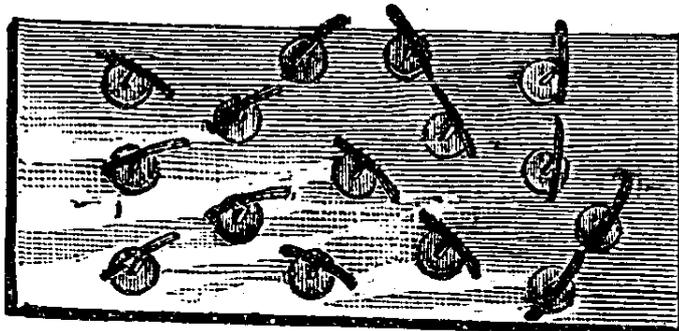
解感應之理。當鐵塊未成極性時、或曰中體內諸

合點、儼如小磁鐵、因互施之感、而方向不相統一。磁鐵近之、則諸合點互感之力為其大力所勝、即互相平行、而鐵成磁鐵。

試驗第一百五十四 取表之法條、斷為二三十段、各長半吋許、製成小磁鐵、於其中央以鑽鑿成小凹、另以鉛片剪成小圓片為底、中插小針、其尖架小磁鐵、如第二百五十圖、置諸針於板上、令相近而不相觸、則其方向不同、如圖、以大力磁鐵近板之一端、則諸磁鐵轉為平行方向矣。第二百五十圖、顯未具磁性之鐵條、第二百五十一圖、顯磁條感鐵條之效。



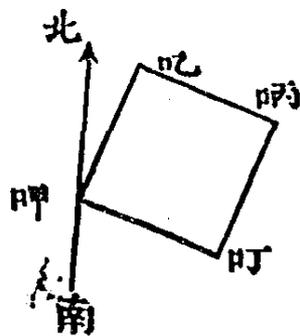
圖九十四百二第



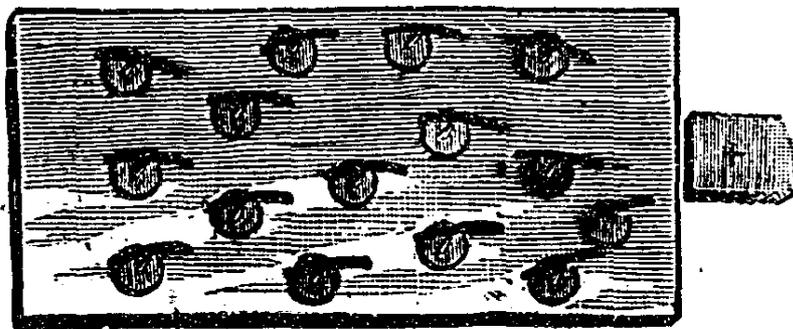
圖十五百二第

# 習問

- 一 天然磁鐵何以有極性。
- 二 設有磁針爲某體所吸，則可證此體爲磁體乎，可證此體已成極性乎。惟有何事可證極性。
- 三 平均磁界何義，試舉一例。
- 四 試繪一地面，而表其力線。北極在地面抑在地下，且有何證。
- 五 第二百五十二圖爲地一方，今欲測之，自呷點起，呷吃方向爲北，2' 0 東，舊測此線之方向爲北 1' 6 東，試以圖表明由舊向改新向之故，而不計其偏差。
- 六 剪與刀及諸鋼器，何以每顯磁性。



圖二十五百二第

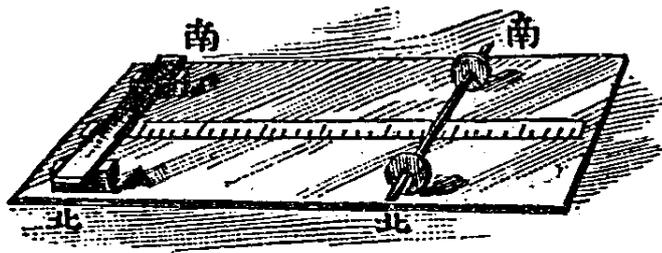


圖一十五百二第

- 七 正當北磁極之地面懸一磁針則其位如何當南磁極則如何在磁赤道則如何。
- 八 設於桶內水面浮一薄圓軟木片上置磁針果向北否其故何在試實驗之。
- 九 鐵礦鐵柱鋼絲籬等物感測地之羅經如何。
- 十 籬笆之鐵樁每具磁性何歟。

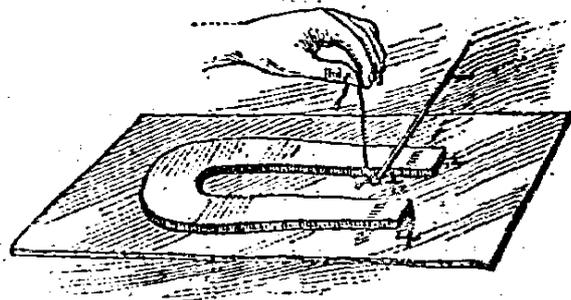
### 實驗室功課

- 一 以織絨線之鐵針製成磁鐵取軟木塞一割二薄片插針之二端入其中央桌上置大玻璃一片上黏紙條劃為分數每分一糶攔磁條於二木塊置玻片上其高適與針等乃置針距磁條若干糶南北二條並列如第二百五十三圖觀有何效以後每次置針遠一糶迨其不受感而止迭記其效列為一表然後反針之方向迭試之另取具磁性之針及馬掌磁鐵仿此試之。
- 二 桌上置馬掌磁鐵一以細線穿具磁性之針眼以手引之可令橫過磁鐵之二端如第二百五十四圖試言其理。

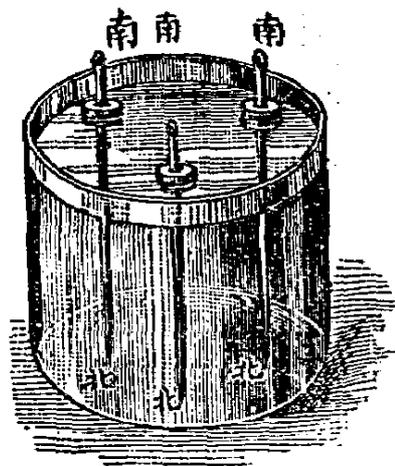


第二百五十三圖

三 製縫針若干枚為磁鐵，眼為南極，鋒為北極，各穿入小軟木塞內，眼在其上半吋許，浮三枚於杯水之內，如第二百五十五圖，觀其方位，並言其理。次持磁條之南，適當杯中點之上，則有何效，更其二極，則有何效，並言其故，更加針若干枚試之。



圖四十五百二第



圖五十五百二第

四 以纖長之試管，滿以鐵屑，搖之使實，更堵以塞，取磁條磨之，如製鋼為磁鐵之法，次以磁針驗其極性，傾其屑，再實之，驗以磁針，則如何，試解其故。

五 製長鋼針為磁鐵，試其極性，銖其中點，斷之為二，再試其極性，與前同否，取其一段，再中斷之，而試其極性，繪斷針之圖，且誌其二端之極性。

六 取磁條之一端，懸一鐵釘，如第二百五十六圖，另取一磁鐵，徐疊其上，則有何效，再易次磁鐵二極之向，而又徐疊其上，試解此二現狀之理。



圖六十五百二第

七 取一馬掌磁鐵繫其中點懸之其下吸一鐵片名曰啣鐵啣鐵之下、繼以小筒注沙於筒、迨啣鐵爲重所離而止、乃衡得桶與沙之共重。再置啣鐵與筒如前、漸注入沙、至略近前數、即不復加、每過一二小時、再注入少許、直至啣鐵爲重所離、再衡之、觀磁鐵之力有加否。再置啣鐵與筒如前、連注沙入之、待其離、復衡之、試觀磁鐵之力果恆增否。

八 用試驗第一百四十八之法、以考下數款所成之磁界。

(甲) 磁條之一端。

(乙) 馬掌磁鐵之邊。

(丙) 馬掌磁鐵之端。

(丁) 二馬掌磁鐵同極相對。

(戊) 二馬掌磁鐵異極相對。

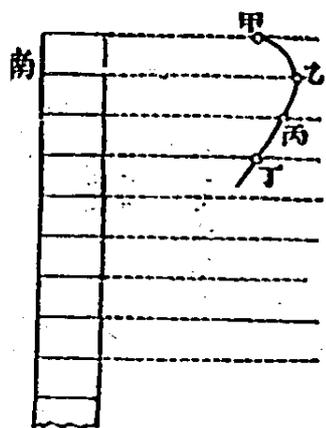
(己) 磁條與馬掌磁鐵相合。

記曲線之法、或如前文所言、或正置照相鏡於其上、攝其曲線之影。

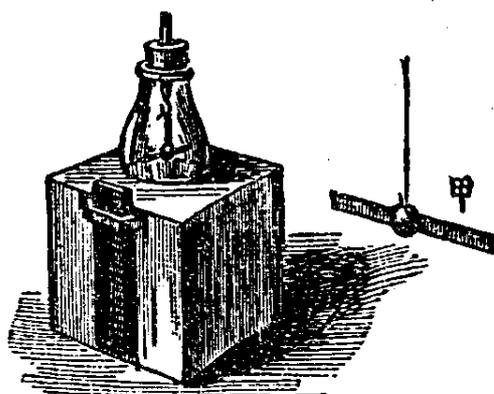
九 木箱之一邊裝一架以持磁條、如第二百五十七圖、條之旁劃分厘數、取法條一截、

製為磁針，以鉛丸夾而懸之，如圖內甲式，以絲線懸之，玻瓶內置瓶箱上，令磁針向磁鐵之線，正指北方，取去磁條，另以磁鐵近針，東西移動，則針往返擺搖，乃盡移去附近之磁鐵，與鐵數針每分之擺數，此擺搖祇因地球之磁界。次插磁條入架內，南極正對針，再數針每分之擺數，其數有加者，乃磁條之磁界。移上磁條，第一種之誌點，正對磁針，更數其每分之擺數，仿此迭次移上一種，數其擺數，迨至擺條中點而止。將所得各數，繪曲線以表磁條各點磁氣之分佈，於是得其公理曰：使針返靜止方位之力，與針之擺數平方有比例。作曲線法如第二百五十八圖，直截條之半長，分為種數，然後截為橫條，按各點因磁鐵而有擺數之平方，其諸點為甲乙丙丁，以線連之，即表磁氣之分佈。試觀極點果在條端否。

十 直插竹竿於地，至晚，當北極星正在北斗柄中間一星之上，另取一竿，一端對之一



圖八十五百二第



圖七十五百二第

端對直立之竿、以得正南北方向、明晨以磁針較之、可得本處偏差之略數。  
十一 取一圓紙片、分爲度數、黏於第二百四十二圖器具之一架、以定本處之俯度。



# 第九章 電學

## 一 靜電

試驗第一百五十五 以煖而乾之玻璃一條、近軟木屑通草球及碎紙等物、並不能吸、如以絲絢一方、擦桿數分時、則此諸輕物、立即向桿飛附、黏住片刻、仍飛回桌面。第一百五十九圖

試驗第一百五十六 於二書上擱煖而乾之玻片一、其下置碎紙若干、如第二百六十圖、則無功效、以絲絢擦玻片、則碎紙飛附片下、少頃飛還。

試驗第一百五十七 依試驗第一百五十五之法、惟不用玻璃、而用(一)火漆桿、(二)硫橡皮桿、(三)硬橡皮梳、擦之者為法蘭絨而非絲絢。

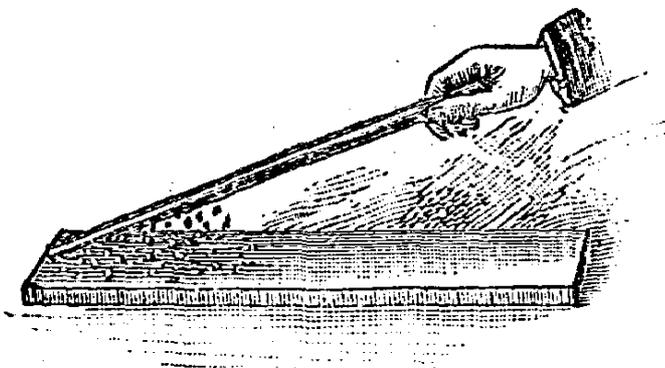


圖 九 十 五 百 二 第

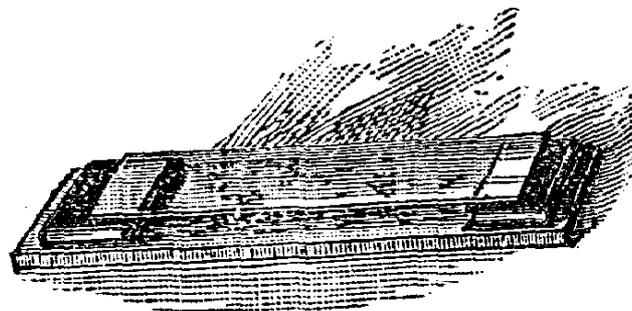


圖 十 六 百 二 第

三〇

觀以上試驗，可知玻璃以絲綉擦之，火漆以法蘭絨擦之，則有吸輕物之性。首考得者，為希利尼人，約在西歷紀元前六百年，先知琥珀有此性，希利尼人名琥珀曰伊勒得龍 (Elektron)，故稱此性之原因曰伊勒克屈律息的 (Electricity)

電今釋 凡物體具此性而吸物者，謂之有電感。

試驗第一百五十八 屈銅絲為鉤，如第二百六十

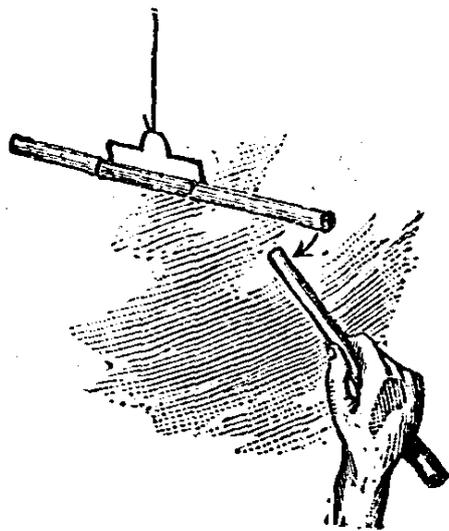
一圖，鉤木桿一，長約二三尺，懸以絲線，持有電之玻璃，近其一端，木桿即為所吸動，去木桿，置玻璃於鉤，

持木桿近之，則玻璃移動矣，並懸一桿，則互相吸而相觸。

由此可知有電體與無電體之間，其作用，乃互相施。

電感二種 由上文知玻璃火漆硫橡皮有電感時，俱吸別體，其互相施

之作用，可以下法表明之。



圖一十六百二第

三一

三〇

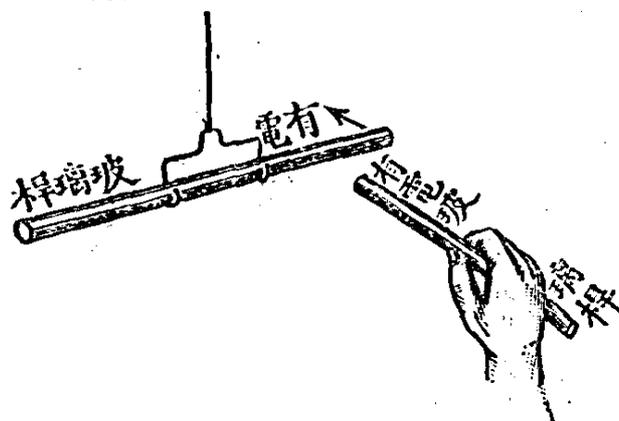
試驗第一百五十九 令玻璃發電，懸以銅絲鉤，持木桿近之，則為所吸，持有電之硫橡皮桿近之，則相吸較前更甚，另取一有電玻璃桿，近懸桿之一端，則互相拒，懸有電之火漆桿，另持一有電火漆桿近之，則亦相驅，持有電玻璃桿近之，則互相吸，持一有電之硬橡皮桿近之，則為所驅。由此可見有電感之玻璃桿與火漆對無電感之體，功效無異，然對有電感之體，則作用頓殊，昔名絲擦玻璃所得之電感，曰玻璃電氣，絨擦火漆所得之電感，曰松香電氣，今從簡以正負別之，曰正電氣，負電氣。

### 有電感體互施之作用

有電感體互相施之作用，可以下二例言之。

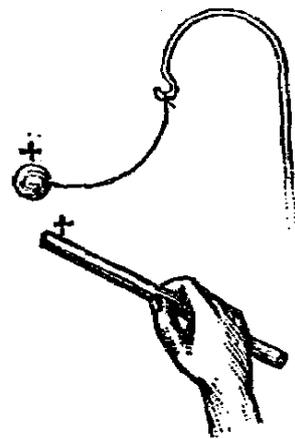
- 一 具同類電氣之體互相驅。
- 二 具異類電氣之體互相吸。

試以上二例與磁氣吸驅之例比勘。



圖二十六百二第

試驗第一百六十 以小刀割珠粟梗之心，搓圓之，為小球若干，用牛蒡梗心尤佳。用細絲線懸一球於曲玻璃桿之端，令玻璃桿發電，而近此球，立吸之，黏桿少頃，立即飛開，而有正電，乃先以絲綉，次以絨布，擦乾紙、橡皮、乾木、硫磺等物，迭近此有電之球，凡驅之者，則具有何種電氣，如有一體能吸有電之球，是否足證此體之有電。



圖三十六百二第

三三三

度量電之吸驅 二體有電感，其互相施之作用力，可以下式明之。

力  $\parallel$   $\frac{1}{r^2}$  距

(50)

式內  $r$  與  $n$  為二體所具之電，距為二體間之距，按互施作用之例，則  $+$  號為相驅之代表， $-$  號為相吸之代表。

三二四

電探者，試物體有無電感之器具也。凡通草球，按試驗第一百六十之法裝之，則為通草球電探。然常用者為金箔電探，乃一玻璃瓶，口堵木塞，中間穿過銅桿，上端為小圓球，下端



圖四十六百二第

連薄長之金箔二條、有電感之體觸球、則二箔受同類之電感、依第一例相驅、如第二百六十四圖。

試驗第一百六十一 作證電片法、以金類圓薄片一、黏於硬橡皮西筆桿上、如第二  
六十五圖、用時以片切有電之體、後即移觸電探之銅球、  
袖擦玻桿、切以證電片、又使之觸電探之銅球、如二箔更  
相離、即表前體之具正電、如二箔略下垂、則體所具者、或  
為負電、然必二箔相驅、乃可為確證、故證電片、必切火漆、  
而再近電探、如二箔相驅、則知前一體有正電。

三一五

### 引電質與絕電質

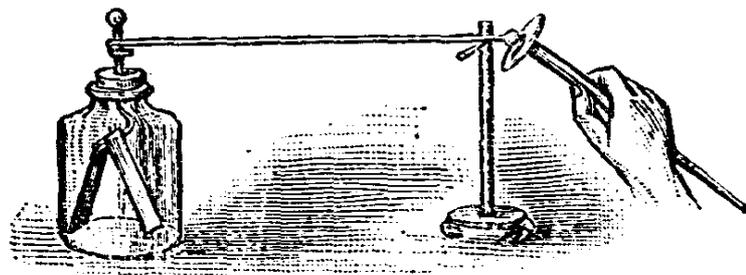
試驗第一百六十二 取銅絲一條、

其一端繞電探銅桿、彼端別綴一銅球、證電片切有電體而觸此球、  
則電探之二箔、立即分離、如以絲線代銅絲、則觸球時、箔絕不動、以  
溼棉線代絲線、則球受感時、二箔又分。

凡善傳電感如銅絲者、曰傳電質、不善傳電如絲線者、曰絕。



圖五十六百二第



圖六十六百二第

電質。物質無全傳電者，亦無全絕電者。左表所列，為常見之傳電質絕電質，依其傳性之難易，以為次序。

傳電質

絕電質

金類

乾木

筆鉛

乾氣

酸類

紙

鹽水

絲綉

動物

玻璃

麻布

硫橡皮

木棉

舍來革

物體傳電之難易，視其體性熱度與溼氣而定。如玻璃熱至 200 (百) 則為傳電質。平常空氣為善絕電質，稀空氣則為劣絕電質矣。水性不易傳電，加鹽少許，或酸數點，則易傳矣。物體傳電之難易，又視電力而不同，電鈴之銅絲二

三二六

條中夾棉花一層，為絕電物。若玻璃桿發電火星，則透之甚易。  
**磨擦發電二種**

試驗第一百六十三 將玻璃桿與硫橡皮桿，互相磨擦，各移近電探之銅球試之，則見玻璃桿有正電，硫橡皮桿有相等之負電。

三二七

**傳電質磨擦可生電否** 以絲絨或絨布擦銅條，試以電探，並無發電之迹。然此不足以證其果未發電也。絲絨之類雖發電，立為人身引去，不復可顯。蓋桿與人身俱為傳電質也。

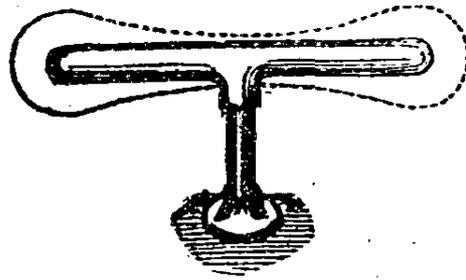
試驗第一百六十四 以絲巾擦電探之銅球，則二箔展開，此因電探之玻璃瓶，不傳巾擦銅球所發之電也。試定其所發者為正為負。

試驗第一百六十五 以絲絨擦徑寸之玻璃管，以指近擦處，則見火星躍出。試近管之別點，則不然。此因玻璃為絕電質，故每次發電，祇在其面積之一處。

不同類之物質，緊貼而速分之，則各含相反之電。此可於機器輪上，皮帶躍出火星見之。空氣乾燥，則更易見。

**電氣分佈** 球體置絕電之架上，如玻璃桿令發電氣，以證電片任貼何處，而

三二八

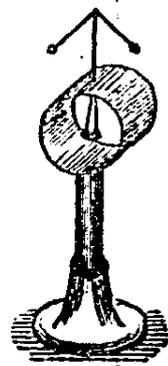


第二百六十七圖

近電探見二箔之展度相等，即足見體上任一處所有之電氣濃率適等，然如發電之體為圓柱，二端作半球形，則見二端所有之電較餘各點為多，其面上電氣濃率之別，以第二百六十七圖之虛線表明之。由此可見凡體之外突處，則電之濃率較大。

試驗第一百六十六 裝金類短圓筒於絕

電架上，頂插銅絲一條，長三吋，上繫通草球



第二百六十八圖

一對，筒內亦懸二草球，以玻桿發電，傳於筒上，見其外面之二球分展，內面二球仍垂不動。

由此可知傳電質既絕其電而受電感，則祇在外面。以此次所得之效參觀相驅之例，可解之。由此可見受同類之電感，面積增，則面上之濃率必損。電止在傳電質之外面，乃就其靜時言之，如受電體放電，則電動而透過體之橫剖面矣。

## 銳端之用

試驗第一百六十七 火漆桿之一端橫裝小針一枚，令電探有電，二

箔展開，以針近之，則見其漸下垂，持針於手，令尖近已受電之電探，則有何效。

持火漆端所裝之針頸，切發電較多之體，則於針尖之前，覺氣動成溜，蓋尖上電之濃率較大，令近空氣復感電氣，立即相驅，因其外空氣之合點，輪流傳去電氣，故凡體有銳端者，雖性善絕電，電仍易失。

## 電勢

試驗第一百六十八 取二傳電物，使之絕電，如以二鐵罐，架於玻杯之上，即

可合用，乃以玻桿放入電氣，令一罐以絕電柄之銅絲連於電探，視二箔之展度若干，移去銅絲，放去電探內之電。又以同法，令次體連電探，觀二箔之展度若干，次令二體相連，電探通連次體，前驗得次體之電，二箔展度少於首體，今則展度有加，設以電探通連首體，則見二箔展開，與次體所感同。

由此可見有電一股，自使金箔多展之體，流至彼體。凡有電體，能令其間相連之傳電質，有電溜經過者，曰二體之電勢較。

有電體與電探相連者，與地通，則二箔立刻下垂，明電探內之電已放盡。物體

三二

之電、其微已甚、雖通至地而地不能顯其功效、故設地常爲○電勢。引以候體之有正電者、較地爲高電勢、有負電者、爲低電勢。如二體之電勢較不變、則連絡其間之傳電質、電溜亦連而不絕。否則祇爲暫時電溜耳。電勢略如水之壓力、電溜則似高低二水池聯管內之水溜。

**電量** 設有二傳電質、已絕其電、形相同而大小不等、受等勢之電、則見大體所有之電、較小體爲多、此即二體之電量有不同也。傳電質之電量、可以下式明之。

量 杯 咳。

(51)

式內量爲電量、昨爲多少、咳爲電勢。

電量之量、與常義不同、如言杯之量爲一升、言其所容爲一升也。按(51)式、則可知傳電質之量、即當電勢爲準、箇時所有之電數。容一升之杯、必不能多於一升、而傳電質所有之電數、則可過其量數倍、其時電勢、則多於一準箇也。靜電乃在體之外面、故木球以金裹之、則其電量與金球相等。

三三三

**感電** 試驗第一百六十九 持有電之玻璃桿、近電探之銅球、相距一呎餘、二箔即

展、稍近則展愈開、移去則箔下垂。

由此可見有電之玻璃桿、可經空氣而施其作用、有電體能令電界內之物有電、是名曰感電。

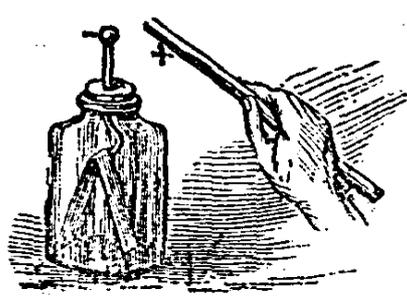
**感別體發電** 觀上節試驗、知電探祇在感體、近時、存有電氣、但亦可使

電久存、其法如左。

三三三

試驗第一百七十 持玻璃桿近電探之球如前、見二箔相離、以指觸球、箔即下垂、次乃先移指、繼移玻璃桿、則二箔又展、是可為電探受久存之電感之證。

試解其理、則必知電體互關之首例曰、同類電氣互驅、當玻璃桿近銅球時、其正電分離、電探球、桿、箔、三者之電氣、逐正電至箔上、吸負電向己、聚於球上、如第二百六十九圖、手指觸球、令與地通、則其正電為玻璃桿之正電



圖九十六百二第

所驅、由身入地、而負電則為所繫而不釋。

第二百七十圖、即表此理。第二百七十一

圖、表其連地之路絕後、移去玻璃桿之形。蓋

負電不復受繫、則有若干、自球至箔、令二

箔具有負電、而復分展、惟不如前之多耳。

由是可知設法引去感體所逐之電、則可

以感電之法、使首體有電。法耳台氏冰桶試驗法、足顯此理、其法如左。

試驗第一百七十一 取薄鐵桶一、置之絕電架上、以銅絲一、聯

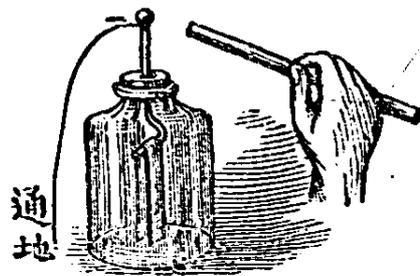
電探之銅球、絲線繼有電之金類球一、入桶內、如第二百七十二

圖、則二箔分展、提出則復下垂、又繼入之、見二箔展開、手指觸桶

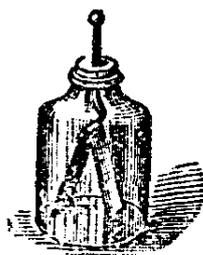
邊、則箔下垂、先移手指、繼移去球、則二箔分展、而具負電、試言其

理。

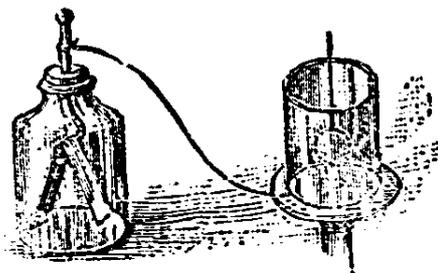
放去電探之負電、又繼球入桶內、觀二箔之展度若干、乃令球觸



圖十七百二第



圖一十七百二第



圖二十七二第

桶底、而展度不增、移去之、箔仍展而不垂、具有正電、試解其理。

細玩前法、而詳參之、則於感電之理、思過半矣。

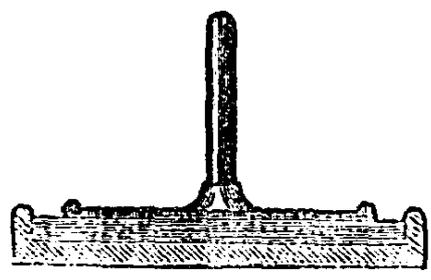
**感電之量** 體受感而有電、其數視體面之大小、及距感體之遠近、及其

間因電體之性質、因電體傳電感之性質曰感電量。命空氣之感電量為一準、其餘諸要質之量、列如下表。

空氣	1.00、	舍來革	2.75、
石蠟	2.00、	硫橡皮	2.40、
生橡皮	2.25、	玻璃	6.25、

試驗第一百七十二 懸有電之球、於電探銅球之上、相距若干、觀二箔之展度若干、次以石蠟一餅、或玻璃一片、取其尙未有電者、置二球之間、觀二箔展度之變如何。

**感電盤**為發電之簡器、較玻璃桿絲綉更便。式如第二百七十三圖、木板上裝玻璃一片、其面倚銅盤一、類或他亦可金上有絕



圖三十七百二第

電柄二。多以玻璃發電之法，先以絲絛擦玻片，乃置銅盤於其上，手指觸盤之上面，次持銅盤之柄而提之，則盤滿負電，以手指近之，即迸出火星。

其理因玻片為絛所擦，則發正電，銅盤切之，

緣玻璃面不平，祇有數點與銅盤密切，故盤

為所感而發電，如第二百七十四圖之（甲）

式。以指觸之，其不見繫之正電，即被引去，如

（乙）式。移盤之後，則其負電，原為玻璃之正

電所繫者，今則佈於全面，如（丙）式。

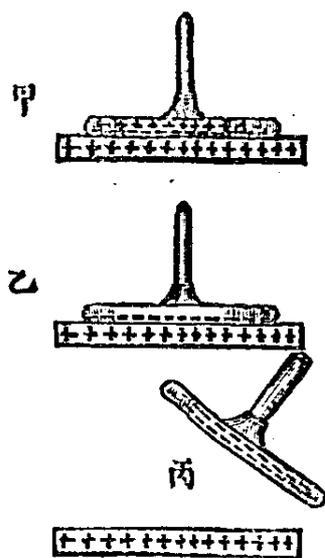
此法所得者為負電。欲得正電，則可以硫橡皮片或蠟片代玻璃片。

**蓄電** 憑感電之理，可令一體受電，較他法為多。

試驗第一百七十三 割錫箔一張，方六吋，貼於方呎玻片之中央，臥玻片於桌面，使感

電盤發電，乃觀自盤躍至錫箔之火星，為數若干，手指觸錫箔，放去其電，取起玻片，再置

錫箔一張，與地通連，仍置玻片於桌面，再數自盤躍至上面錫箔之火星，為若干，又一手



圖四十七百二第

近上面錫箔，則其所躍火星較常見者何以不同。

此器即含蓄電之理，蓋因電體夾於二引電質之間也。故用蓄電具，可增電之數，而不增其電勢，各傳電

質所能蓄之電數，與其面積有正比例。與中間因電體之厚，有反比例。製大量蓄電具之簡法，如第二百

七十五圖，以錫箔若干張，疊成二行，中間以雲母石片，或浸透石蠟之紙隔之。

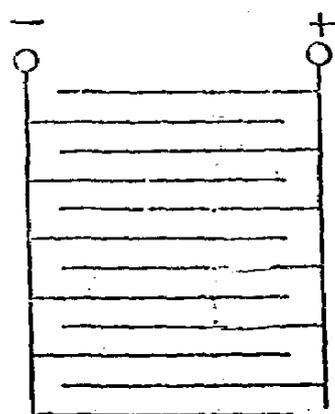
來頓瓶為蓄電具之便式，如第二百七十六

圖，為一玻璃瓶，口堵木塞，中穿銅桿，上有銅球，桿下繫銅練，下垂內衣之上。瓶高三分之二，內外

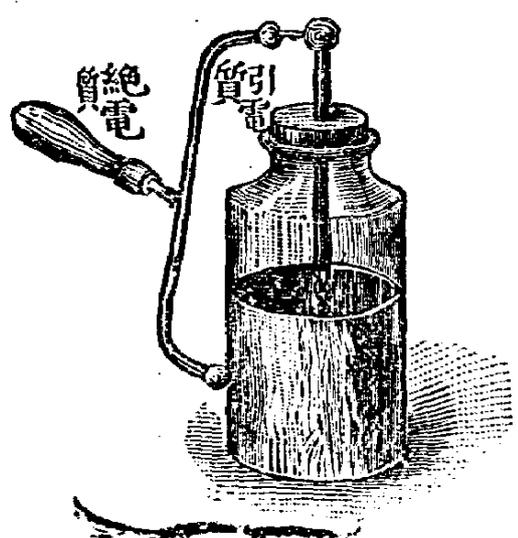
俱裹錫箔，瓶宜薄，以便增其電量，然太薄則放

電過多，亦易碎裂。蓄電瓶發明於荷蘭之來頓城，故以為名。

裝電於來頓瓶法，以手持之，或用他法，使外衣與地通連。次令銅球與與內衣相連近電之源，放電



圖五十七百二第



圖六十七百二第

之法、以放電叉之一端切外衣、一端近銅球、見火星躍過、則電已放去。放電叉宜先近外衣、以免電火碎裂錫箔。

**蓄電之處** 來頓瓶放電後、少頃、再以叉放之、則又見有電火星、其勢甚

微、電如儲於錫衣、則電已放盡、不當有此。

試驗第一百七十四 製活衣來頓瓶法、取

圓錐截體玻璃瓶一、如第二百七十七圖之丙式、錫衣二層、甲式在外、乙式在內、合之蓄電、

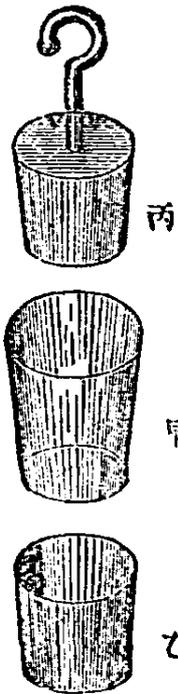
以玻璃桿取去內衣、令近電探、則並無電氣、去

外衣試之亦然、再合之放電、則見火星躍過、表其放電。

由此可見錫衣祇收電氣、而蓄電處、實在玻璃面上。玻璃傳電之性不佳、故放電之時、電不盡傳至衣上、再放時、所有火星、即其餘電。

**來頓聯瓶** 上言蓄電具之量、如其面積之正比。故增來頓瓶電量之法、

乃令若干瓶之外衣、同通於地或電機之一極、其內衣通又一極、於是面積加



圖七十七百二第

增而蓄電甚多，如瓶之列行長短相等，則其所迸出之火星，多於單瓶所發者，遠矣。第一百八十七圖

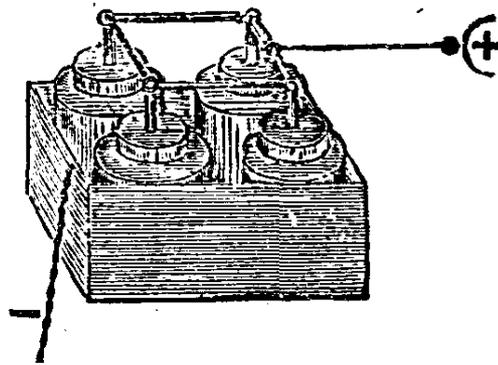
發電機

磨電機

舊製發電機，專恃磨擦

發電最便之式，為玻片電機。用圓玻片一，貫以定軸，連以搖柄，旋轉玻片，使擦一邊所裝之皮墊，分發電氣。彼端設銅梳收之，梳連於銅圓柱，下以玻璃為足，所以絕電。旋轉玻片，則圓柱有正電。欲求發電之多，則必令皮墊連鍊一條，通至地。磨擦頗有阻力，故用此機發電，甚為費力。今之漸廢不用者，亦由於此。

感電機之最簡者，即感電盤也。即繁貴之感電機，按其實理，亦祇為連續。不絕之感電盤耳。常用之式頗多，如第二百七十九圖，為都伯候氏電機，有定玻片一，名曰電界片，其後面黏錫箔小圓四，如圖中之晒，以錫箔條兩兩連之。其上又黏以紙，其形為圓心截形，定片之前，另有一玻片，隨軸旋轉。此片之面黏

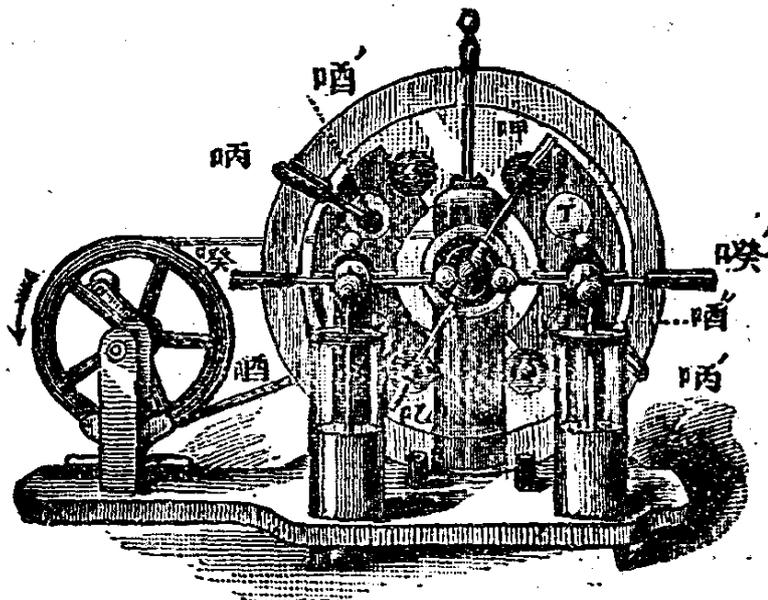


圖八十七百二第

錫箔小圓六，相距恰等。中點各黏金類小紐一枚。電界片之兩兩二點，裝以銅桿，彎出動片之前，末綴金類刷。當片轉時，適輕拂於紐面。呬呬為桿，二端有金類之梳，斜倚於動片之前。另有接電梳二，分列二旁，與二銅球相連。球之中央穿二桿，其二端有絕電之柄，啞其內端二銅球，所以放電。如其二內端各附一來頓瓶，則所放之火星更長而明。圖中亦已示之。

電機之運動 裝電於機之法，先旋轉

動片，又以玻璃桿發正電火星，放入定片後面之錫箔圓片上，所以感動片令裝電氣也。迨此片之錫箔圓片，與中立桿呬呬之一，適相遇，則正電過去，而圓片之負電，由引電桿呬呬，而與電機彼旁之圓



圖九十七百二第

心角紙相連。圓片經過連於揆柄之梳前，則將其負電移於負極之銅球。二極初相遇，聞嘶嘶聲，即知機已裝電，乃分其二端，則見火星自此極至彼極，連躍不絕。以通草球電探試機之二旁，則可見為玻桿正電，火星所裝者，乃有正電，彼邊則有負電。如取火漆桿所發之負電，火星裝入此機，則此旁裝負電，而彼旁裝正電。細察二極間躍過之火星，則知按機所有之極性，以定火星之狀。火星色紫，其二端則按極而不同，當負極則為小明點，正極較暗，然其明處頗長，凡長一吋之火星，則其明處長幾八分吋之一。

### 放電之功效

來頓瓶與電機放電之功效，可分之為三。(甲) 工程 (乙) 熱

(丙) 光。

### 工程之效

試驗第一百七十五 令候氏電機之二極，連來頓瓶而速轉之，置硬

紙片於二端之間，見火星躍過，因紙片為絕電質，故火星穿紙而過，細驗其孔，見二面俱有裂痕，可知放電為二面交通。

試驗第一百七十六 直插銅絲於木盤上，銳其上端，於銳鋒套一試管，如第二百八十

三三四

三三三

圖、令電機之一極、正過其上、銅絲連其又一極、而與來頓瓶相通、運動電機、則見火星穿過試管、倘管堅厚、則見數火星撞玻璃、然後透過。

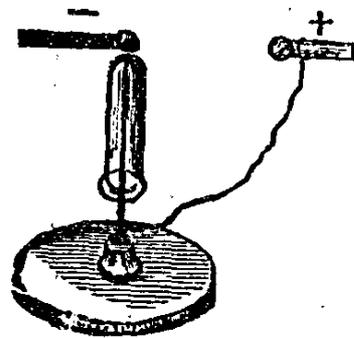
凡絕電質非極厚者、皆可以電機二極之火星穿之。學者以紙片書冊乾木等物、試之可也。又以金類片試之、能穿過否、且言其理。

三三五

**熱效** 有電體經引電質而放電、其電數不多、故令引電質加熱亦少。如經絕電質而放電、則熱較多、火星即可為證、以其所發之熱、足顯而為光也。燈檠高大、手不能及、每有以電機放火星燃煤氣燈者。

試驗第一百七十七 將玻璃所製之煤氣燈管、置電機二極之間、運機發電、火星躍過、放煤氣出管、則即燃燒、其故何歟。

試驗第一百七十八 電機之二極、連以銅絲、置板上、如第二百八十一圖、銅絲之端各裝一鉛丸、二丸之間、堆火藥少許、蓄電而放之、則二球之間有火星



圖十八百二第



圖一十八百二第

躍過、將火藥推開而不燃燒、則爲工程之效、然如電路之間、接溼線一截、則火星即燃火藥。

三三六

### 光效

放電所有之光效、以夜間試之爲佳、然蔽以帷幔、則白晝亦可試也。電機所發紫色火星、連續不絕、每可於同時見六影或八影、蓄而放之、則光明耀目、因其神速異常、故觀疾轉之輪、一如靜而不動、片上有無數小火星、飛至附近之接電梳上、梳尖之上、皆有火星。凡此皆極有趣味、而足證放電之效。

三三七

### 刷形放電

放電所成之光、有如刷形者、頗爲奇觀、法令電機二極、相去二三寸許、則火星不躍、而作刷形、如第二百八十二圖。近正極處、仍明如火星、但半寸以外、放開成紫色之刷。直至負極。中間有若干小明點。試驗第一百七十九。取乾白杉板、於一面塗舍來克一厚層、上面貼錫箔一層、復抹以舍來克、緊貼木板、待其既乾、用刀劃

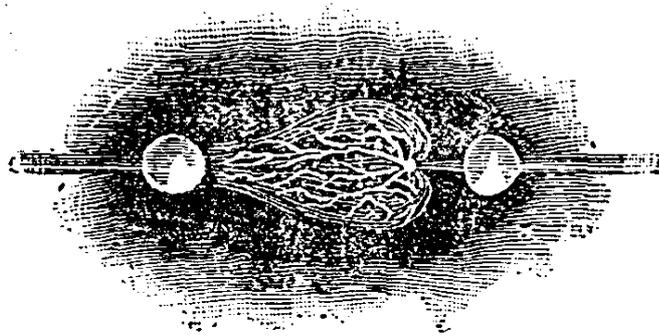


圖 二 十 八 百 二 第

錫箔爲小方、每方之邊爲四分吋之一、以板二邊之錫箔、連電機二極、放電過之、則見電透錫箔、每斷處有一火星。

上文所言之板、任作何形、以證放電經過引電質、如有斷處、則躍火星。

試驗第一百八十 取磁鐵所用第三十號銅絲一條、每隔半吋之處、以刀割之、惟不使斷、其外裹之絲線、取其二端、懸於電機之二極、如第二百八十三圖、運機發電、則見銅絲每割痕、躍一火星、可以此銅絲曲成各種美觀之狀。

**稀氣內放電** 平常空氣內放電、見有火星、

目、爆然作聲。空氣抽稀之後、略成真空、於其內放電、則光較柔而無爆聲。欲驗此狀、必特製玻璃管、其二端有極、管內空氣半已抽盡。下文論感電圈時詳之。左列試驗、已足證此管之理。

試驗第一百八十一 在暗室內、持熱光電燈之玻璃泡、於候氏電機二極之間、轉動電

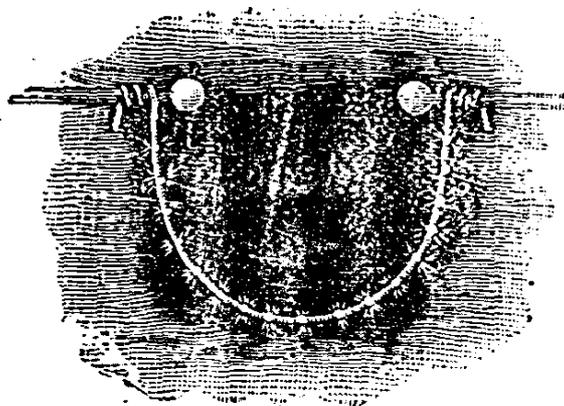


圖 三 十 八 百 二 第

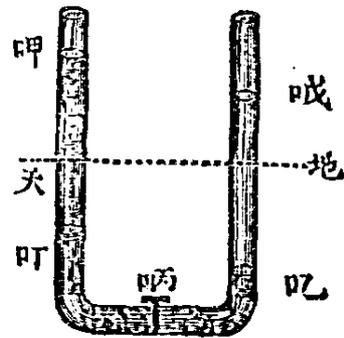
機、則見泡內有淡色光、隨機轉動、驟隱驟現。

來頓瓶放電往返擺搖 按試驗第一百七十

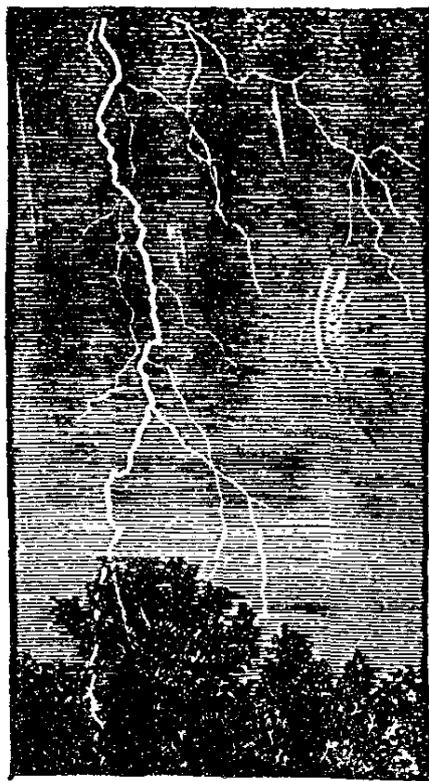
五、已知蓄電放之、則二面齊過。茲再用試驗法、考得其  
放電、乃往返擺搖、先循此向、後循彼向。正如第二百八  
十四圖內之口字曲管、下有兩夾、二臂貯水、高至呷與  
呷、設驟去其夾、水即自左流向右、不止於天地平面、乃  
過之而至叮與呷、又返向彼管、如是往返擺搖、終則定  
於天地線。

空中電氣 觀侯氏電機蓄

電而放之、火星、即覺與空中之閃  
電、甚為相似。一千七百五十二年、  
范克林考得空中閃電、實與電機  
火星同物、第二百八十五六兩圖、



圖四十八百二第



圖五十八百二第

爲二者之照像，以便比較。

雲中有電之理 屢經試驗、

知空氣之景况合宜，則水化散時、

水氣之合點上升，含有正電無數、

及合點并而爲雲，則電勢漸大。設

如一千合點并成兩點，點之體積

爲合點之千倍，但其面積小於合點面積之千倍者多矣，因電祇佈於面上，故電勢即增。

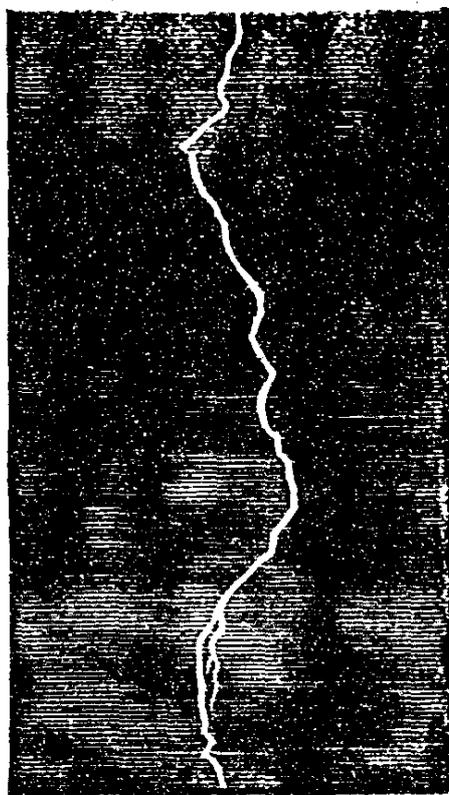
雲中正電勢既高，則感地令有負電勢。迨二電勢較漸增，可發火星，即有閃電

自雲出，循阻力最小之路而觸地，往往擊損樹木及別種高物。有時片雲正電

勢既高，感其他片雲之負電勢，及放電時，祇見美麗之閃電，而不害人物。

雷 閃電發時，以空氣爲因電體，爲閃電所穿透，放電之速率既甚大，故其

所過之處，成長而曲之穴。此穴之面，每方吋有壓力十五磅，故二壁驟合，而若



第 二 百 八 十 六 圖

然作響、近者祇聞霹靂一聲、遠者因其直聲與迴音并合、故聞隆隆之聲、稱之曰雷。

三四三

### 防雷鐵

閃電既循阻力最小之方向、故高屋之頂、豎立金類所製之桿、可引電入地、名曰防雷鐵。其桿宜連續不絕、上端爲明亮之鋒、下端爲銅片、埋於地內。觀上文已知銳端能放體內所有之電、故防雷鐵之爲用、不但引空中電氣入地、又因其時時放地內之電、上入空中、故可殺雷電之患。

三四四

### 片形閃電

夏夕、常見雲際或空氣內、有遠處風雨閃電之返光、雨在五、十哩外、則全在天際之下、人因誤名之曰熱閃。

三四五

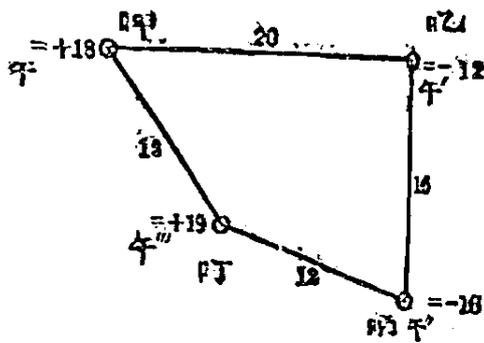
### 北曉

居北半球之北者、時見空中有光、名曰北曉。開俗名天說者謂、是由高處空氣、較地面爲稀、故放電時、有此現象。北曉所在、及其光鋒之方向、似與地球之磁氣性有關係。光鋒所指者、爲三百零五款所言之北磁極。

### 習問

一 一體有電、何法定其爲正爲負。

- 二 二體相磨、同發二種電氣、以何法證之。
- 三 何法可磨銅條發電。
- 四 電過至空心引電質之外面、何歟。
- 五 引電體既絕其電、甲以有電之引電質近之、乙以手指觸引電體、丙移開有電之引電質、每次各作一圖顯之。
- 六 試以金類針一枚、下端通地、上端通過感電盤之玻片、幾與在上之銅盤相遇、則有何效、并言其理。
- 七 設呷叱呷叮四體、如第二百八十七圖、置之、呷有電數為正十八、叱為負十二、呷為負十六、叮為正十九、有線連之、如圖、試言諸體之間所有之作用。
- 八 試言來頓瓶放電關於身理之功效。
- 九 取金類片二、一通於地、一連電機之正極、二片之間、置通草球一、則驟往返於二片之上、試言其理。
- 十 置來頓瓶於玻璃盆內、則裝電不多、何歟。



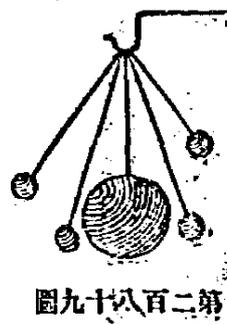
圖七十八百二第

十一 閃電在四哩之外，如當時空氣之熱，為法倫海表七十度，則越若干時可聞雷聲。

十二 設呷叱二引電體，如第二百八十八圖，以手觸呷體之兩點，則有何驗。觸叱體之叮點，則有何驗。手觸叱體，不能引去其正電，何歟。

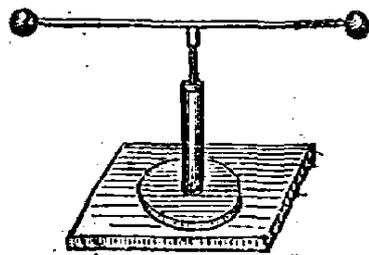
### 實驗室功課

一 自絕電架，以絲線懸金類球一，又以絲線於同架上，懸通草小球四，倚於玻璃球面，以金桿裝電於金類球，則有何效。第二百八十九圖

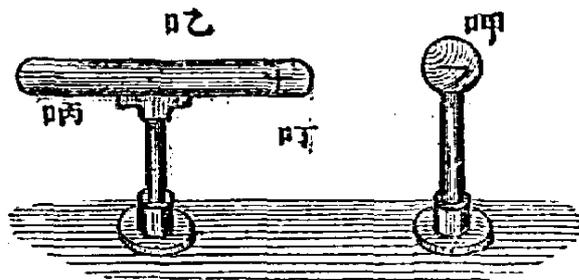


圖九十八百二第

二 割圓鉛片一，大如錢，刺銳針入其中點，剪麥桿一截，長一呎餘，二端各綴一通草球，又用膠水黏麥桿一小截於其中點，以為白，適可套於針尖之上，即成一合用之電探，置玻片上，使之絕電，如第二百九十圖，此器雖粗，可用為多種試驗。



圖十九百二第



圖八十八百二第

三 以紬磨玻璃桿發正電裝於麥桿電探內又取玻璃橡皮舍來克火漆等條以絲紬木棉麻布絨布貓皮等物各擦之定其正負末將所用之諸料列為一表使表內任一物以其後一物擦之即發正電以其前一物擦之即發負電。

四 二種桿相磨發二種電氣試以此電探驗之。

五 取玻璃球三以錫箔裹之或塗以金類漆一種特別之漆令物有金類色一以細銅絲懸之一以麻

線一以絲線手持各線之末令球一一遞近電機而裝電次令近電探以驗其銅麻絲傳電力之差以水溼絲而再試之。

六 覆四玻璃杯於地鋪板其上即為絕電凳令一學生立其上手連電機之一極又令他人之手指近其身之各處則有何驗并言其理。

七 候氏電機之二極各以鍊懸一鈴其間以絲線懸一金類球適與鈴齊移去機上之蓄電瓶徐轉其機則有何驗并言其理。

八 玻璃瓶內滿烟取橡皮所裹之銅絲令其一銳端引入瓶內又一端通候氏電機之一極轉動電機則有何驗并言其理。

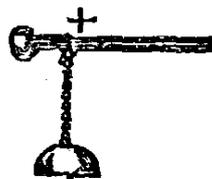


圖 一 十 九 百 二 第

九 取方呎之玻璃，二面各貼九吋見方之錫箔一片。以玻璃片倚手上，其下面錫箔正貼手掌，上片則以銅絲通候氏電機之一極，轉機數下，移去銅絲，落一銀錢於上片之面，試以手拾取之。

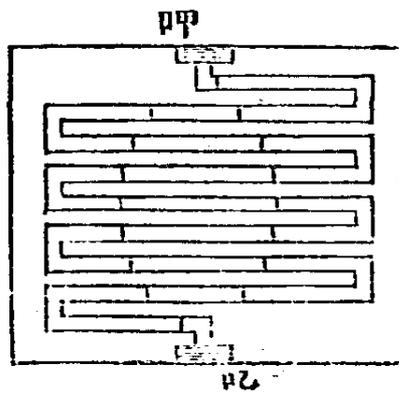
十 取玻片熏於樺樹皮火或樟腦火之上，令二面有煙，置候氏電機二極之間，蓄電而放之，細察其所過之路如何。

十一 於玻片之一面，黏<sub>以舍來克</sub>平行錫箔條若干，每隔

一條，連之，如第二百九十二圖，迨條已乾，以利刃任劃之，爲何形，取入暗室，令其二端呷與吃，連於電機之二極，放電火星過之，經行錫箔，遇斷處則發一火星，而現所劃之形。

十二 蓄電機之電，放之，可攝取其照像，法於夜間，令機運動，則見火星長四五吋，乃以照相鏡正對之，閉其口，納入藥片，於一次放電之後，開口，待放電一次，即再閉口，取出藥片，顯其影以備研究，甚爲有味，第二百八十六圖，卽爲此法所攝得者。

## 二 溜電



圖二十九百二第

三四六

來頓瓶內外二衣之電放過，即為一電溜，其通過之時最短，故其電溜驟而不連。

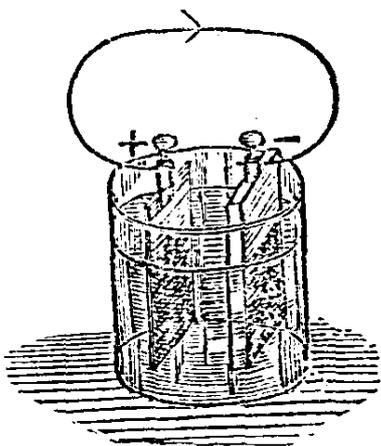
二處之電勢較恆有高低，中間以引電質連之，則有連電溜。

試驗第一百八十二 注十立方糲濃硫酸，入一百立方糲清水內，成淡硫酸，貯之瓶內，浸銅與鉍各一條，當其未連時，瓶內祇見有輕氣泡，成於鉍面，迨二條相切，如第二百九十三圖之狀，曲之可也，則銅面速發輕氣。

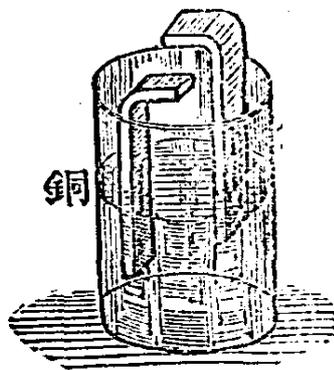
試驗第一百八十三 於薄銅片之上，鐸一銅絲，鉍片之上，連一樺孔，再仿前法試之，觀銅絲插入樺孔內，其成氣即有變，令銅絲過磁針之上，當銅絲一遇樺孔，磁針立即偏轉。

電溜 按上試驗，銅絲得一新性，以其連於鉍片，而有電溜過之也。上法能發電溜之理，則因酸之化鉍，較銅為甚，故令鉍之電勢，恆高於銅，以銅

三四七



圖四十九百二第



圖三十九百二第

絲連之，則引電之路已全，電溜自鉍片過液質而至銅片，又自正銅極過銅絲而至負鉍極。第二百九十四圖

三四八

連電池之二極。上文所言器具名曰弗打電池，或曰賈法尼連電池。二

片之端，銅絲繫之，名曰電池之二極。鉍為負極，銅為正極。二極以引電質連之，則稱曰池之電環合，否則曰池之電環開。

三四九

電池內之化功。電池內所有之現象，述之如下，鉍化於硫酸內，為含正

電之元點，羣集而出，其離鉍片時，令片有負電。鉍之元點代酸內之輕氣，有正電元點，合成鉍硫酸四，所放之輕氣元點，向銅片而行，將正電放於其上，元點則成輕氣散去。按化學之號，可以下式表之。



當池之電環開時，鉍硫酸四漸增，故化功漸損，終則停止。令二片有電勢較，而為池之電動力。當池之電環合時，銅片之正電，循電環而放至鉍片，與其負電相消，即成電溜，而化功不止。輕之元點所以向銅，硫酸四之元點所以向鉍，則

三五〇

因液內之輕 二 硫養 四 分爲二輕與硫養 四 輕有正性而硫養 四 有負性也。  
**鉦內之作用** 試驗第一百八十二置於酸內之鉦條其面發出輕氣泡、此由鉦內雜有別質或炭或鐵故。

浸鉦於酸內五分時其面裹黑衣一層可以揩去即證其內之含雜質如呷處之炭一質點 九如第十 則其於鉦內有所作用而放



第二 百九 十五 圖

出輕氣能減少大電環之面積故必去之。法浸鉛片於淡硫酸內、使之潔淨次以水銀塗之、水銀能與鉦消融而成皮包於炭點呷之外 九如第十 則可免此作用。



第二 百九 十六 圖

三五二

**電池成極性** 簡電池之電環通時輕氣泡雖上升至液面然銅片之面

時爲所蔽此有二害一則銅片之面爲所蔽不能與液相遇二則令二片間之電勢減少二者皆足漸損電溜常法於池內用一種液質當輕氣未黏銅片之前即與之化合以去此病。

**電池各種** 常用之電池其式繁多大率以鉦爲化功所施之金電池可

三五二

分爲諸類、以下數節、略舉其要者論之。

重率電池之鉦片、作鴉爪形、如第二百九十七圖、玻璃瓶之底、置星形銅片一、圍以膽礬、注已和

硫酸水數點、入瓶幾滿、次懸鴉爪形鉛條、於瓶之上邊、舊法、大瓶之內、置無釉小杯、磁杯無釉則多小孔可通內外

貯淡硫酸、浸鉦其內、銅與膽礬則置大瓶內、但因

硫酸化鉦而成鉦硫養<sup>四</sup>、較銅硫養<sup>四</sup>爲輕、

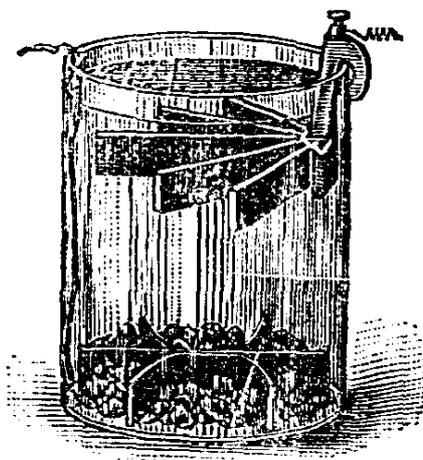
其在池內、恆分而不合、故無需小杯隔之也。此種電池、不成極性、故二極電勢、

常有高低、而發恆電溜。電報局多用之、其成鉦硫養<sup>四</sup>之化功、可以下式顯之。

作用之前、  
 (甲) 鉦 + (乙) 鉦硫養<sup>四</sup> || (丙) 銅硫養<sup>四</sup> + (丁) 銅。  
 作用之後、  
 (甲) — | — 鉦 + (乙) — | — 鉦硫養<sup>四</sup> || (丙) — | — 銅硫養<sup>四</sup> + (丁) — | — 銅。

十(丁) — | — 銅、

式內之 || 號、表鉦硫強礬與銅硫強礬<sup>即膽礬</sup>之分線。其作用可解之如左。鉦之



圖七十九百二第

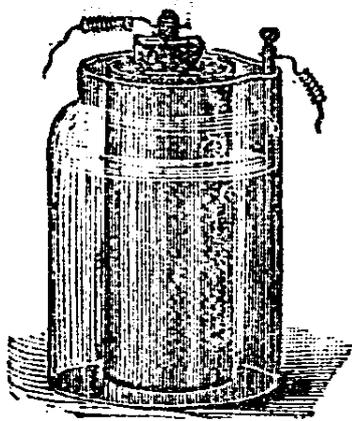
所以入液內者、因使鉍元點入液之力、較使銅元點入液之力為大也。鉍硫強礬水愈濃、則其反動之壓力愈大、適與液之漲力令鉍元點融化於液者相抵。銅硫強礬水愈濃、則使銅元點附於銅片面之壓力亦愈大。

此等電池合用時、其藍色之銅硫強礬水、略高於中點、其與鉍硫強礬水之界線、須分明不淆。置之若干時、則銅礬水上至鉍片、而銅包於鉍上。如於其二極之間、連以短銅絲數小時、則仍可復原。

水化氣、則鉍硫強礬結為白色顆粒、黏於瓶邊。必預以石蠟塗之、以免顆粒延出瓶外。

三五四

**雷革蘭電池**如第二百九十八圖、乃一玻璃瓶、內插鬆磁小管一、貯炭一條、四圍墊以鏤養<sup>二</sup>與石煤之層、封其上面、此炭為正極。玻璃瓶內貯育輕<sup>四</sup>綠水、置鉍一條、為負極。此等電池、易成極性、祇合作開電環之工程、多用於電鈴、因其裝成之後、無庸再為留



圖八十九百二第

意也。

### 起落電池

因其炭與鋅內之化功施於起可落也

內之化功施於

鋅上極猛無間。其電環為開為閉，故當電溜

不用時，可將鋅片提起。常用者為瓶形，如第

二百九十九圖，瓶頂懸炭二片，中間木桿，其

下截連鋅片，可隨意起落。此池亦有用長立

方形玻璃者，設法裝炭與鋅，當不用時，可提起之。

池中所用之液，或為鋅鑽雙強礬水，或為鑽強酸水，然以後者為便，下列二者、

便而合用。

鋅鑽礬水

取鋅鑽礬一磅，消於熱水十二磅內，緩緩加入硫酸二磅，以玻璃

調之，涼二十四小時，乃用之。

鑽強酸水

取鑽強酸一百六十瓦，消於一千四百二十立方糶水內，緩緩加

入九十立方糶硫酸，以玻璃調之。



圖九十九百二第

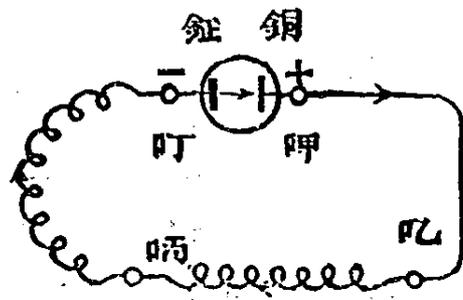
三五六

### 電動力 阻力 電溜 電池之電環開時其二

極之電勢較、曰電動力。此為電池發電溜時各電勢較之總數。如第三百圖、有電池發電溜、通過電環、自呷至吃、呷而復回至呷、則其電動力、即為呷與吃、吃與呷、呷與叮、叮與呷、諸電勢較之和也。電動力之準箇為弗打。

電池之二極、以引電質連之。如第三百圖、則電溜自正至負、其準箇為安培。

電池之極、先以粗短之銅絲連之、測其電溜。次連以細長之銅絲、再測之、二者相較、則見先有之電溜較大。既同一電池、則其電動力無異、故可知銅絲有特性、以定電溜之多少、此性名曰阻力。其準箇為歐姆。電溜之流過銅絲、略如水流過管、水流過管之多少、其故有二、(一)在管二端水面之較、(二)在管內之大小及滑澀。二端水面之高低、可喻銅絲二端之電勢較。水流過管之阻力、視管之大小與滑澀、可喻電溜之阻力。視絲之橫剖面及料質。水流過管之數、可



圖百三第

喻所得之電溜。

歐姆之例 係按試驗所得而定。電動力阻力電溜三者之聯絡，可以下式明之。

溜 || 阻

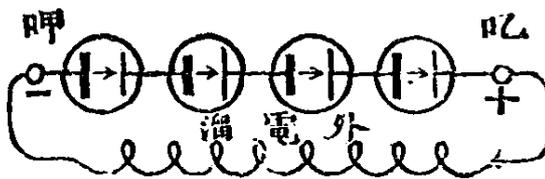
(52)

亦可寫為 安培數 || 弗打數

由此例，則三者可以互求。電動力與其所經之阻力，俱為已知，則可推其電溜。電勢較與電溜為已知，則可推其阻力。阻力與電溜為已知，則可推其電勢較。

連電池之排列法 成級排列法 二箇或二箇以

上電池排列成級，以一池之銅連他池之鉦，而其外之銅與鉦為連電池之二極。如第三百零一圖之呬與吃，仿此列之，則一池之電動力，加他池之電動力，其全阻力為諸池阻力之和，故歐姆之例，可寫為



圖一百三第

溜 || 池電  
地阻十阻

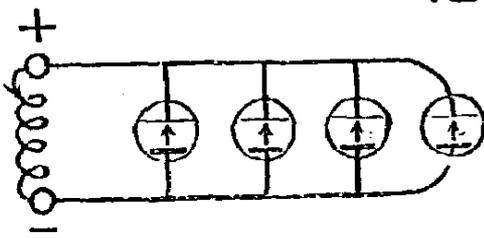
(53)

式內池爲成級之池數，阻爲各池之內阻力，阻爲電溜所經之引電質與器具之阻力。

法式 設有四電池，成級列之，各池之電動力爲1.02弗打，內阻力爲2.4歐姆，外阻力共爲2.7歐姆，則所過之電溜若干。

溜 || 池電  
池阻十阻 || 4 x 2.4 + 2.7 || 3.69 || 1.11

安培。



圖二百三第

三五九

平行排列法

此法以銅盡連於此極，鉅盡連於彼極，則所得之功效，適如諸片共貯一大池內，其電動力與單池同，而內阻力較少。歐姆之例，變爲

溜 || 池電  
池阻十阻

(54)

式內池爲平行排列之池數。

法式 設有四池，與前節同，平行列之，而有同阻力，則其電溜若干。

溜  $\parallel$  電  $\parallel$   $\frac{2}{4} \parallel \frac{1}{0} \parallel \frac{2}{2}$   
 $\parallel$  阻  $\parallel$   $\frac{4}{4} + \frac{2}{7}$   
 $\parallel$  池  $\parallel$   $\frac{21}{7} \parallel \frac{0}{6} \parallel \frac{2}{0}$   
 $\parallel$   $\frac{0}{3} \parallel \frac{7}{7}$  安培。

**成級平行排列法**乃合前二法而成。如第三百零二圖，共有六池，其二成級排列之，其三平行排列之，又如第三百零四圖，亦六池，其三平行排列之，其二成級排列之。命（數）為池之同數，（池）為成級排列池數，（池）為平行排列池數，則有數  $\parallel$  池池，用歐姆之例，則有

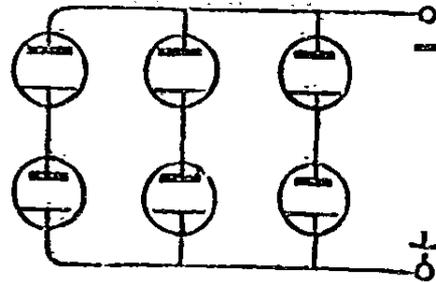


圖 三 百 三 第

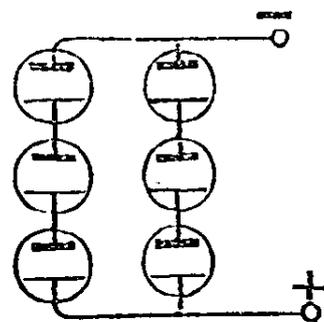


圖 四 百 三 第

溜  $\parallel$  池電  
 $\parallel$  池阻  $\parallel$  十阻

法式 設第三百零四圖之電池，與上文同，阻力亦等，則有

溜  $\parallel$  池電  $\parallel$   $\frac{3}{3} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{4} \parallel \frac{0}{2}$   
 $\parallel$  池阻  $\parallel$   $\frac{2}{2} \times \frac{2}{4} + \frac{2}{7}$   
 $\parallel$  池  $\parallel$   $\frac{3}{3} \parallel \frac{0}{6} \parallel \frac{6}{6}$   
 $\parallel$   $\frac{1}{1} \parallel \frac{0}{0}$  安培。

上言各種排列法之公式，甚為緊要，凡發連電溜之具，如電池與代那模，俱可用之。

三六一

**排列電池而得最大之電溜** 欲令連電池所發之電溜極大，則必

排列其電池，使其內阻力幾與電環之外阻力等。是即外阻力大，則電池宜成級排列之。外阻力小，則電池宜平行排列之。外阻力非極大亦非極小，則宜排列之，令  $\frac{\text{池阻}}{\text{池}} \parallel$  阻為最合宜。

三六二

**極大功效** 排列電池而得極大之電溜，其功效非必極大，以內阻力既

等於外阻力，則電溜之工程，半用以加池內之熱矣。如令內阻力小於外阻力，則其功效有加，以其工程大半用於池外也。電溜極大時，其功效祇為百分之五十。

**習問**

- 一 今有二電池，其電動力各為 1.02 弗打，內阻力 1.9 歐姆，其電環連於一鈴及推鈕，如第三百零五圖，此二者及銅絲

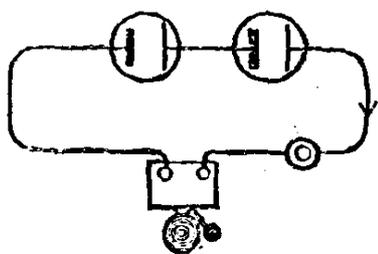


圖 五 百 三 第

之阻力共爲  $7\frac{3}{8}$  歐姆、求推鈕時之電溜若干。

二 如二池平行排列之、試作其圖、并推其電溜若干。

三 今有三電池、各有電動力  $1\frac{9}{10}$  弗打、內阻力  $1\frac{3}{8}$  歐姆、而成級排列之、連於外阻力  $1\frac{2}{8}$  歐姆、則發電溜若干。

四 上節所問之諸池、如平行排列之、當發電溜若干。

五 設其外阻力非  $1\frac{2}{8}$  歐姆而爲  $\frac{4}{8}$  歐姆、試求其成級排列、平行排列、各當發電溜若干。

六 今有電池十六、各有電動力  $1\frac{8}{10}$  弗打、內阻力  $1\frac{8}{10}$  歐姆、連於外阻力  $2\frac{1}{10}$  歐姆、試作圖以明其發極大電溜之排列法。

七 如上節所問之外阻力爲  $\frac{6}{8}$  歐姆、試作圖表其發極大電溜之排列法。

## 實驗室功課

一 試取實驗室內之諸電池、以弗打表連其二極、迭記所得之度分、此數爲弗打表二極之電勢較、非池之電動力也、然二者所差甚微。

二 取同類二電池、成級排列之、以弗打表測其度分、果與三百五十八節之言同否、取凡同類之電池、俱成級排列之、而測其度分。

三 取前池平行排列之、而測其弗打數、試平行排列之、觀其弗打數有變否。

四 以一電池、一電表、一阻力箱、成級排列之、如第三百零六圖、令有阻力一歐姆、而測其電溜、遞變其阻力、如二三四歐姆、而遞測其

電溜、試觀阻力遞增、則電溜遞減否、此與歐姆之例合否。

五 用重率電池六箇、試求用何排列法、則電溜最大。(甲)初次其外阻力為20歐姆、(乙)二次為5歐姆、(丙)三次為20歐姆、試觀

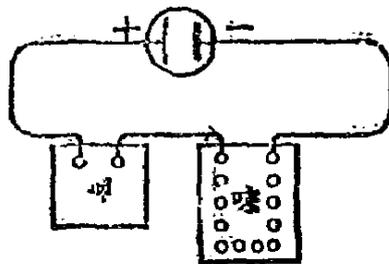
各種排列之法、果與(53)(54)(55)三公式合否。

### 三 電溜之功效

#### 熱功

試驗第一百八十四 取起落電池二箇、以第三十號白銅絲原作耳受銀日成級連

之、浸鉦入液內、若絲非過長、則變紅熱、次用第三十號銅絲試之、則否、能解其故歟、更用重電溜試之。



第三百零六圖

試驗第一百八十五 於方木塊之中點鑽一淺孔，如第三百零七圖，二旁各裝一通電柱，連以銅絲，二端各為第十八號銅絲，中間半吋為第三十號白銅絲，正過淺穴之上，次用銅絲十呎，連起落電池三四箇於二柱，且撒火藥於白銅絲之上，終乃浸鉦入池。



圖七百三第

此為自遠處轟轟礦山之一法。

電熱之例

電溜所成之熱與下三事有正比例。(甲)電溜之平方。(乙)電環

之阻力。(丙)電溜經過之時。可以下式明之。

$$\text{熱} \parallel \text{溜}^2 \text{時}$$

求此式之熱準箇數，則必另入一生數，以表此合數與熱準箇之相關。故有

$$\text{熱} \parallel 24 \text{溜阻}^2 \text{時}$$

$$(56)$$

式內之電溜為安培數，阻力為歐姆數，時為秒數，所得之熱為小克羅力數。常用電溜時，每不計其所發之熱，惟用電熱時需之。

化功

試驗第一百八十六 取口字形玻管二，一端堵塞軟木，中穿銅絲，其下端為

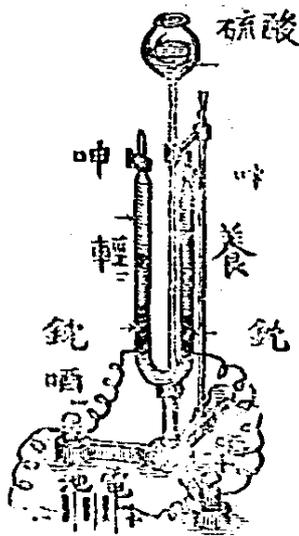
銑管內貯鎢硫強礬水，將上沒銑極，加力低暮司，令有藍色，次連銅絲於二三電池，數分之後，則見近正極之液變赤色，表其含酸，觀近負極之液色，表其含鹼。第三百八圖

試驗第一百八十七 將口字形玻璃管洗淨，貯水幾滿，加硫酸數滴，軟木塞之旁，各割小缺，次連銅絲於起落電池三箇，則見二端俱有氣泡上升，正極所發者為養氣，負極所發者為輕氣。

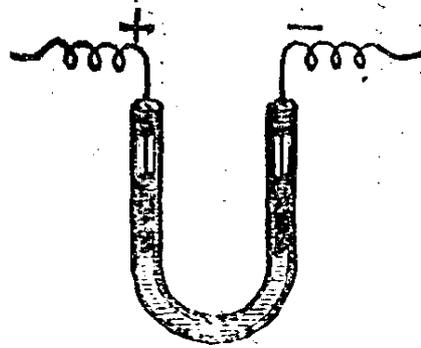
二極所發氣之多少，可以第三百零九圖之器測量之，名曰霍弗曼器，測得負極所積之輕氣，較正極所積之養氣倍多。

上二法所驗電溜之作用，名曰電化，其所過之液，曰電化液，所用器，曰電化器。

**電化銅強硫礬** 試驗第一百八十八 於口字形玻璃管內貯銅硫強礬水，電溜過之，則見正極發養氣泡，負極裏銅一層。



圖九百三第



圖八百三第

此試驗之電溜，化分銅硫養<sup>四</sup>為銅與硫養<sup>四</sup>。銅隨溜而積於負極，硫養<sup>四</sup>至正極，與液內之輕<sup>二</sup>養化合，成輕<sup>二</sup>硫養<sup>四</sup>，放出養氣。如用銅為正極，則硫養<sup>四</sup>與之化合，成銅硫養<sup>四</sup>，令液不淡，而銅漸蝕去。憑此理可以提淨銅質，因取不純之銅片為正極，則負極所積之銅純淨無比，其雜質盡剩於液內矣。

三六七

**電提金類** 上之試驗，即表電提金類之法。工業內用之，為提淨金類最良之法。

三六八

**電鍍之法**，即藉電溜鍍一種金類於別種金類之面也。所鍍之物，浸入液內，連於負極，鍍銅可用銅硫強礬水，鍍銀可用銀藍冷水。銅鐵鋼所製之物，多鍍鎳，以免養氣之侵蝕<sup>銹</sup>，且可光明悅目。

三六九

**電鍍模範**，所以製鉛字印章等物之模。先將其物刷洗乾淨，印於巴黎石膏<sup>即乾石</sup>，或蠟上，取其印痕，次乃散引電質於其上，常用者為筆鉛，然後以銅絲懸於合式之液內，連於電池負極，電路通過，即鍍金類其上，迨積厚足用，取

三七〇

去剝下、於背後托以鉛板、即可合用。

### 副電池

試驗第一百八十九 將連電池叱聯於硫酸電化器、如第三百十圖、在呬呬二點裝電表、映於總電環內、置電鑰、呼於電表之電環內、置電鑰、呼、開、呼、閉、呼、數秒、令電溜過咳、次開、呼、閉、呼、則電表顯有電溜、為咳所發、觀表之偏向、亦可知電溜方向、與電池所發者相反。

伯蘭德考得以鉛片為二極、淡硫酸為液、則可成積蓄電力

之電池。近時所用鉛片、俱製有槽、正極片之槽內、滿以紅鉛粉、負極片之槽內、滿以密陀僧。

此等電池、名曰副電池、或曰電倉、試驗用之最便。每池電動力、約為二弗打、其內阻力甚小、故可發大電溜、其弗打數亦恆而不變。所有本書試驗、祇用此等電池三四枚、所發弗打數及電溜均已足用。

### 磁功

試驗第一百九十

連電池三四箇、得大電溜、

宜平行排列之乎

其外電環為

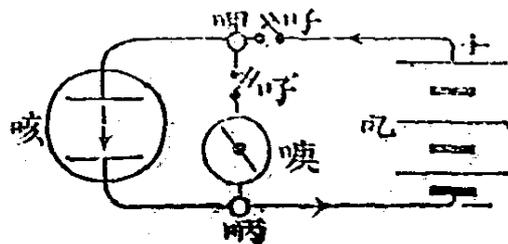
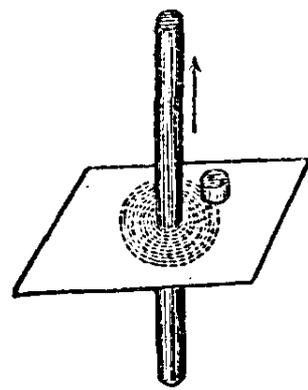


圖 十 百 三 第

三七一

粗銅絲、當電溜通過時、將銅絲置鐵屑內、提起之、則見鐵屑黏集其上。由此試驗、可見銅絲通電、則成磁鐵。

試驗第一百九十一 取光潔厚紙片一、以第十二號銅絲、穿過中央、以銅絲之二端連於電池、發極大電溜、平置紙片、撒鐵屑其上、以鉛筆輕擊之、如第三百十一圖、觀其鐵屑、當見銅絲四圍有磁力線、其施行之方向為圓、以銅絲之軸為

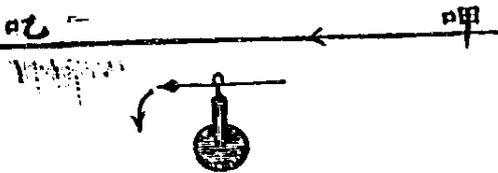


第三百一十一圖

中心、置小磁針於圓之任一點、則轉成切線、如圖內之電溜、乃向上行、則力線之方向、與鐘之針相反、所謂磁力之方向者、即磁針正極所指者也、如電溜自上向下、則力線之方向與鐘針同。

電溜經過引電質之方向、與所感磁力線之方向、相與之關係、可建言以括之曰、右手持引電質、拇指向電溜之方向、則餘指即指磁力之方向。

試驗第一百九十二 取直銅絲呷、連於電池、如第三百十二圖、平行於磁針之上、則針離本向而偏轉、如圖中箭頭所指、置銅絲於針下、則偏



第三百十二圖

轉方向反之、變其電溜之方向、則針之偏向如前。

此法甚要、可表明一種電表之理。線內電溜之方向、與磁針北端之方向、可建言以括之曰、右手掌與針同列、其指按電溜之

方向、則拇指伸出、即指磁針偏離之方向。如第三百十三圖、

銅絲圈之磁性 銅絲之外、裹以絕電質、繞於圓柱之上、

或一層、或數層、則具有磁性、可以下法驗之。

試驗第一百九十三 置磁針於桌上、令靜、以銅絲圈伸之一端

近針之北極、相距約二吋、閉電鑰、發電溜過銅絲圈、則針立刻受

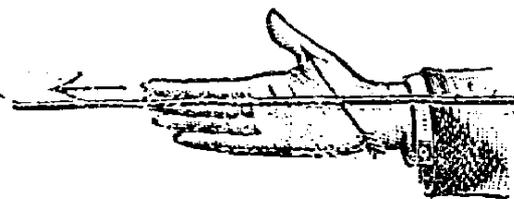
感、為圈所吸、或為所驅、再視圈內電溜之方向。第三十四圖

銅絲圈之長、較之其徑、常甚大、但雖縮至一匝、而磁性仍

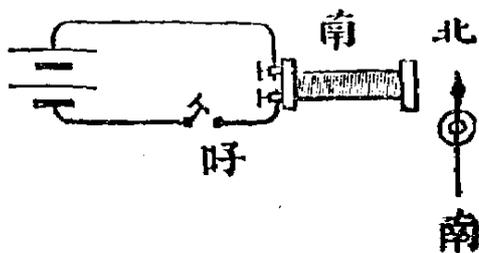
存。

試驗第一百九十四 屈第十二號銅絲一條為圓、徑約六吋、令

二端切近、同插入木塞內、銅絲二端連細銅絲二條、塞上穿有眼



第三百一十三圖



第三百一十四圖

螺釘一枚、以線懸之、連二細銅絲於電池、電溜通過時、銅絲圈靜止、而合東西方向、移磁條近之、則圈旋轉、與之正交。第三百十五圖

由此可見銅絲圈雖短、仍有磁鐵之性。

**雷磁鐵** 銅絲圈之中心、貫以熟鐵條、則成電

磁鐵、因鐵之阻力較少、其為力線之路、較空氣為

佳、故用熟鐵心、則力線之數有加、而發電溜、經過銅絲圈。

**電磁鐵之二極** 以磁針驗磁鐵之二極、得其定例、曰、如

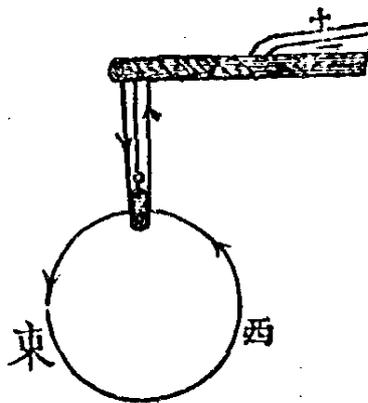
右手持銅絲圈、手指之方向與電溜合、則拇指正指磁鐵之北

極。第三百十六圖

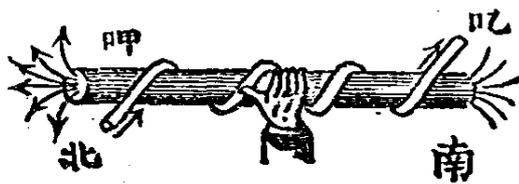
**馬掌形電磁鐵** 電磁鐵之要義、在於得大力之磁界、故

以馬掌形為最佳、常式為二圈、外裹絕電之銅絲、套於圓柱體

之二心幹上、二幹直連熟鐵所製之橫軛、圈上繞銅絲須合法、



第三百五十五圖



第三百六十圖

如彎二心幹及橫軛，令為一直線，則其銅絲之繞向相合，其心幹所用之鐵，又必有特別性，當電溜止時，則立失其磁性。如磁氣微存，不肯立釋，則當黏紙於磁鐵之二極，以救之。或將鐵焯火，亦可。第三百七十一圖

### 習問

- 一 十安培之電溜，於半小時內，過十八歐姆之阻力，則顯力有若干小克羅力。
- 二 一百十弗打之熱光燈，須半安培之電溜，而有二百二十歐姆之熱阻力，此燈每小時發熱若干。
- 三 設有白銅絲，其阻力為3.5歐姆，浸入200（百）之三研水內，令四安培之電溜過之，二十分時，則水熱度當為若干。
- 四 一安培之電溜，每秒能積銅0.0032959瓦於負極，則何等電溜，能於二小時內積銅十五瓦。

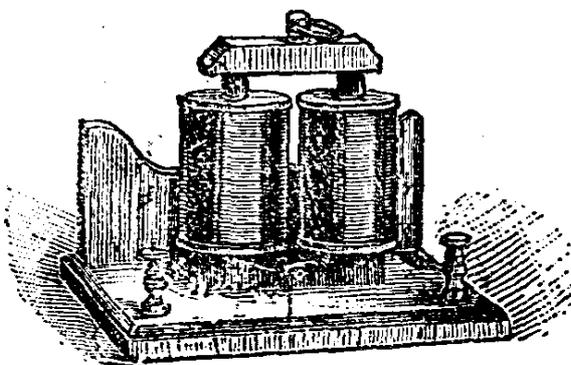


圖 七 十 百 三 第

五 設用馬口鐵罐一、貯銅硫酸礬水、令電池之負銅絲連之、如有四安培之電溜、通過一小時、能積銅若干於罐之內面。

六 電倉所發之電溜、較簡電池爲大、何歟。

### 實驗室功課

一 於玻璃之口、堵軟木塞、取第二十四號白銅絲螺圈、鐸於第十六號短銅絲、以爲二極、如第三百十八圖、透出木塞、塞之中點、插入寒暑表一、筒內貯水二百五十立方糎、發電溜過銅絲、按定時以測其熱度、由此可推得於某時內電溜所發之熱準箇爲若干。

二 刻姓名於銅片上、外作木框一、四邊適高出銅片半吋、刷洗銅片令淨、置之框內、次取巴黎石膏和水、使其稠適易傾出、乃注之框內、厚四分吋之一、慎勿令有氣泡、待其乾透、取去此模、刷筆鉛一層、浸入銅硫酸礬水內、連於電池之負極、其面須對正極之銅片、迨所鍍之銅、厚如一紙、則可剝去、托鉛於後、所鍍之銅、

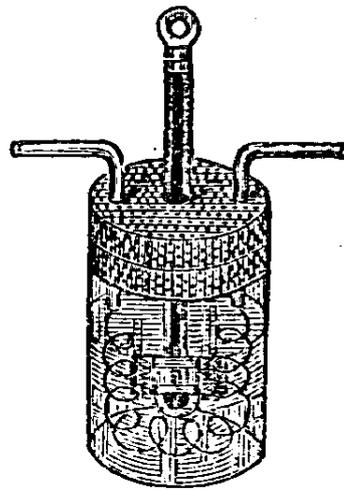


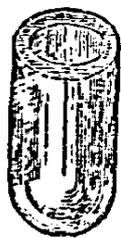
圖 八 十 百 三 第

不可過薄、必以剝下不曲為度。

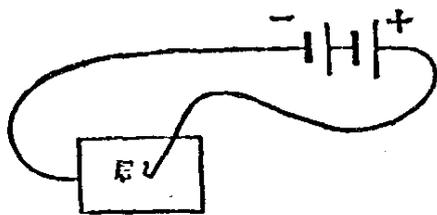
三 取徑約六吋之大口瓶、中間微磋一痕、以熱銅條之尖、自磋處起、環劃一痕、而分瓶為二截、瓶口堵塞軟木、穿過裏橡皮之銅絲、以銑為其端、貯水於瓶、上至三分之二、內微加酸、另取長試管二、亦滿以此水、倒覆銑極之上、發電溜過水、試測所發之氣、各有若干。

測氣體之法、可先以汞定試管之積若干、取厚玻璃管一截、其一端於本生燄內封閉之一端磨去、至正可容汞一立方糶而止、如第三百二十圖、次貯汞既滿、注之試管內、觀每立方糶之高、當為若干。所收之輕氣與養氣、其相與之比例、果與水之成分合否。

四 鎔鋅鎮二瓦於熱水內、加糞小粉少許、將錫片鉚於銅絲連電池之負極、取紙一張、浸溼鋅鎮水、置於錫片之面、另以銅絲連電池之正



圖二百三第



圖一百二十三第

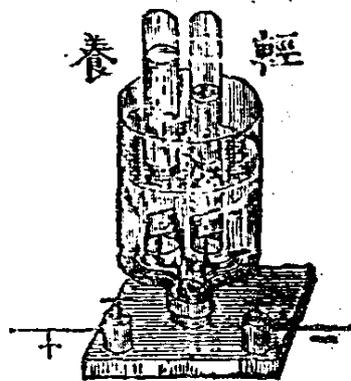
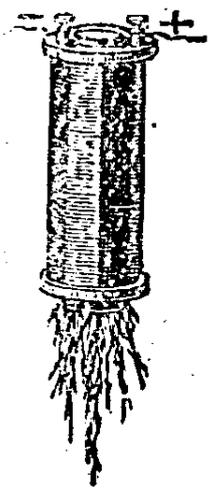


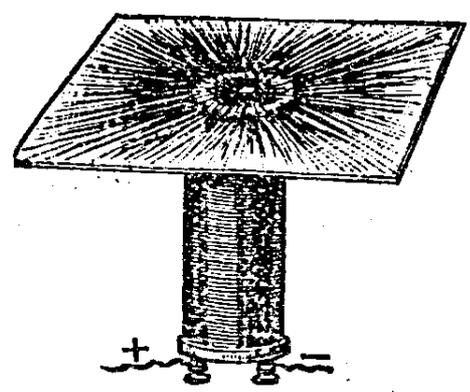
圖 十百三第

極執其一端、書字於紙上、每劃一下、則因電溜將鏢化分、而與小粉化合、現紫色痕。此為印字電報之原理、其法速而有效。

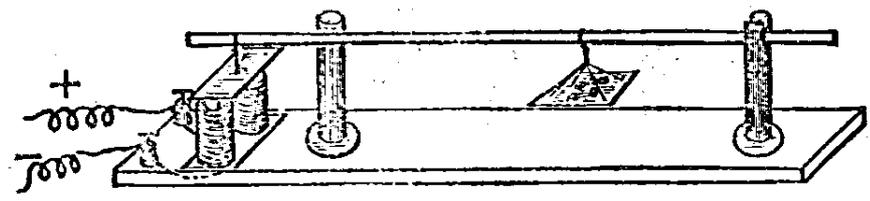
- 五 取長約一呎之木圈、繞絕電之第十七
- 六號銅絲數層、置軟鐵一條以為其心、徐使與連電池相聯、電溜過時、將心絲之一端、置入小釘內、而復提之、則見釘為其所吸、如第三百二十二圖、斷其電溜、則有何效。
- 六 將前法之電磁鐵直立之、上托玻璃片
- 一、如第三百二十三圖、片之上面、黏紙一張、篩鐵屑其上、厚薄均勻、電溜放過、則顯力線之狀、甚為清晰。
- 七 於木板上、裝電磁鐵一、其唧鐵連於槓之短臂、懸砝碼於槓之長臂、如第三百二十四圖、先求唧鐵點當置重若干、乃可與長



圖二百二十三第



圖三百二十三第



圖四百二十三第

臂相抵，以後須每次將此數加入測得之數內。發一安培電溜過電磁鐵，先求置重若干，乃掣去其唧鐵，次發二安培電溜過之，又測其重，仿此迭為之，至十安培而止，將所得諸數繪為曲線，自天軸取安培數，自地軸取掣唧鐵之重數。

註 電磁鐵上之銅絲宜略粗，以免熱之過度。

#### 四 電學測量

電學幾何 電學測量所用有三幾何。曰電溜。曰電動力。曰阻力。

電溜之準箇曰安培 按其所顯之化功、磁功、熱功，俱可測電溜之多

少。然解準箇之理，則按其化功。實用時，則按其磁功。

安培者，每秒能於銀青強礬水內積銀 0.01118 瓦<sup>2</sup>即 50 英釐<sup>7</sup>之電溜也。

此電溜之力，每秒能於銅硫強礬水內積銅 0.00329 瓦<sup>0</sup>即 70 釐<sup>5</sup>

度小電溜之準箇，則用一安培之千分之一，曰密力安培。

阻力之準箇 阻力之準箇曰歐姆，為重 144521 瓦之汞柱。當 0

(百)時，其橫剖面為一方耗，其長為 1063 士厘。第三十號銅絲十呎，所用

三七七

三七八

三七九

之阻力為  $1.04$  歐姆。

梅格歐姆者、一百萬歐姆也。密格歐姆者、歐姆百萬分之一也。

### 阻力之例

引電質阻力之大小、係於四事。一長、二橫剖面、三質料、四熱

度。屢經試驗、得其四例如左。

一 引電質之阻力與其長有正比例。

二 引電質之阻力與其橫剖面有反比例。○故銅絲之阻力與其徑之平方

有反比例。

三 引電質之阻力視其質料及合點之情狀。

四 引電之金類熱度增則阻力亦增、炭及電化液內之阻力則反減。

炭質具有此性、於熱光電燈內、大為適用、因其熱時阻力、祇為冷時阻力三分

之二。

銅絲之阻力、按其所所有熱度而遞增之百分數、名曰熱度係數。

首三式可以左式顯之、

阻 || 呼<sub>長</sub>

(57)

式內之(長)為呎數(徑)為吋之千分數(呼)為常數視質料及合點之情狀而異可使(阻)為歐姆數。

法倫表七十五度時呼之同數

銀 976

銻 5880

銅 1038

鐵 6308

鈦 1900

白銅 13592

三八一

電動力之準箇曰弗打 弗打者發電溜一安培過阻力一歐姆之引

電質時其二端所有之電勢較也。

電池之電動力祇係於料質非全係於大小形狀。重率電池幾為11弗打。雷

革蘭電池為15弗打。鑽強酸電池約為2弗打。屢有人試製可為準則者其

電動力不必定為一弗打然必恆定不變。

電學測量器具 正切電表 第一百九十二圖為電表之一種磁

三八二

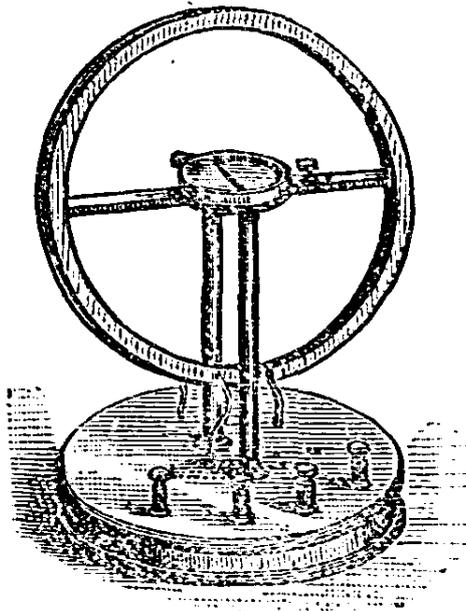
針之外，環繞一圓，其周為針長之十倍或十二倍，繞以引電之銅絲，即成正切電表。  
第三百二十五圖 表內之電溜，非與針所偏離之角度有比例，乃與其角之正切有正比例。  
 設如丙電溜令針轉  $2^{\circ}0'$ ，丙電溜令針轉  $4^{\circ}0'$ ，則丙並非倍大於丙，而其同數當以下式顯之。

$$\text{丙} : \text{丙}' \parallel \text{正切 } 2^{\circ}0' : \text{正切 } 4^{\circ}0'$$

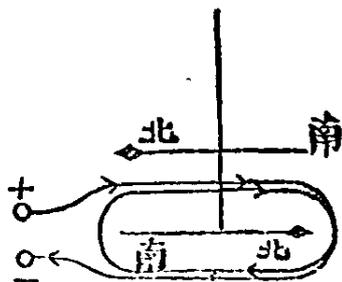
即  $\text{丙} : \text{丙}' \parallel 364 : 839$

故  $\text{丙} \parallel \frac{839}{364} \text{丙}' \parallel 2.3 \text{丙}'$

**無定電表** 測小電溜，則需精細之電表。常用者為無定電表。製法取相似二磁針，插直桿內，其尖所指之方向相反，其銅絲圈分二支。一支在二針之間，一支在二針之下。  
第三



圖五十二百三第



圖六十二百三第

三八四

六百二十 當二針之磁力相等，則微力即足令針鋒偏離南北方向。銅絲圈之二支同感二磁針。求二支分感磁針及合感之效。學者可自為之。

### 銅絲圈電表

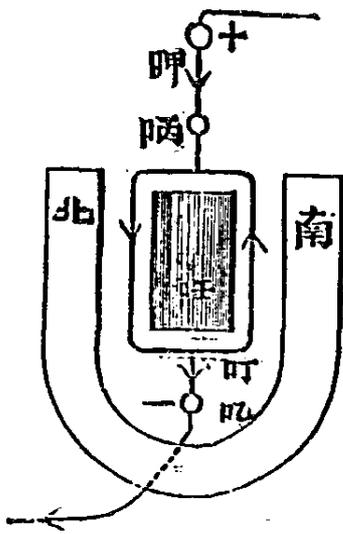
製電表之第二法，其理如下。於

第三百二十七圖天平之一端，懸鐵桿，垂入銅絲圈內，電溜通過，則吸鐵桿下沈，如天平之度分，測之合宜，則此器可為測電溜之器，或名曰安培表。電局所用之器具，多依此理。

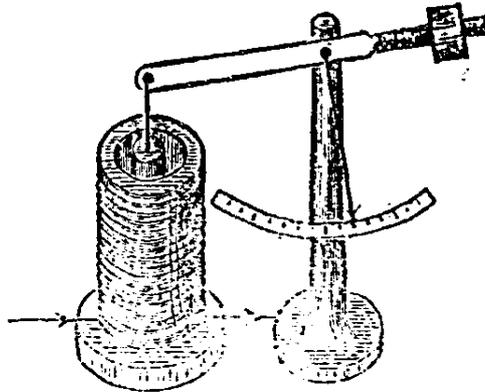
### 阿孫之電表

製電表之第三法，其理

尤要，如第三百二十八圖，為馬掌磁鐵，其二極間直置鐵圓筒，另用細銅絲圈，屈成長方形，自呷點懸之，使擺搖於圓筒及二極之間。電溜過之，銅絲圈成磁鐵，其二極之方向與馬掌磁鐵之平面正交，因受馬掌磁鐵之



圖八十二百三第

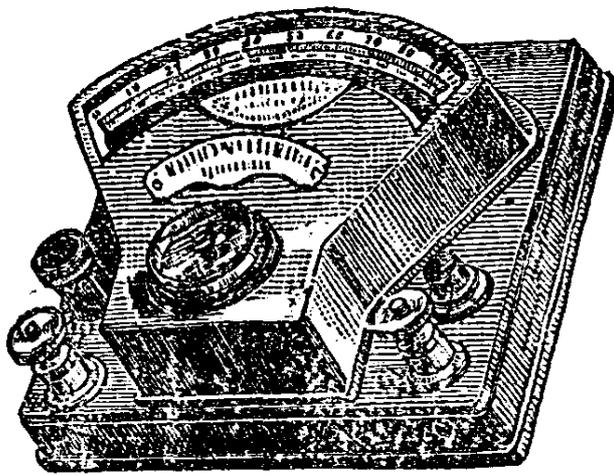


圖七十二百三第

感、故立即偏轉。其主力即為懸圈之銅絲絞力。偏轉之度分、可以指針與分度尺得之、或以兩點之小鑑映分度尺之影而得之。此器妙處、在偏轉後靜止不動、不如他器之擺搖難定也。

**魏斯敦安培表與弗打表之理**、與阿孫之電表同、惟精細靈活、且便於攜帶。其起點在分度尺之一端、故發電溜過之、祇可循一方、向針下置一小鑑、令針與影合一、以免視差。弗打表如第三百二十九圖。

安培表之理、與弗打表同、唯其阻力較低。二表之分度合法、則可徑得安培數與弗打數。  
**阻力箱** 測阻力時、宜先得一阻力之準則、以便比較。常用者為阻力銅絲圈若干、裝之匣內、如第三百三十圖。如圈之阻力、非為極小、則



圖九十二百三第

多用有大阻力之銅絲，即使其呼有夫同數。百第三八

第十節常用者為白銅絲，然熱度係數愈小愈佳，近得

一種羸金，其熱度係數較白銅尤小，以作阻力圈，

更為合宜。當電池之二極連阻力箱之二極時，其

電環內之阻力，視所拔去之塞而定，如塞盡在箱

內，則阻力為無。如配於十歐姆銅絲圈之塞拔去，

則電溜自銅片呷至乙，第百三十一圖必過此圈，是阻

力為十歐姆。阻力箱所設之阻力圈，大抵為 i、i、

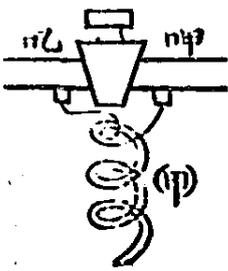
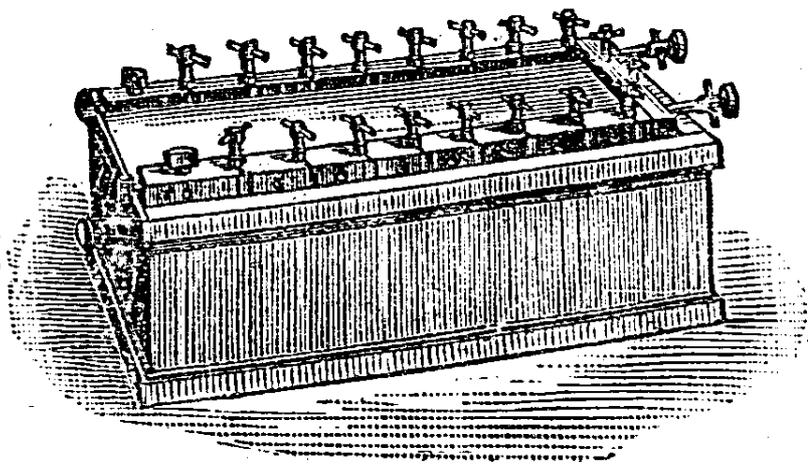
2、3、4 歐姆，1、2、3、4 歐姆，1、0、2、0、3、0、4、0

歐姆，1、0、0、2、0、0、3、0、0、4、0、0 歐姆。用此諸

數，則可求得阻力，自 1 歐姆至 111111 歐姆。銅絲圈之

繞法，如第三百三十一圖(甲)式，庶電溜過之，不遽變為磁

鐵，亦可阻其體內感電。



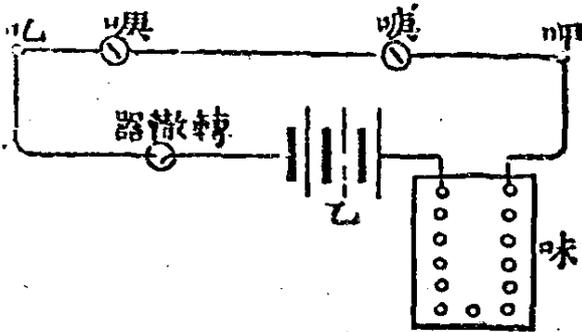
圖一十三百三第

圖 十 三 百 三 第

# 測量阻力 (甲)

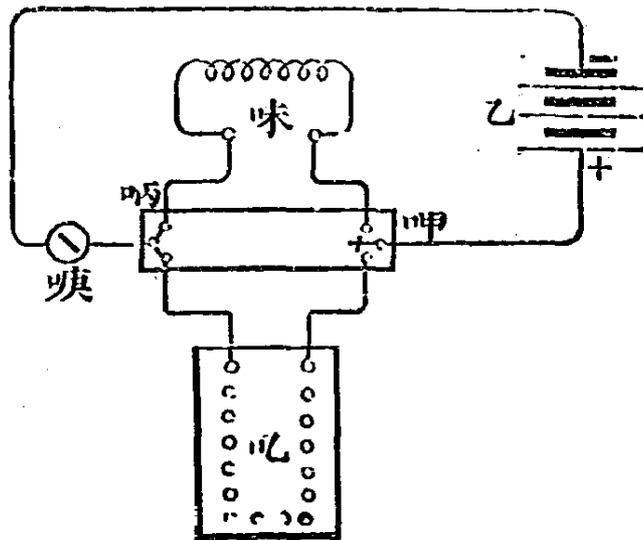
代替法 試驗第一

百九十五 取木板長十八吋、廣九吋、在其一端  
丙處裝立柱三、第三百三十二圖於版下通連、又近甲邊  
裝轉轍器、令電溜可過阻力味、即所測量者、或過  
阻力箱乙、聯電表啞於啞與電池一極之間、發電  
溜過味、觀其感電表之偏度、次拔阻力箱之一塞、



圖三十三百三第

如為十歐 轉轍令電溜過  
箱、又觀表之偏度若干、如  
較前有加、則增箱內之阻  
力、如較前為少、則減箱內之阻力、迨表之偏度與前相等而止、乃  
再轉轍、令電溜引過前路、觀表之偏度不變、則味與乙必相等。  
此法宜使自啞與啞至乙與味之銅絲、其長與粗須相等。  
試驗第一百九十六 取相似之電表二、成級而連於阻力箱、第三百三十圖發電溜過之、而比視其度數、改箱內阻力之大小、發電電



圖二十三百三第

三八九

溜過之、記各表之度數、由此可得同一電溜之比視數。

試驗第一百九十七 以第十六號銅絲二條、各長二呎、聯電表啞於呬呔二立柱、百三

十四 又以第三十號銅絲二條、各長五呎、聯電表啞於此二柱、又聯一電池、阻力箱、與轉

轍器於呬呔二柱、發各式電溜、過此電

環、改變箱內阻力之大小、觀表可見第

十六號銅絲之電溜、常較大、試言其故。

(乙) 韋斯敦橋法 上法內自

呬至呔之電環、名曰平行電環。

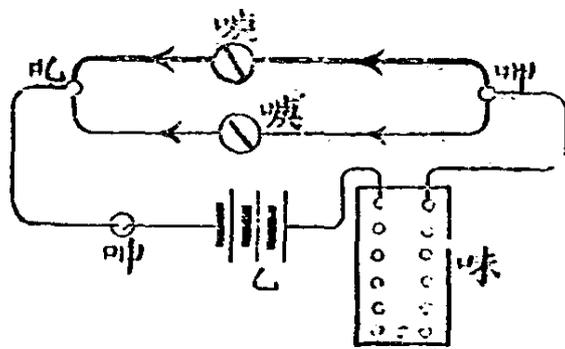
韋斯敦用平行電環內電勢之降

數以測阻力。如第三百三十五圖、

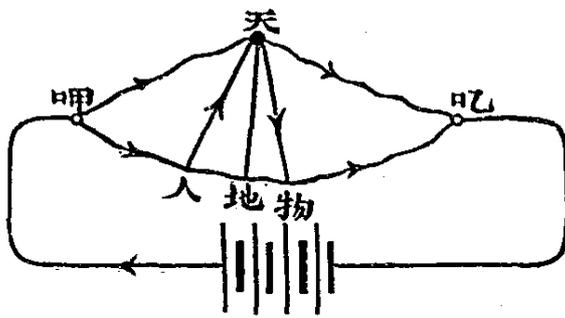
呬呔二點之間、以平行二電環連

之、則可知上支呬天呔內電勢之全降數、乃等於下支地呔內之全降數。又可

見下支之內、必有一點地、其自呬點電勢之降、適等於上支內自呬至天電勢



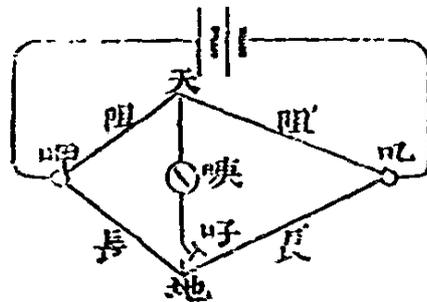
第三百三十四圖



第三百三十五圖

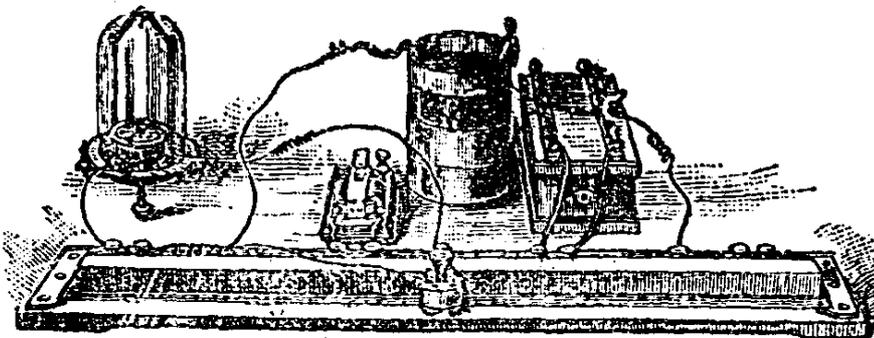
韋斯敦橋內之呷地吃電環第十六百三十三圖為等徑之單銅絲，故阻力與其長有比例。而阻：阻' 長：長' 在地點有呷鑰，以之連於銅絲，即可定地之所在，因(阻)乃置於阻力箱內，(阻)乃當測之阻力。

上法今漸通用，其常式如第三百三十七圖，欲測量極準，不爽毫釐，則所用電表，宜附小鑑，其偏度宜以遠鏡與分



圖六十三百三第

之降，故天與地之電勢相合。苟連以銅絲，則無電溜過之。如連天與呷地間之人點，則有電溜自人流至天。如連天與吃地間之物點，則自天流至物。天地傳電質內，裝一電表，則地之所在易定。既定之後，第十六百三十三圖則呷天之阻力：天吃之阻力  $\parallel$  呷地之阻力：地吃之阻力。



圖七十三百三第

度尺定之。

三九〇

(丙) 電勢較法所用之器具，祇為安培表一弗打表一，故電學家多用之。

試驗第一百九十八 以安培表甲、第三百三十八圖成

級連於所測之阻力味，此阻力之二端乙與丙，連弗打表咳，以為側路，通連轉軸器，以發電溜，同時觀二表之度分，以其同數代入歐姆例式內。

阻 || 溜 || 咳、

以得阻力之同數。

細味之，知安培表之度分，為透過阻力味及弗打表二電溜之和。下法可正其誤，然因弗打表阻力甚大，故其電溜常甚微，置之不計可也。

試驗第一百九十九 用前具，按第三百三十九圖裝之，令弗打表為所測阻力及安培

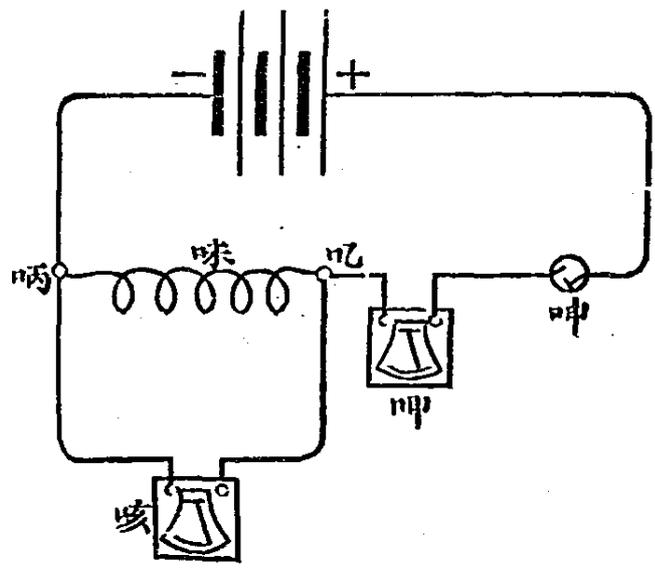


圖 八 十 三 百 三 第

表之側路、同時得二表之度分如前、求得其阻力、而此次并安培表之阻力在內、此數未知、則可以橋測之、自二者之阻力總數內減去、所餘者即為味之阻力。

**平行電環之合阻力** 二傳電質或多傳

電質平行、則其合阻力、常小於其任一條所有之

阻力。細玩引電質阻力之式、

阻<sub>||</sub>呼<sub>徑</sub>其理易明、蓋二銅絲平

行、一如其一條之徑加粗也。

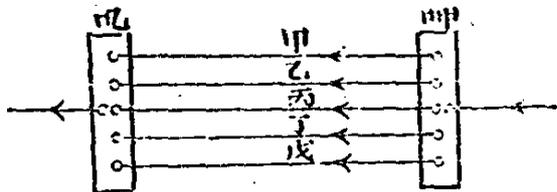
試驗第二百 將呷呷二銅片、穩置板上、第三百四十圖相距約十呎、裝二立

柱、各片之邊穿五孔、插入圓頸木螺旋一枚、上二枚之間、輓以第三十

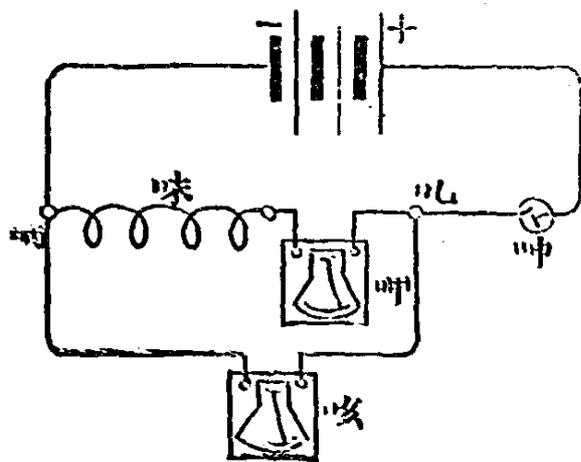
號銅絲甲、測呷呷間之阻力、再輓同號之銅絲乙、又測呷呷間之阻力、

輓第三條絲丙、而又測之、再輓第二十四號銅絲丁、與第十六號銅絲

戊、末乃留戊、移去其餘銅絲、測其阻力。



第三百四十四圖



第三百三十九圖

學者細玩上法試驗之功效，即可明平行電環內阻力之現狀。

求電環與其側路所有合阻力之式，可取一電表及其側路顯之。<sup>第三百四十一圖</sup>過電表之電溜，可寫為啖<sub>庚</sub>式內啖

為電溜，庚為電表之阻力，咳為其二端之電勢較。

過側路之電溜，可寫為呻<sub>申</sub>式內呻為電溜，申為側路

之阻力。咳為其二端之電勢較。全電溜為溜<sub>阻</sub>式內（阻）為電表與其側路

之合阻力。

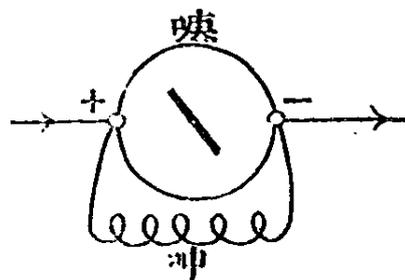
既知 溜<sub>阻</sub> 啖<sub>庚</sub> 呻<sub>申</sub>

$$\frac{\text{阻} \parallel \text{咳} \mid \text{呻} \parallel \text{啖} \parallel \text{阻}}{\text{庚} \mid \text{呻} \parallel \text{阻} \parallel \text{庚} \mid \text{呻}}$$

(58)

如有數電環，其阻力為未未未等，則其合阻力可由下式得之。

$$\frac{\text{阻} \parallel \text{未} \parallel \text{未} \parallel \text{未} \parallel \dots}{\dots}$$



圖一十四百三第

第三百四十一圖之法，常用以測大於電表所能勝之電溜，所設側路，通過電溜十分之九，而電表祇表電溜真同數十分之一，故名曰十分數側路。

### 連電池之阻力

測連電池之阻力，較之銅絲為難，

因成極性等事，而其阻力時時有變也。常法，聯所測之電池於韋斯敦橋之一支，如第三百四十二圖，配準其阻力，迨鎗閉而電表之偏度不變，池之阻力，可以下式推得之。

乙 || 阻  
五

### 測量電溜

測量電溜，恆用電表，若經過電表之電溜，及其偏度之關係，已經驗定，則謂該電表之度分已定。定電表之度分，可先

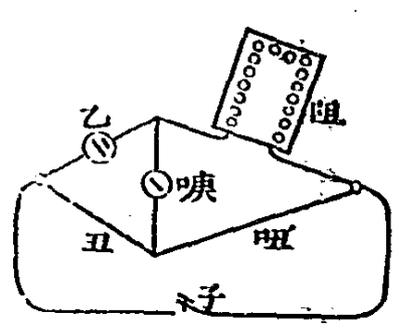
度其阻力，次度其所經過之電勢之降數。

電表之度分，定為安培者，名曰安培表，其阻力恆極小，而於電環內成級列之。

### 測量電動力

電動力即電勢較，亦用電表測之，其阻力恆甚大，所定之

度分為弗打數，名曰弗打表。所測電溜，祇一小分經過此弗打表，故弗打表為



圖二十四百三第

三五五

電環之側路。

瓦德 如有電環，二端之電勢較爲一弗打，發電溜一安培，過電環，則其所顯之力爲一瓦德。此準箇爲馬力之  $7.416$ ，每分顯工力  $4.424$  呎磅。凡電環內之瓦德數，等於弗打乘安培。卽瓦  $\parallel$  弗  $\times$  安。

### 習問

- 一 五安培電溜過電化銅器，而積銅二十一瓦，需時若干。
- 二 八安培電溜，必若干時，乃積銀十五瓦於一平面。
- 三 銅絲徑  $0.508$  吋，長半哩，求其阻力若干。
- 四 求與上問銅絲等徑等長之鐵絲阻力。
- 五 一百十弗打之熱光電燈，其熱阻力爲二百二十歐姆，設二、三、四、五燈平行列之，求其阻力若干。
- 六 呷叱二點，以二引電質連之，分用時，一有阻力八歐姆，一有十四歐姆，求二者平行時之合阻力。

七 三絲之阻力爲四、九、二十七歐姆、求其平行之合阻力。

八 電環之二端、有電勢較十八弗打、有4.2安培電溜經過之、求其阻力若干。

九 電表之阻力爲3.17歐姆、則其十分數側路之阻力若干。

十 設第五問內各燈、有十六燭力、則各燈需若干瓦德、每燭力有若干瓦德。

十一 何等電溜經過五十弗打之燈、能發十六燭光、其燈之阻力若干。

十二 有弧光燈、需電溜十安培過此燈之電勢降數、爲四十五弗打、則須若干瓦德、方能燃之。

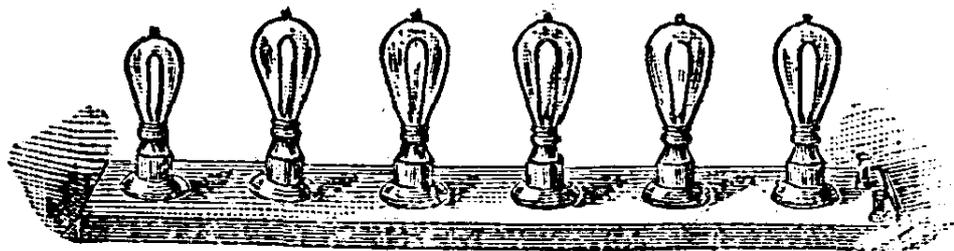
十三 有代那模、以一百十弗打電力、發二百安培電溜、問其電馬力若干。

十四 封閉之弧光燈、需電溜4.5安培、其二端之電勢較爲八十弗打、則需瓦德若干、其阻力若干、問何阻力成級而連於一百十弗打之電環、并繪圖表其聯合之法。

### 實驗室功課

一 試證電池之大小、不能定弗打之數、法連一弗打表於起落電池、當鉸片初觸液面及深入液內之二候、觀弗打數各爲若干。

- 三 試證電池之大小定其所發之電溜法、以安培表如前法試之。
- 三 作一銅絲圈、長六吋、裹絕電之第十六號銅絲六層、另以螺簧懸鐵桿一、其下端正垂入銅絲圈內寸許、於連鐵桿及螺簧之銅絲上、置一玻珠、於其後設一直分度尺、成級連於電池、阻力箱、及安培表、試作曲線、以明電溜及鐵桿吸入銅絲圈內之距相與之關係。
- 四 作電燈阻力板法、如第三百四十三圖、於木板之下面縫內、自此端二立柱至彼端、連以第十六號銅絲二條、鐸短銅絲於此二銅絲、而連於燈底、插阻力不同之電燈於底內、分測其阻力、次乃兩兩合測之、以測得之阻力數、與自平行電環合阻力式所推得者比較之。
- 五 置同阻力之電燈於底內、測其一、二、三、四、……之阻力、其所得之功效、則可見如通以合式之弗打數、○設為1 1 打則各燈有所需之電溜、而不問其所通之多寡。
- 六 測電表之阻力、次求其側路之十分數銅絲、當長若干、連此電



第三百四十三圖

表於重率電池、觀其偏度若干、設側路而再連之於此電池、觀其偏度之改變如何。

七 重率電池三四枚、成級列之、連於轉轍器、電表、與阻力箱、如第三百四十四圖、又連一弗打表、以爲電表及阻力箱之側路、試列其功效於表、如左。

咳	庚+味	啞 = $\frac{\text{咳}}{\text{庚} + \text{味}}$	叮
1.3	2.6	5.	40

表內咳 || 弗打表之度分、

庚 || 電表之阻力、

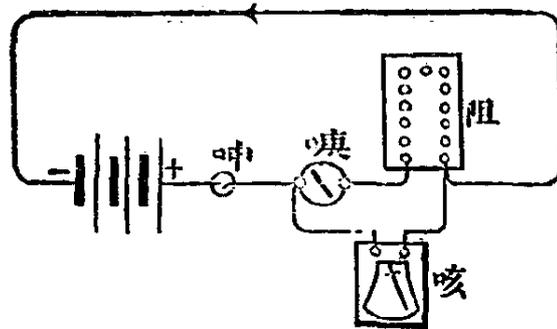
味 || 阻力箱之阻力、

叮 || 偏度、

啞乃按歐姆例推得者、

作一曲線、自吠軸取其電溜、自哂軸取其偏度。

此法可定電表之度分、自此曲線、易得電表偏度所相當之電溜。



圖四十四百三第

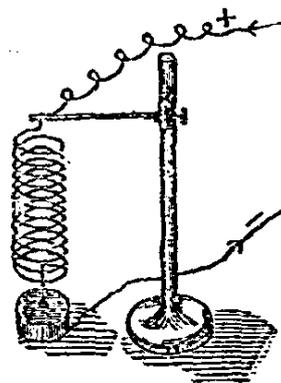
三九六

### 五 感電溜 代那模

#### 平行電溜

試驗第二百零一 取二十四號絕電銅

絲作徑三呎之螺形圈旋轉十五次懸之架上其上端連電池之正極下端一竹截伸直浸入汞滴之內而與負極相連電溜過之則螺形圈縮短自汞內提出其下截之尖見火星躍過圈復伸長而下截之尖復遇汞滴次又提出如前。第三百四十五圖



第三百四十五圖

此法雖簡可表平行電溜之互施作用屢經試驗而得以下諸例。

- 一 平行電溜之同向者互相吸。
- 二 平行電溜之反向者互相驅。
- 三 電溜之成角相遇者如二溜之方向並向角或並背角則互相吸。
- 四 電溜之成角相遇者如二溜之方向一向角而一背角則互相驅。

#### 感電溜

試驗第二百零二 以第三十號絕電銅絲作圈可溜於長磁條之上而

聯於精細電表如第三百四十六圖置圈於條之中央待電表之針穩定驟移圈至正極

三九七

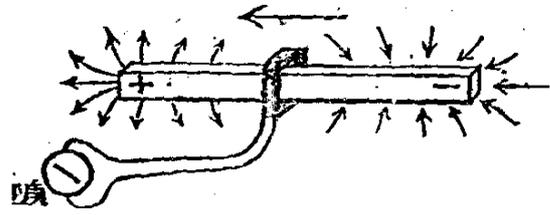


圖 六 十 四 百 三 第

則電表之針驟躍而漸轉，止於圈點。復置圈於條之中央，而移至負極，則電表之針又驟轉，但方向與前正反。次以一手持磁條，一手持圈，勒之上至北極，而視電表之轉度，又移圈至負極，而視電表之轉度。此法試驗所成之電溜，曰感電溜。乃由有電之引電質，交磁力線而發。亦表此感成電溜之方向，視引電質交力線之方向，如屢變圈之速率，則又可知感電溜之多少。視其於定時內所交力線之多少。第三百四十七圖，表傳電質之動向，力線之方向，感電溜之方向，三者之相關。如橫轉傳電質，呬於磁界內，交其力線，如圖內之式，則令呬呬二端之電勢有高低，即有電溜自呬至呬。

左例甚為緊要，當牢記之。

如一人橫持引電質於正極，目視力線之方向，令引電質落。

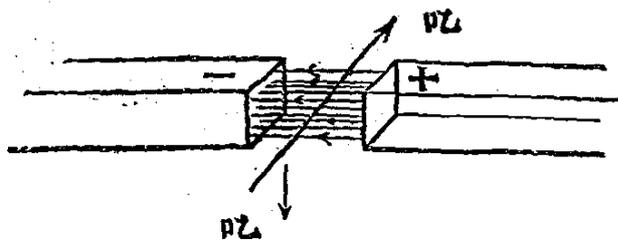


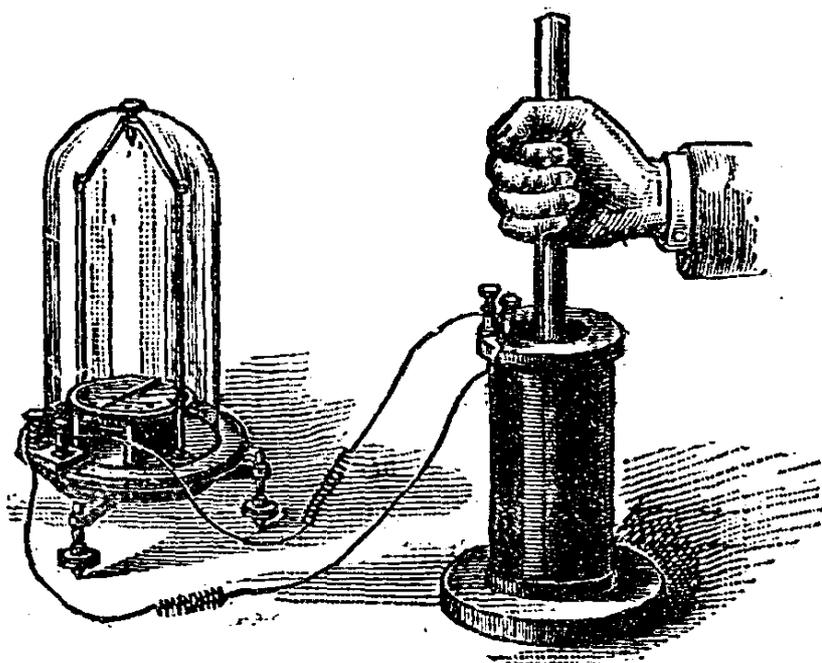
圖 七 十 四 百 三 第

下、則感電溜自右向左。

試驗第二百零三 以絕電細銅絲製圈、名曰副圈、調於前法所用之電表、將磁條之正極插入第三百四十八圖而觀針之躍動、驟提出之、觀其躍動較前何如、復以負極如前法試之。

以此法與前文試驗第二百零二參觀、可見銅絲圈移動、或磁鐵移動、其效相同、蓋凡銅絲交、磁力線、則感成電溜也。

試驗第二百零四 以粗銅絲製圈、曰正電圈、令其大小合宜、可插入副圈之內、而與電池相連、仿前銅絲圈之法插入之、則其功效相同、由是何故。



圖八十四百三第

第三百四十九圖

試驗第二百零五 置正圈於副圈之內，正圈與電池之間，設一轉轍器，使通電環，而觀其偏度，斷其電環，又觀其偏度，以此偏度之數，與前法所得者相比，並言其理。

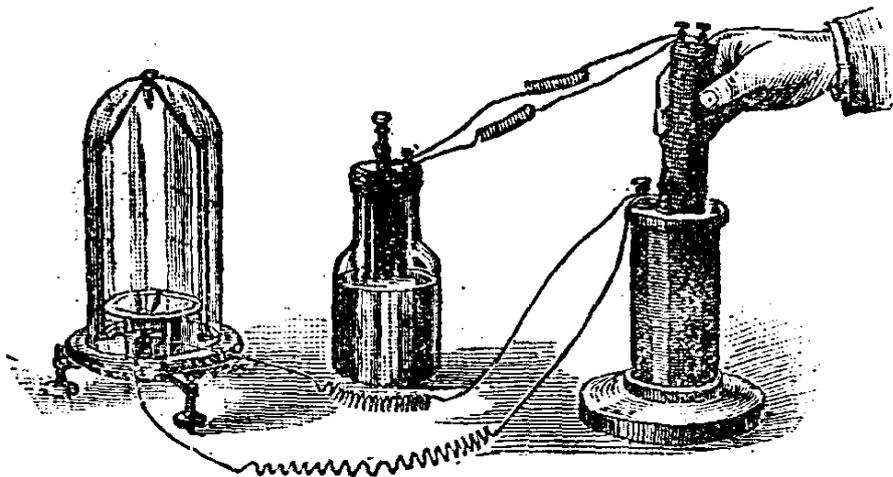
試驗第二百零六 略改前法，以阻力箱易其轉轍器，如電溜過之不絕，則電表無偏度，如正圈之電溜有變，或增或損，則電表之針跳動，而顯有感電溜。

屢經試驗而得感電溜之三例如左。

一 正圈內之電溜，或發或增，則感副圈內有反向之電溜。

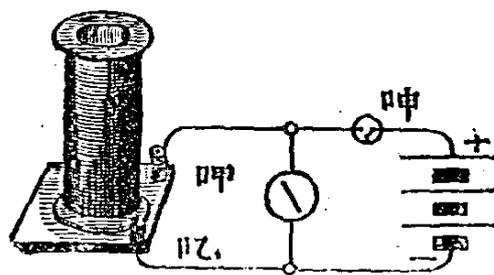
二 正圈內之電溜，或斷或減，則感副圈內有同向之電溜。

自感 一 圈內之電溜既有變，即感附近之



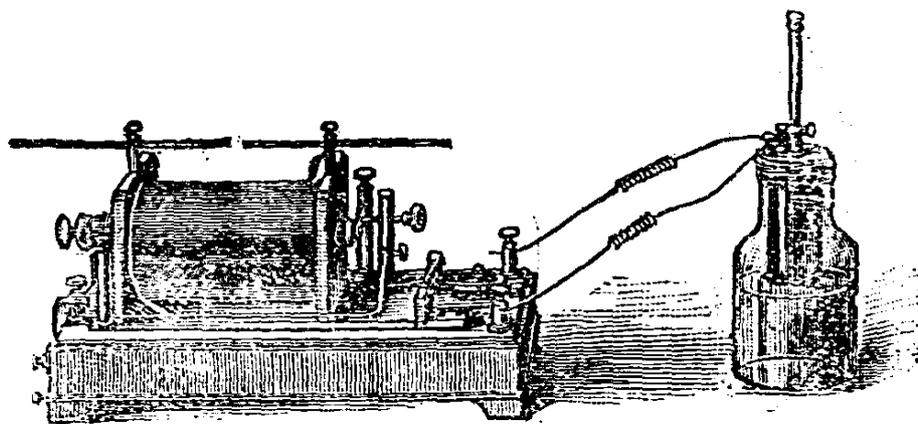
圖九十四百三第

圈發新電溜，是則圈內一匝之電溜有變，亦感同圈內附近之一匝矣。可以下法驗之。試驗第二百零七，以電池、轉轍器、電表、銅絲圈、相連，如第三百五十圖，通過電溜視表之偏度如何，於其一旁置軟木塞一，令其針仍止於圈點，乃斷電溜，見電表之針，反自跳動，即表圈內所感成之電溜，與電池所發者同向。



圖十五百三第

感電圈一名棧考夫圈，乃一副銅絲圈，所以發高電勢較之感電溜者。其式頗多，第三百五十一圖，為其一之略狀。第三百五十二圖，則其各要件之理之圖也。



圖一十五百三第

要件爲軟鐵心一。正圈一，以絕電粗銅絲旋轉數匝而成，連於電池。副圈一，以絕電細銅絲旋轉多匝而成，連於呬吃二立柱。自行斷路機一，在正圈與電池之間。蓄電器一，在斷點吧之二旁，與正圈相連。轉轍器一，所以通斷電路。

用感電圈之法，轉其轍，電溜過正圈，令軟鐵

心成磁鐵，則吸軟鐵所製之脚鐵。此物裝於直簧之

上於吧點之電路即斷，於是軟鐵心不復爲

磁鐵，脚鐵即因簧力躍回，與吧點相遇，電路復通如前。當正圈電溜通時，即感副圈內有反向之電溜，正圈電溜斷時，即感副圈內有同向之電溜。正圈電溜通時，其自感電溜與電池之電溜反對，減副圈內所感成之電動力。蓄電器之用，所以增正圈之量，減斷路之時，而令副圈之電動力有增，又於電溜斷後，立

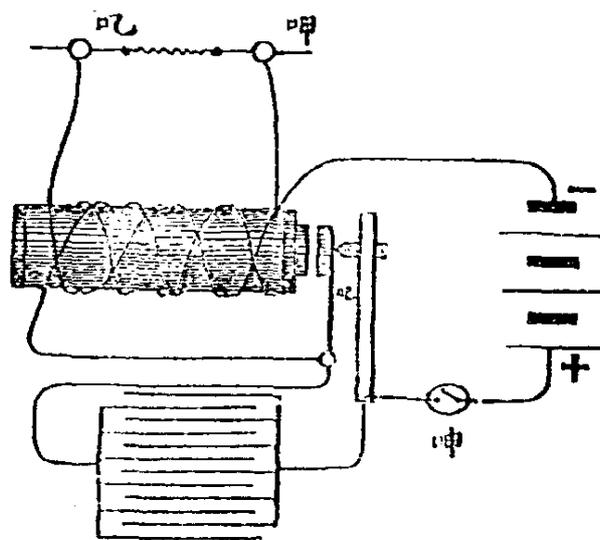


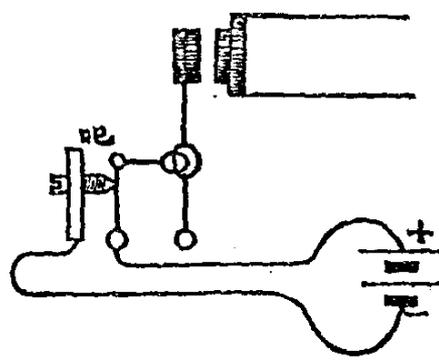
圖 二 十 五 百 三 第

即由池放電，其方向與池內電溜相反，故令軟鐵性之失磁性較速。尊爵紀而文推得平行金類片之間，相距一糵，火星躍過，則所需之電勢較，為三萬弗打。

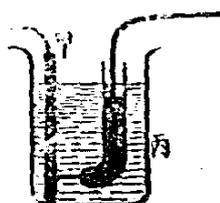
感電圈之電動力，其高既如此，則其絕電之法，必完全無缺。近製之感電圈，副圈分段繞之，外塗以絕電性之蠟，令其內絕無空氣。

第三百五十三圖，示一種速斷正圈電路之機關，不如前法，其簧連於擺動之唧鐵，乃在吧點另設一跳簧，與諸體相連。舊法唧鐵靜而後電路斷，此法則唧鐵擺至中途，電路已絕。

第三百五十四圖，更示一斷路之奇法，玻璃杯內貯硫酸與水，內浸鉛片甲為負極，又玻璃管丙，其下端穿過銻絲為正極。注汞入管，以圍銻絲，免其過熱，置此器於感電圈正電環內，則更



圖三十五百三第



圖四十五百三第

四〇〇

速斷不止，不僅如上文所言之間斷也。用此法可省蓄電溜。

### 感電圈放電之功效

感電圈放電之方功，與熱功俱與候氏機同。故

凡電機試驗，亦可用感電圈試之。其於人身之功效，則特別不同，可持小感電

圈之副圈二端驗之，然恐傷人，切勿用大力感電圈。

四〇一

### 光效

上文已言於空氣內相距不遠發火星過之，需電動力甚多。然如二

端之間，隔以壓力減少之空氣，則火星失其光而增其長，法以玻管之二端，封

入鈦絲，管內空氣幾全抽盡，二端連於感電

圈副圈之二端，在暗室內，電溜通過，則管內

現紫色光。管內所以必用鈦絲者，因其增漲

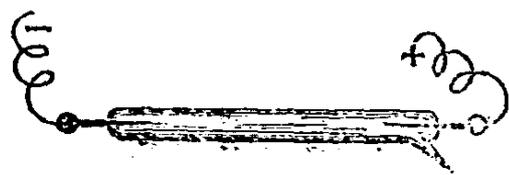
係數與玻璃同也。第三百五十五圖

蓋司拉管以玻璃為之，形式各異，二端

封入鈦絲，管內滿以各種氣質，壓力不同，感

電圈副圈之電溜過之，則管內現各種光明

四〇二



圖五十五百三第

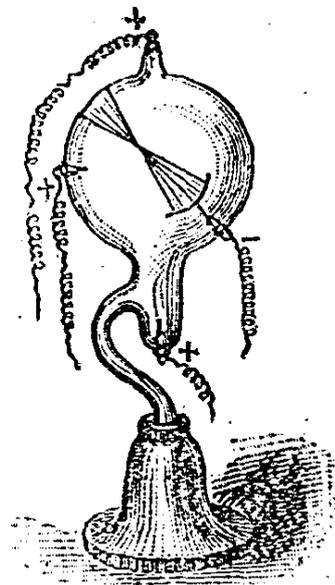


圖六十五百三第

四〇三

烟灼之狀。管式如第三百五十六圖。第三百五十七圖之管，則用以分氣質之光。

克路克司管 偉良克路克司始發明放電過高真空管之理。



圖八十五百三第

所謂高真空者，即其內氣質壓力小於空氣百萬倍者也。第三百五十八圖，為克氏查察高低真空各種現象之玻管。如為低真空，則放電為曲折之光帶，自杯形負鈎極



圖七十五百三第

至正極之銅絲。如為高真空，則放電時徑自負極過圓球而至對邊，發淡黃綠色之閃光。

四〇四

耶根光線 一千八百九十五年十二月德國伍士堡城大學教習耶根

始發明一要理，謂感電圈副圈之電溜過某種光明管，則發無形之光線，能令閃光質發光，而感照相乾片。此光線更能透過某種阻光之質，一如光線之透

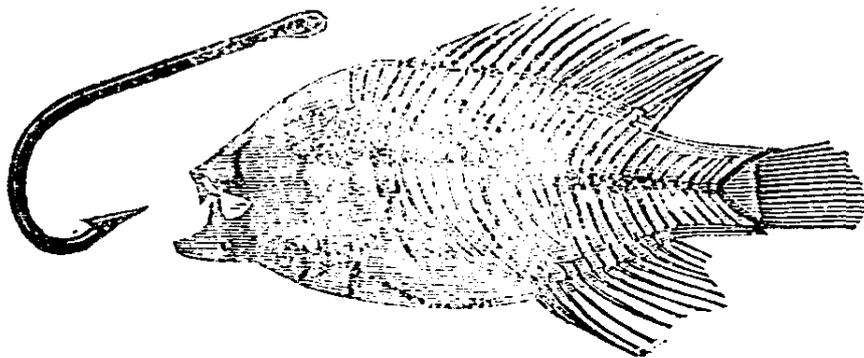
過透明質。此諸光線、乃自負極光線擊管面處而發。郎根名之曰葛格司光線。

葛格司管以英文第二十四字母代數學用以代未知幾何者也

郎根光線之發明、聞於世界、格致家及常人之耳目、爲之一震、因此光線易透肌肉、而不易透骨、以照人身、可見骨骼之位置。醫士可藉以察骨之傷損、及外物之入體內者。如鉛丸第三百五十九圖、爲用郎根光照魚之像。其照像法、先將乾片閉於匣內、所照物置於匣蓋之上、然後以郎根光線直照過之、距光線發源之處、祇數吋耳。

克路克司管、有數種俱能發郎根光線。第三百五十八圖之式、頗合用。近製之式、名曰光心管、其負極光線、聚光心於鈹片之角度、令光線直透過玻璃。

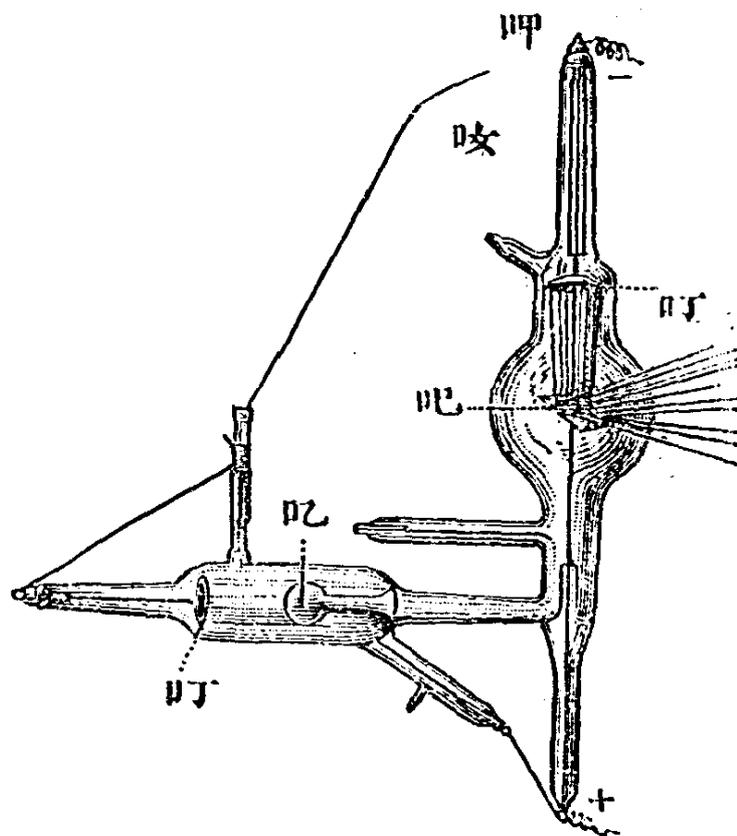
考得克路克司管之真空、因用而漸高、久而電溜不能



第三百五十九圖

通過、必設法減其真空而後可。第三百六十圖、爲自行節制真空之管、於大管之旁尙有小管、如圖。大管內真空過高、電溜不能透過、則有火星跳過空處、自呷至呔、而過小管、小管內叮處所發之負極光線、正擊呔球。球與大管連、內貯與溼氣有大愛力之藥料。自叮之光線使呔球熱、則溼氣被逐入大管內、令其真空變低、如常。

言郎根光線之理者有二說。一曰郎根光線之浪、爲以脫之直顫動。一曰其浪亦爲橫顫、唯較尋常光浪爲短。其顫動乃因正極也按郎根光線之現象、後說似



第三百六十圖

為可據。附此管於候氏電機之二極，或附於梭考夫圈副圈二極，俱能發郎根

光。閃光鏡如第三百六十

一圖，為美國格物家愛狄

孫所造之閃光簾，用以考

郎根光線，可無需照相乾

片也。其要件為一片，蔽以

鈣鎂雜質之顆粒，裝於匣內，一端有阻光之邊，圍蔽人

目，令外光不得入內。置手於片及發郎根光之管間，則

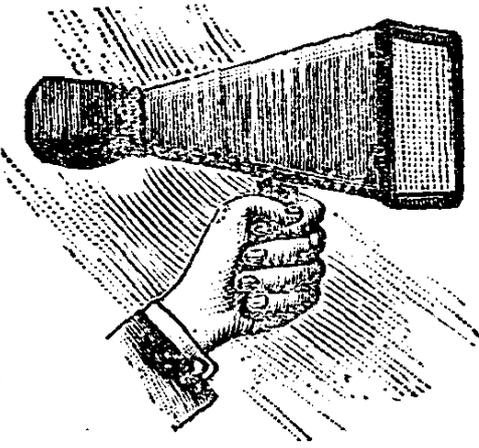
於片上可見骨之位置。

代那模者，轉動引電質，交割磁力線，能以工力發電

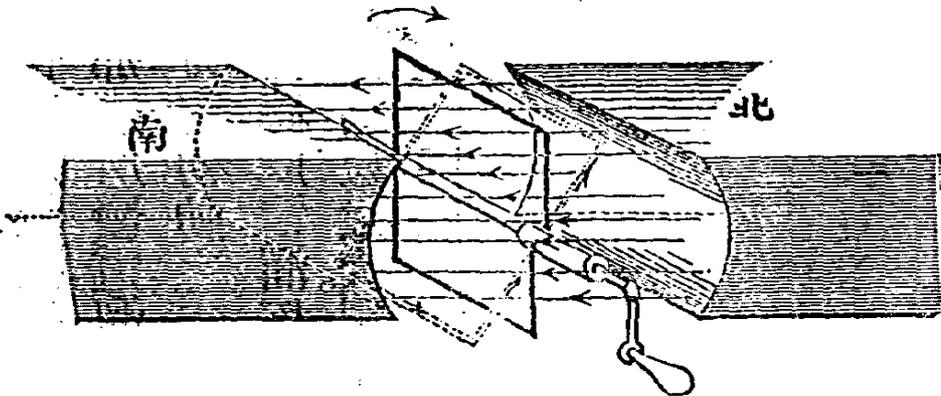
溜之機器也。

理想簡代那模

按理想之簡代那模，則其傳電



圖一十六百三第



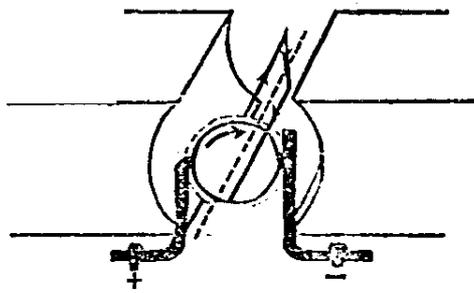
圖二十六百三第

質當轉動於均勻磁界之間。然必無其事故以最近似者代之。用恆磁鐵以為磁界北與南。如第三百六十二圖。按感電溜之例。可定代那模所發電溜之方向。設第三百六十二圖之單圈。自豎位而轉動。如鐘針之方向。初動之時。傳電質所過之方向。幾與力線平行。故於其始交割力線不多。而感成電溜極小。圈離豎位而漸近橫位。則交割之力線數漸增。迨圈至橫位。則其數最大。圈更轉過。所交割之力線漸少。迨過一百八十度時。其感電為無。上環內感電溜之方向。自左向右。如第三百四十七圖。自北向南。下半環內之感電漸增。乃自右向左。故二溜相接。而同行一方向。圈每次經過豎位時。則其感電溜之方向改變。故每次旋轉。成更替二電溜。

四〇八

### 反向器

欲令代那模銅絲圈所發之電溜。改為一方向。則必於其圈之二端。連二銅極。與軸同轉。其電溜則以刷引去之。是曰反向器。第三百六十三圖。為簡圈合用之



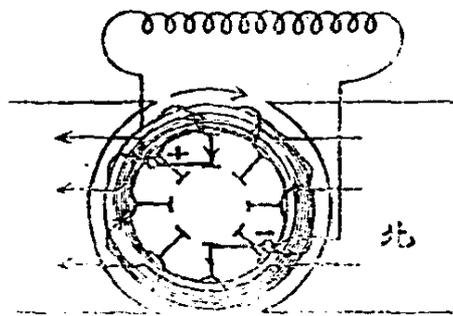
圖三十六百三第

雙反向器。細玩此圖，可見置刷於合宜之位，則自此反向器而變至彼反向器時，正與圈內電溜方向之變同時，故其外電環之電溜，常為一方向。

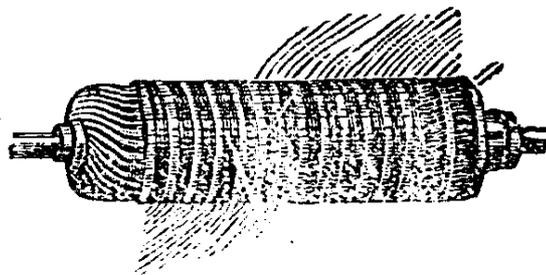
**啣鐵** 代那模內感成電溜之件，曰啣鐵。多為旋轉運動者，間有定而不動者。近製啣鐵分二種，曰環形啣鐵，曰鼓形啣鐵。

**環形啣鐵** 為若干絕電銅絲圈，繞於環形之心。第三百六十四圖乃其簡式。按感電方向之例，則可定正極所連之刷，既銅絲圈全數之半在二旁，刷之間成級，故可知電動力為二旁諸銅絲圈感成電動力之和。啣鐵之阻力，為繞於其上之銅絲阻力四分之一。凡用高弗打數之機器，如發弧光等，則以此種啣鐵為宜。

**鼓形啣鐵** 為傳電質直繞鐵圓柱上而成。其銅絲圈之二端，連於對邊之



第三百六十四圖



第三百六十五圖

脚鐵、如需電動力、小於環形脚鐵者、則用此式。若欲發大電溜、則其傳電質以銅條爲之。第三百六十五圖、爲其具體。

四二二

電界磁鐵

發電界之法不同、故代那模之種類亦不一。

四二三

分激代那模

之磁界、爲外來之電溜所激成。其源爲電池、或另一代那模。

第三百六十六圖 此電溜可節制之、令恆而不變、故代那模外電環之電溜有變、而電界可不變。

界可不變。

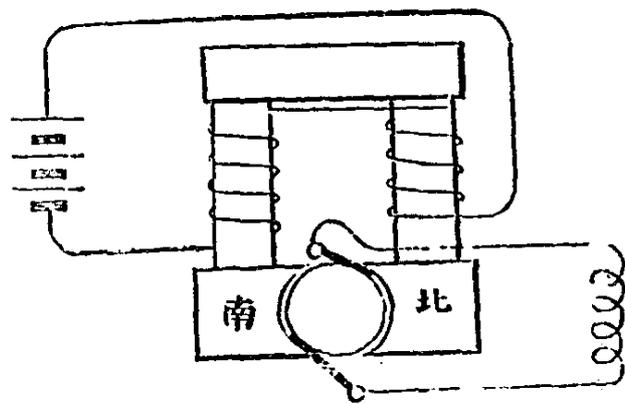
四二四

成級代那模

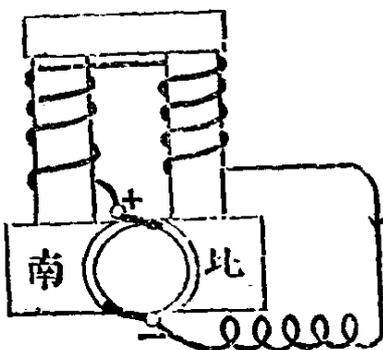
之磁界、爲繞電界磁鐵而連外電環之粗銅絲圈所發。

第三百六十七圖、示其銅絲自上刷繞電界磁鐵而過外電環、復回至下刷之路。如外電環斷、則界內之磁氣降爲無有。如外電溜增、則

外電環斷、則界內之磁氣降爲無有。如外電溜增、則



第三百六十六圖



第三百六十七圖

電動力亦增。

### 側路代那模

此最有用。其繞電界磁鐵之銅絲、

細而長、連於二刷、為外電環之側路。第三百六十八圖 如外電

環斷、則多有電溜過側路、而電界之磁氣有增、使機之

電動力升至極高、如外電溜增、則電動力降。

### 重疊代那模

夫既成級代那模之電動力、與外

電環之電溜同增、側路代那模之電動力、則因外電環

電溜之增而反損、故可於同一電界磁鐵上、繞成級之

銅絲圈、與側路之銅絲圈、相為比例、則可使其電動力

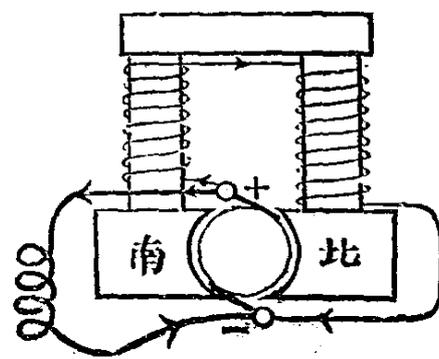
常而不變。是曰重疊代那模。如第三百九十九圖。熱光

電燈多用之。

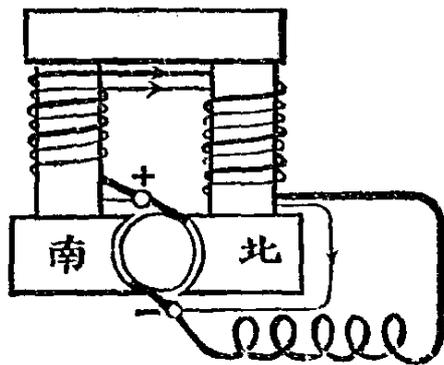
### 交換器

代那模之銅絲圈、如不連於反向器之條、

而連於銅圈、則所發者為交替電溜。各銅絲圈每次旋



圖八十六百三第

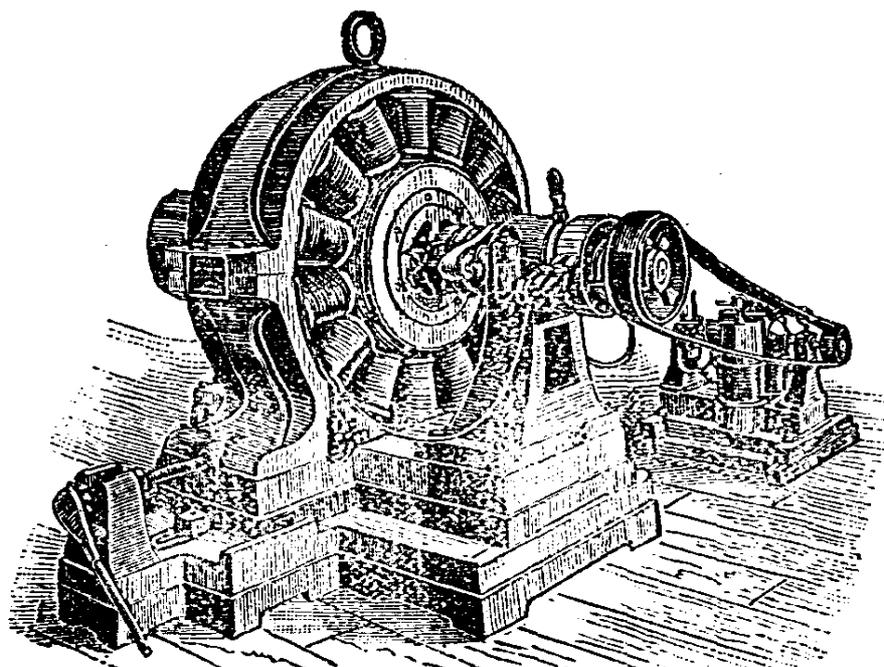


圖九十六百三第

轉、變其方向二次。電界內按銅絲圈之數而用若干鉅片、各連於銅絲圈、則銅絲圈內之電溜、俱成級而發大動力之交替電溜。交換器之電界磁鐵、第七十三圖常以發正電溜之小機激動之、令有磁氣。

### 習問

- 一 何謂感電溜、成於何法、苟無磁氣、能成否、試證驗之。
- 二 一銅絲圈之電溜忽斷忽成、即感其旁之銅絲圈發感電溜、試解其理。
- 三 何謂自感、繞銅絲圈如阻力箱之所繞者、則與自感、有何關係。
- 四 第三百六十三圖之銅絲圈反轉之、則有何效。



第三百七十四圖

- 五 作環形啣鐵代那模之磁電環圖、顯銅絲之何分交割力線。
- 六 側路代那模有阻力箱式、與環繞電界而節制之之側路成級相連、試作圖以顯其地位、并解其作用之理。
- 七 電界磁鐵之鐵心、有何功用。
- 八 作四極代那模之圖、顯其磁電環必以何法連二刷、乃可令其機之弗打數、與任一對刷相同。
- 九 增代那模之速、則其關於電動力如何、并言其故。減啣鐵上傳電質之數、則有何關係。
- 十 試言以下各事、需代那模電溜之弗打數爲若干、(甲)熱光電燈、(乙)弧光電燈、(丙)電鍍金銀、(丁)電氣煖室。

## 實驗室功課

一 圓鋼條之外、繞銅絲圈、發大電溜過之、擊數下、則鋼條成長磁鐵、以第三十號銅絲旋繞多轉、作一圈、名曰查驗圈、套於條上、以便移動、取木塊二方、中間穿孔、適可緊套磁

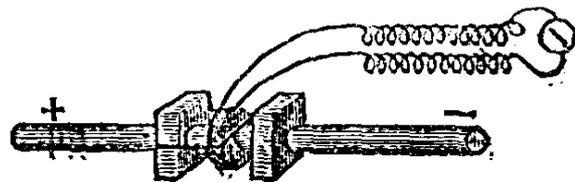
條置一塊於條之中央，又一塊相距四吋，中間置查驗圈，以橡皮帶繫於次塊，如第三百七十一圖，緩移查驗圈，向第一木塊釋之，則橡皮帶之縮力，使速過空處，而電表有微動之狀。次移二木塊距磁條之二端，各約半吋，而再試之，仿此迭於條之全體，一一試驗，并作曲線，以表查驗圈自磁條中點之各距，及其電表移動之數，有何關係。

二 取第十六號銅絲三吋，作銅絲圈，適可套於前法磁條之上，其二端連電池，置此圈於磁條之中央，又套查驗圈於條上，觀正圈之電路斷，則電表之移動若何。又以鐵條代磁條而再試之，則電表之移動，有何改變。

三 將德律風之收聲器，連於查驗圈而再試之。觀德律風可徵電表所得之功效否。

四 取鐵桿長一呎，於其二端，套一銅絲圈，連查驗圈於德律風，連正圈於電池，於其電環內，裝轉轍器，其圈必如何位置，乃得極大之感電，并言其理。

五 唧鐵上用反向器，電溜過之，成一方向，然未為完全平均之電溜，倘有浪動，可以考得之。法以第四課之銅絲圈，與德律風接聲器，連其大圈，於發正溜之代那模中，置成級



第三百七十一圖

之阻力以減其電溜連小圈於德律風持之近耳且令代那模發電溜過大圈則隱然聞聲其高低可定浪動之遲速其大小可定浪動之多少。

### 六 電氣致用

#### 電鈴

常用電鈴乃襲電磁鐵之理第三百

七十二圖示鈴與電環之聯法手抑吧鈕時電

溜由正立柱十圖中左邊而通過電磁鐵乃至吧

柱柱有一針穿之藉彈簧以附於磁鐵之脚鐵

又沿呻簧至負立柱電溜通時電磁鐵吸脚鐵

而電溜於吧點割斷於是磁鐵不再吸脚鐵呻

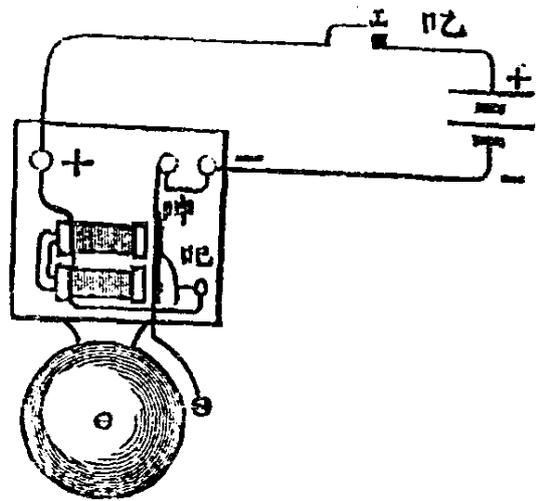
簧回倚吧柱電環又通於是手抑鈕時此鈴自

鳴不已如用一鈕而鳴二鈴或三鈴則諸鈴宜

平列若成級列之苟非擊時恰同則鈴鳴不能合法試言其故。

#### 電報

上節所言電鈴亦可達遠電報即以此法製之其理與電鈴同亦憑



圖二十七百三第

四三〇

電磁鐵也。其要件為總電池與電線、副磁鐵、本處電池與電環、響器、電鑰。

電鑰

第十三百七

者。總環內斷路之器也。多用

螺釘二枚，裝之桌上，與總電路連。其一枚與電鑰之底絕電，上端以鈦為尖。其又一枚與電鑰之桿相連，每次抑桿下行，而遇鈦尖，則電溜通過。電鑰不用以發信時，推入咀桿，令電路通連，可以收信。

四三一

總電池或為重率電池若干，或為代那模一具。凡長電線多用代那模。以其較便，且所佔地位亦較電池為少也。電線之二端，各有一總電池。

四三二

電線多為鐵絲，以玻璃絕電器架之桿上。在

此端之總局，其電池之正端，連於電線，負極連地。在彼端之總局，負極連於電

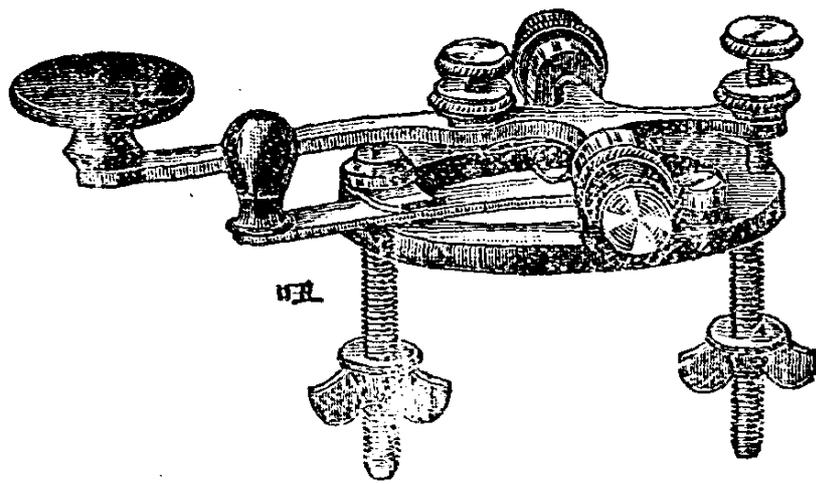


圖 三 十 七 百 三 第

四三三

線正極連地。其中間之諸局，電線祇連於副磁鐵之二極。

### 副磁鐵

第三百七十四圖

為大阻力之電磁鐵，與總路成級相連。其功用所以通斷本處之電溜，以節制響器也。觀第三百七十六圖，即可明其理法。

副磁鐵乃繞以細銅絲多匝，故總電溜雖甚小，亦能感有磁性。

四二四

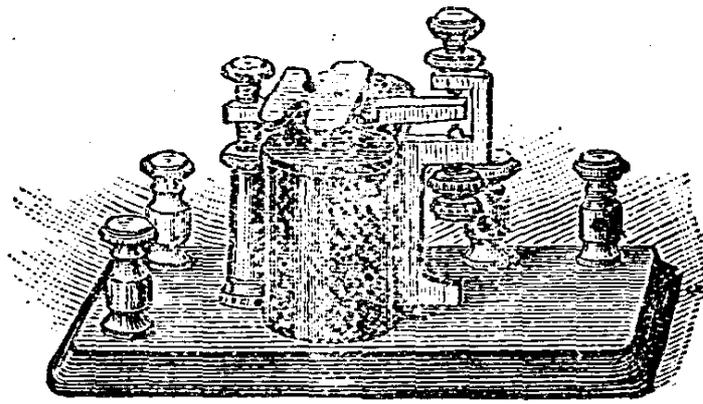
### 響器

第三百七十五圖

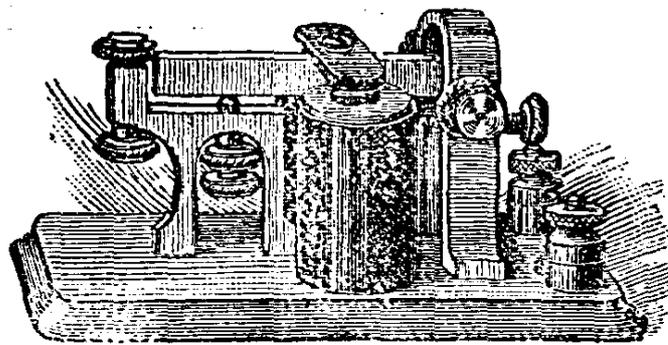
為本處電環內之電磁鐵，所以接信者。響器所繞之銅絲較副磁鐵為粗，匝數亦較少，因本處電池祇須勝響器之阻力，故電溜之匝數雖少，已足令電磁鐵吸引脚鐵。

### 電線之連法及用法

設第三百七十六圖為上海與蘇州之電線中



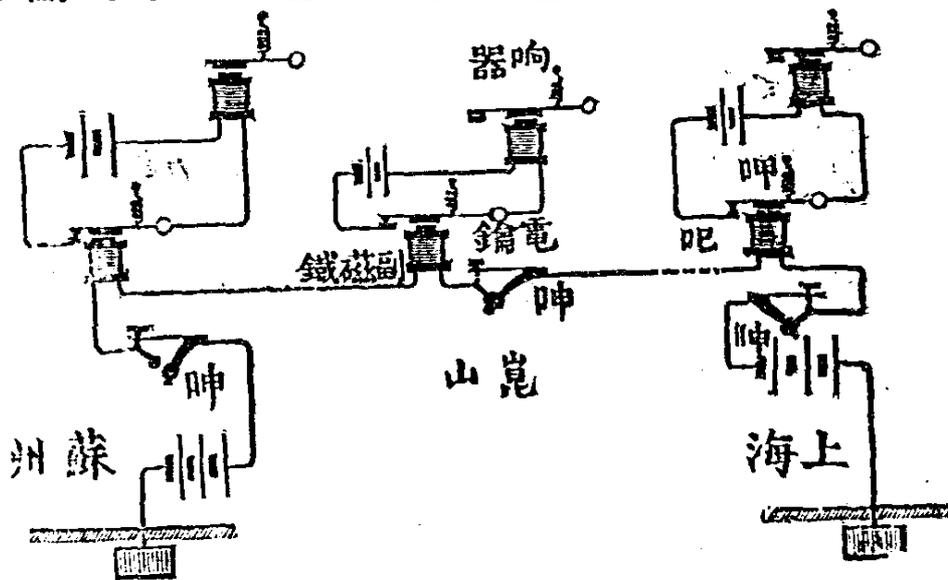
第三百七十四圖



第三百七十五圖

間崑山城設立輔局。圖式乃示自蘇州發信至上海。故上海之轉轍器閉，而蘇州之轉轍器開。蘇州之司報者，抑下電鑰，則全線之電溜通。至上海而過副磁鐵與電池，然後入地。其於副磁鐵內之作用，乃令其有磁性，吸脚鐵呷。當呷遇磁鐵時，與吧針遇，而吧針既連本處電池之一邊，故本處之電環成，而使響器吸其脚鐵。蘇州之司報者，手釋電鑰，不復抑之，則全電環斷，呷為簧牽回原位，本處電環亦斷。

自蘇州發至上海之電信，崑山亦可收接，因電溜之感中間副磁鐵，與上海無異也。如蘇州發電信至崑山，則蘇州司報人，必先發號



第三百七十六圖

與崑山司報人、待有回音、然後發報。

複電報者、同時以一線而發數報也。其二端之器械、位置合宜、使響器止能與彼端之電鑰相應。更有別法、可於一線同時發同方向之二電信或多電信。電報字母。發電信用莫爾斯字母、乃以點畫相并而成、其間稍息、每隔一字、則所息更長。

始用時、另製一器曰記報器、能將點畫誌於紙條之上、今各處電報局、多聞聲而能辨為某字矣。

### 莫爾斯字母表

A	--
B	----
C	---
D	---
E	-
F	---
G	----
H	----
I	--
J	----
K	---
L	—
M	---
N	--
O	--
P	----
Q	----
R	---
S	---
T	—
U	---
V	----
W	---
X	----
Y	----
Z	----

四二八

### 無線電報

無線電報之理，經近人馬高

尼發明，始完善可用。其要理乃藉棧考夫圈副

圈之火星發電浪，感動金類粉之阻力有變也。

發報處之器具，如第三百七十七圖。要件為棧

考夫圈一，以電鑰司其正電環之通斷，副圈之

二極為二銅球，發火星以成電浪，其一極又與直立銅絲通聯，銅絲之頂裝金

類片一，圈之又一極，有時亦藉銅絲以通地。

第三百七十八圖為收報之器，有二三箇池合成之連電池，成級而連於玻璃管。

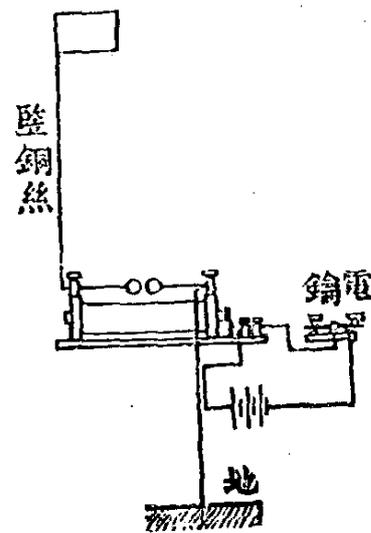
管內貯金類粉，用如等類所以受電浪之感動，兩處名

曰黏器，又有電報常用副磁鐵一，成級相連，其脚

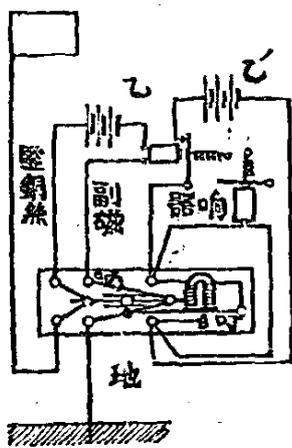
鐵所以通斷本處之電環。本處電環即連電池響

器與電磁鐵。其脚鐵叮，名曰失黏器。黏器之一，連

於直立銅絲，又一邊通地，與發報處之副圈同。



圖七十七百三第



圖八十七百三第

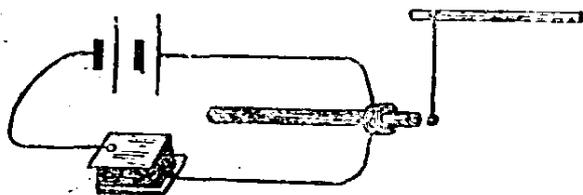
用器之法、先用發報器之電鑰通電路、則見火星躍過副圈之二銅球、即發電浪、過空氣而銜接報器之黏器。電浪既遇黏器、使其阻力、自絕電質而變為少數歐姆。乙電池之電溜過之、即使本處電環通、而乙電池發電溜過響器、即為誌號。同時電溜又過失黏器、使其唧鐵擊黏器、令阻力復為極大、故斷本處之電環。

此器發報之遠近、視器之優劣、及直立銅絲之高低。已經試驗而知其距、如銅絲之高成方正比。用一百五十呎銅絲、可發信

過英法二國間之海峽、計程三十二英哩。今已能過大西洋

**德律風** 試驗第二百零八 取第三十號絕電銅絲、繞於圈上、

將圈套於徑四吋長六吋之鋼桿上、使鋼桿微有磁性。連圈之一極於電池、又一極連方二吋之洋鐵片、片上鋪桴炭屑一層、厚半吋、炭上又置同式之片一、連於電池之彼極、另以薄鐵片剪小圓片一、下垂於磁鐵之前面、試擠二片間之桴炭、觀圓片有何動靜、更將電池之連法、反



圖九十七百三第

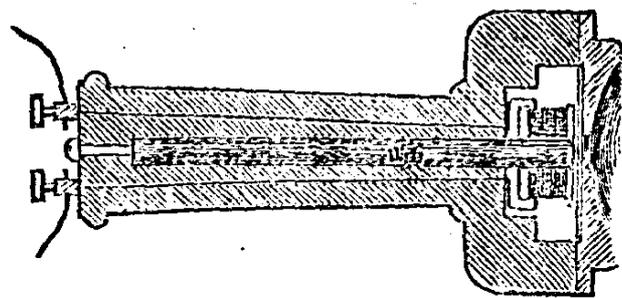
裝而再試之、更有何效、并解其理。第三百七十九圖

德律風者、傳語遠處之機也。第三百八十圖、為裴爾之接語具、亦即發語具也。噴為磁鐵條、於其北端之二旁、裝細銅絲、其前設圓薄鐵片、四邊輓住。自細銅絲圈、有銅絲連彼端二立柱。當電溜經過銅絲圈時、使磁條端所發之力線有變、而磁條吸圓片之力、或增或損。如線之彼端、有人向此同式之器發言、其聲使空氣有鬆緊、即令圓片顫動、而其距磁條端之距有變、故感銅絲圈、發電溜、通至接聲之處、過其銅絲圈、使圓片有相似之顫動、而令空氣或鬆或緊、故發原來之聲音。

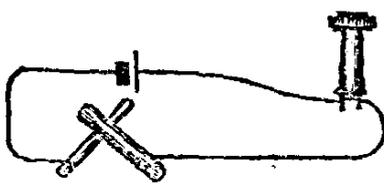
### 埋革風

試驗第二百零九 取德律風之接聲具、一柱連電池、

一柱連電燈所用炭精條、另以炭精一條、連電池之彼極、置此炭精之一於桌面、橫置又一條於其上、如第三百八十一圖、持接聲具、聽炭精



第三百八十四圖



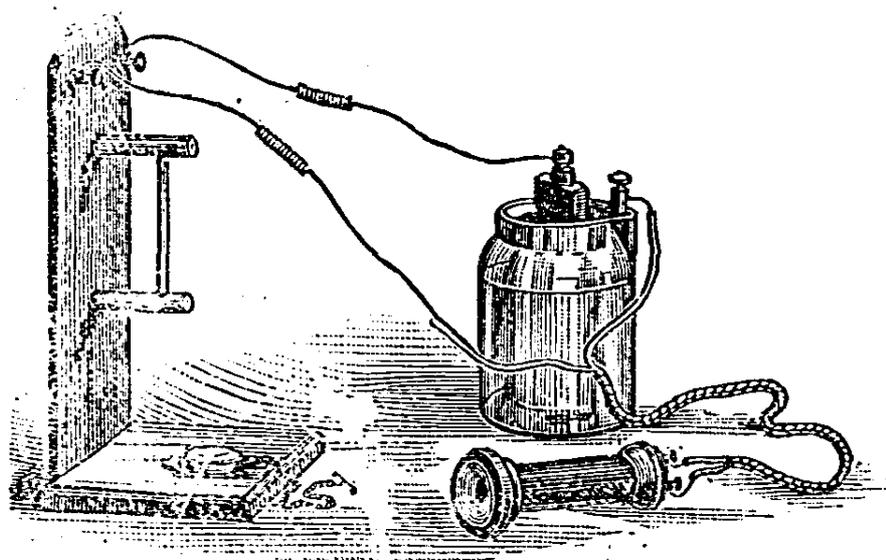
第三百八十一圖

移動時所發之音、此聲表電溜之改變、而電環內所有之改變、祇在炭精切處之阻力而已。

埋革風為放大微聲之器。其要理即因電環內阻力有變、則電溜亦有變也。常用之式、如第三百八十二圖、底為助聲木板、連以直立木板、橫伸炭精筆二、每筆之內邊、作一小穴、以支持一略小之炭精筆、又與簡電池及德律風接聲具、成級相連。近之而作微聲、則聲浪感板、使炭精之切點有變、在接聲具聞其音、宏大異常。

**埋革風傳聲具** 常用之傳聲具、式同

埋革風、名曰裴來克傳聲具。此法須於總電線內、備連電池。第三百八十三圖、為德律風



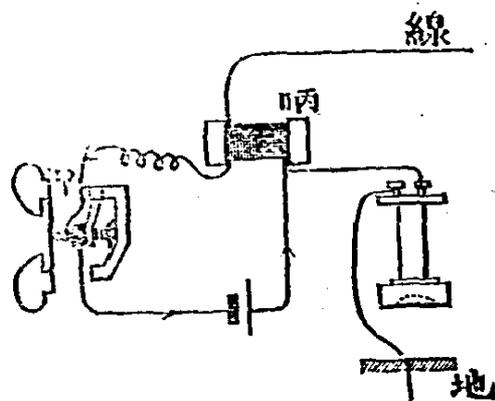
第三百八十二圖

局內此具之裝法。傳聲具有一口件，其後為軟鐵圓片，鈦尖緊貼此片，以簧繫之。又有申簧與前簧絕電，繫炭精一小塊，使係於鈦上。炭塊一邊連簡電池之一極，又一邊連申簧，電環之內，另有感電圈之正圈。其副圈之一端，連總電線，又一端由接聲具而入地。人向口件發言，則空氣顫動，使圓片同顫，令鈦與炭之壓力有變，故經過正圈之電溜亦有變，即感副圈有電溜，為線傳至彼處之接聲具。

如用銅絲代地為回路，則所得之功效更優，蓋用銅絲為回路，則可免為近線別電溜所感動。如四電溜及電因二絲之上，同有感電而其功效互相抵消也。用二絲則音更清晰，美國紐約與施嘎哥二大城之間，有長德律風，亦用雙線，甚為合宜。

### 電光

電光亦電溜之要用也。其燈有二式，曰弧光，曰熱光。發電溜之法亦



圖三十八百三第

有二式、或用正向電溜代那模、或用交換器。

### 弧光

試驗第二百零十 電池之二極、連銅絲各一、一端繞銼刀、又一端磨其面、則見火星迸裂。

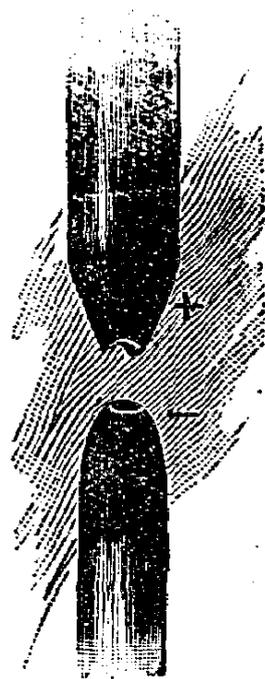
上法所試之火星、即銅絲之微點燃燒而為小弧光。市上通用之弧光、乃令電溜經相距不遠二炭條之間而發。常用之弧光、當有電勢較四十五至五十弗打、其過弧之電溜為九安培或十安培。

第三百八十四圖、為二炭條之式。上條即正條、較負條為熱、且當電溜過時、炭變白熱、有躍過而為傳電之路者、故正條之中央、漸作杯形、為人力所製光熱之最。

### 弧光電燈之機械

第三百八十四圖

弧光燈之炭條漸消、則弧增長、而阻力加多、所過電溜不足、光明即損。欲使經過之電溜恆而不變、則弧長亦當有定。



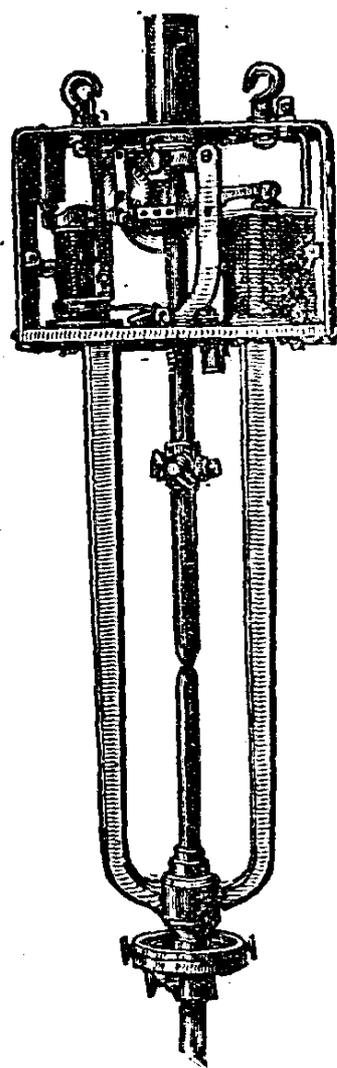
第三百八十四圖

法以電磁鐵一對、其一與電溜成級相連、其一為弧之側路、當弧加長時、則多有電溜經過側路、能使炭

條移近、故弧短而側路圈之電溜有減、成級圈之電溜有增。如二炭條過近、電溜過多、則成級銅絲圈、能使略為移開。於位置合宜之電燈內、以上諸作用甚微、而其所發之光、穩定不搖。

弧光燈常成級連之、觀其環內之燈數、可定代那模二極之電勢較。如某電環內有燈二十六、各須四十五弗打、則代那模須發一千一百七十弗打、其外尚須增發電溜過總路銅絲之力。

近製弧光燈、用不洩氣之小玻璃圍弧及炭條、則炭之消損、較前法為緩。封閉弧光燈之用於一百十弗打熱光電環者、須電勢較八十弗打、其電溜為四安



第三百八十五圖

培至五安培。

### 熱光電燈

### 正電溜

試以大電溜經細銅絲，則銅消鎔，如過鈇絲，則

不鎔而熱甚，其光燦然。熱光電燈第三百八十六圖為一

玻璃泡，底內封入鈇絲二，上接炭精圈，未封之前，

先抽去泡內空氣，放電溜過之，則炭精發光，然不

燃燒，因泡內無空氣也。此燈用若干時，則炭精漸積於泡之內面，收蝕所發之

光，宜另易以新者。

### 熱電環

熱光電燈乃與代那模之總銅絲平行

相連。第三百八十七圖，即表熱電環之理。先轉代那

模，令其二極之電勢較為一百十弗打，乃開電環內

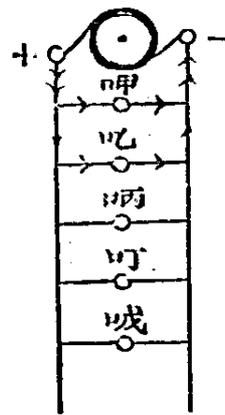
之燈。凡一百一十弗打之燈，其熱阻力為二百二十

歐姆，故各燈需電溜半安培也。二燈三燈或卯燈之平行阻力，祇為一燈阻力

之 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{3}$ ，或 $\frac{1}{n}$ ，則同一代那模能燃一燈者，亦可燃若干燈。如能製無內阻力之



圖六十八百三第



圖七十八百三第

四三七

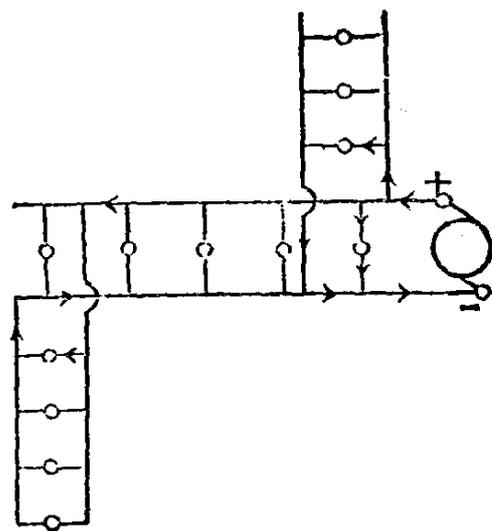


圖 八 十 八 百 三 第

代那模，則其所燃之燈，為數甚多，然此為必無之事故，故其燃燈之數，因內阻力及反動力而有定限。一代那模可連銅絲若干羣，每羣於總電線之任一點，接連銅絲，其粗足以引電溜以為本羣之用。第三百八十八圖線內之圓拱，即指二引電質互交而不相觸，或二者互相絕電也。

### 三線法

愛狄孫瓶三線法以減分支之費。法用同類之

代那模二，成級相連，第三百九十九圖其總銅絲一連第一代那模之正極，一連第二代那模之負極，另以第三條銅絲連於第一代那模之負極及第三代那模之正極。如中銅絲二旁之燈數相等，則此絲不傳電溜。但如一邊有五十五燈，則其所傳電溜，可供五燈之用。中銅絲每置於地內。

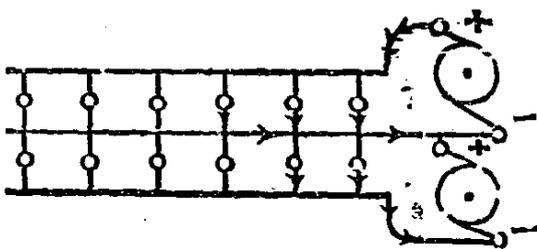


圖 九 十 八 百 三 第

熱光電燈罕有於正溜電環內成級相連者。若於電車內。而有五百弗打之電環。則五燈各有百弗打。或十燈各有五十弗打。常成級相連。

**熱光電燈 換向電溜** 換向代那模者。

所以發電勢較也。故必設法變其弗打。合於電燈

之用。所用之器曰轉運器。適為棧考夫圈之反面。

蓋其要旨。在變高電勢之溜為低電勢也。轉運器

之理。如第三百九十九圖。自代那模而發之電溜。流

過細銅絲之長圈。內有鐵心。所以增其磁界。圈之

外。又有一銅絲。同繞鐵心。其絲短而較粗。圈之二

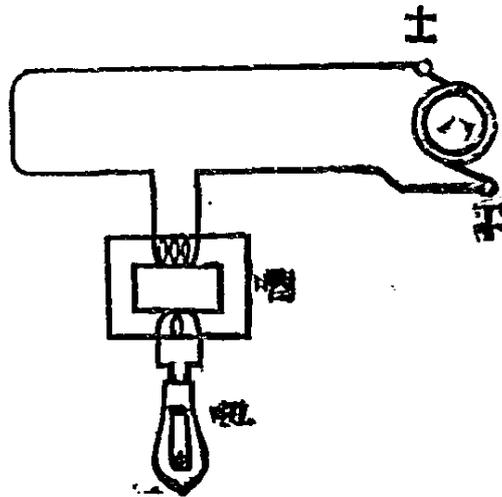
極。連所燃之一燈。或諸燈。二圈內銅絲之粗細及長短。乃按代那模所發及燈

所需之弗打數而定。街市所用之燈。時以二十成級。各有一側路箱。如一燈熄。

則側路箱內之銅絲圈。傳過電溜。電燈熄時。每聞赫赫之聲。即此故也。

**電動機**

前文已言攜銅絲過磁界。交割磁力線。則銅絲內發生電溜。反之



第三百九十九圖

亦然。如發電溜經過磁界內之銅絲，則銅絲旋轉，其方向正與發電溜之方向相反。五十馬力之代那模，未發電溜時，一人能以隻手旋轉之，蓋所勝者祇阻力而已。迨代那模疾轉而發電溜時，則非用汽機不能旋轉，此因傳電質攜有電溜，經此無形之磁力界，必需大力以為推移也。

電動機之能力，即在此磁氣之滯力，常用之代那模，可反用之，作電動機。電動機之用甚多，自得其法，而運動機械之法，大有進步。

代那模或電動機之電動力，係乎三事：一、速率，二、傳電質之數，三、交割力線之數。其關係以下式表之。

力  $\parallel$   $\frac{1}{8100}$  卯

(59)

式內卯為每秒轉數， $\parallel$ 為脚鐵傳電質之數， $\omega$ 為每傳電質所交割之力線數， $10^8$ 為常數，所以變合數卯 $\parallel$ 為弗打數。

### 習問

一 傳電質交割力線之方向，可定感電溜之方向，以何法證之。

- 二 常用之感電圈爲升位之轉運器、電燈所用之轉運器、爲降位之感電圈、試解其理。
- 三 耶根光線與常光線何別。
- 四 作二極代那模之豎剖面圖、表明三事、(甲)電界磁鐵、(乙)唧鐵心、(丙)經過電環之磁力線方向。
- 五 作二極之環形代那模圖、其唧鐵之繞法、依電界磁鐵南北方向、試證其電溜之方向、及唧鐵旋轉之方向、又言其刷之地位、且以正負號誌之。
- 六 試作圖以表二電鈴之連法、致抑一鈕時、二鈴同鳴。
- 七 弧光燈需九安培之電溜、及4.5.8弗打之電勢較、乃可燃之、則其阻力若干。
- 八 設有如前問內之燈二十有五、成級連於一線其長一哩、電溜以第十號銅絲見附卷銅表傳之、代那模內阻力爲3.2歐姆、(甲)則燈之阻力若干、(乙)全阻力若干、(丙)機之二極電勢較若干、(丁)機所發之工程、用以燃燈者若干、(戊)用以加熱於銅絲者若干。
- 九 今有二千弗打之電機、於銅絲內失力十分之一、則可燃成級相連之五十弗打電燈若干。

十 今有封閉之弧光電燈，須八十弗打及4.5安培乃能燃，(甲)則其阻力若干，(乙)

如連於一百十弗打之電環，則必增其阻力若干，乃可傳過合宜之電溜。

十一 今有五十弗打電燈二，各須八安培成級連之，橫過一百十弗打熱電環之二極，則必置若干阻力，與之成級相連。

十二 今有弧光燈，需四十五弗打及9.5安培，則所用瓦德若干，設有三十馬力之汽機，其力百分之九十，用於電燈，則可燃燈若干。

十三 一百弗打十六燭力之電燈，其熱阻力為一百九十二歐姆，則必需若干安培，乃可燃，每燈有瓦德若干，每燭力有瓦德若干。

十四 如五十弗打十六燭力之電燈，所需之瓦德數，與一百弗打十六燭力之電燈同，則其所用之電溜為何數，其阻力若干。

十五 今有代那模，轉至某速率，則二極有電勢較一百二十五弗打，而發2.45安培過電環，則此環之阻力若干。

十六 愛狄孫代那模有電勢較一百零五弗打，能發電溜三百二十安培，其唧鐵之阻力為0.1歐姆，(甲)則經過唧鐵之電勢降若干，此數名曰失，去之弗打。設用此

機之電溜、以煖房屋、(乙)求熱電環內之阻力、(丙)於十五分時、能發熱若干。

十七

邨伯代那模有電勢較一百零五弗打、能發電溜二百安培、其啣鐵阻力爲 0.2 5 歐姆、(甲)則其外電環內用瓦德若干、(乙)在代那模內用瓦德若干、(丙)用於代那模內瓦德之功效如何、(丁)於機之工程、助之歟、抑阻之歟。

十八

愛狄孫三線法之一邊、燃四百熱光電燈、其又一邊燃四百二十六熱光電燈、各燈需一百十弗打及 5 安培、則中銅絲所傳之電溜若干、如多數之燈連於正極、則正銅絲所傳之電溜若干、負銅絲所傳若干。

十九

二安培之一千弗打換向電溜、發過轉運器、其器之功效爲百分之九十八、則能燃若干五十弗打之熱電燈、每燈需電溜一安培。

二十

今有二極代那模發一百十弗打、其啣鐵有八十傳電質、每分旋轉七百五十次、則其磁電環內有力線若干。

## 實驗室功課

一 取木板長三十吋、廣十五吋、裝二鈴、置二鈕其上、設法與電池連、俾任抑一鈕、則二

鈴俱鳴。

二 自實驗室此隅至彼隅、沿壁裝電線、二隅之架上、置電報器、致可久而不移、每日演習數分時、迨熟練莫爾斯字母、可發報而止。

三 取起落電池三、成級連之、以長二十呎銅絲連於一立柱、以短銅絲連其又一立柱、令二絲相觸而又離、觀其火星

跳過、次將長銅絲繞於竿上而再試之、則所躍之火星與前比較何如、并解其理。

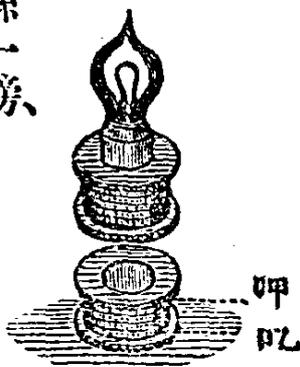
四 如能近五十弗打之換向電環、則以絕電之第十八號銅絲一磅、作銅絲圈、連之於五十弗打電燈之底、再繞相似之銅絲圈一、乃置燈

及圈於其上、試觀其功效如何、更置軟鐵心於二圈之內而重試之。

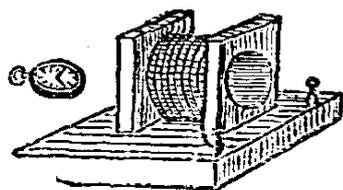
五 取絕電之第十六銅絲二磅、繞於木竿之上、竿有口、徑二吋、置之木板上、令銅絲圈之二端、連於立柱、發換向電溜過圈、則置凡有磁性

之物、如時表於圈之中間、而緩抽出之、則可去其磁性。第三百九十二圖

六 製鑄炭強礬液一高倫、使其重率為1.2、加礪沙半磅、貯之電池



圖一十九百三第

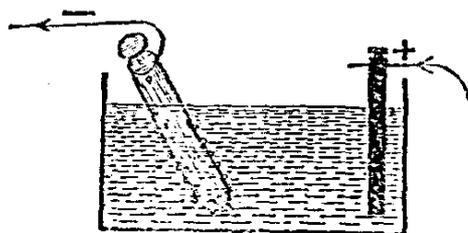


圖二十九百三第

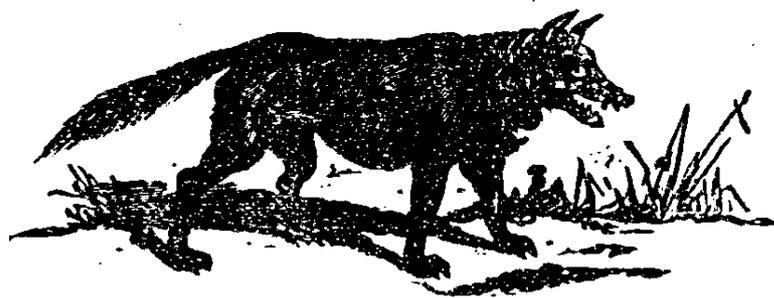
瓶內、取鉛片一、連於發電一百弗打至一百五十弗打之代那模正極、浸鉛入液內、連鐵條一於其負極、浸其端入液內、試解其作用之理。

第三百九十一圖

七 仿上文所言、用照片作圖之法、以試各種物質收食耶根光線之能力、於絕電之球上、裝以電氣、乃令耶根光線照之、少頃、試其電之有無。



第三百九十一圖



## 第十章 光

### 一 光之性質與濃率

四四〇  
光爲一種體性作用，其效足感眼腦衣，而激視官之觸覺，其作用乃因以太之顫動。此格致家屢經試驗確有把握之說也。

四四一  
以太之性 人之五官不能感覺以太，今祇能言其所有之性質。以太爲物緊密而具躍力，他物可代入其地位，亦有壓力施於他物者也。以太如極稀薄之稠質，能透各種物質，雖最密者亦能透過，一如細篩之經空氣也。其質輕甚，故無可覺之重。受光源之感而顫動，傳向六方。

四四二  
發光體謂體之能發光者，率以指自能發光之物。透明體者，光透之而能見其後之物影者也。光透一體而分散，不能隔之而見物影，則曰半明體。如其體全爲阻光，令不能透，則曰阻光體。

分物體爲阻光半明諸類，原非允當，蓋透明體積成厚層，則此光甚多，有若阻

光體。阻光體之薄片，有時亦可透光。

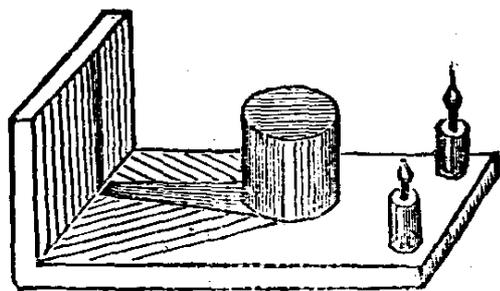
試驗第二百十一 置金箔一紙於二薄玻片之間，向窗視之，則不僅可見其透光，且因其傳過之光，而見金綠色。

### 光之傳佈

光線者，由明點所發之一光線也。自一源所發之數光線，合名之曰光筆。諸線平行，則曰平行光筆。自一點散開，則曰散光筆。遇於一點，則曰聚光筆。

傳光之居間體濃淡不變，則光之傳佈方向為直線。日光經百葉窗而入暗室，為直線之傳佈。觀室內之飛灰，可見其路。平行光線經過空處，並無飛塵，非人目直對光源，則不能見。空氣經過紅熱之管，再經過棉花塞，則清而透明。試驗第一百二十一 取木板一，長約二呎，廣八吋，中間豎立木柱一，徑三吋，高四吋，近板之一端，蠱立一燭，相距四吋，觀其所射於板上之影如何。

第三百九十四圖



第三百九十四圖

### 闇虛及外虛

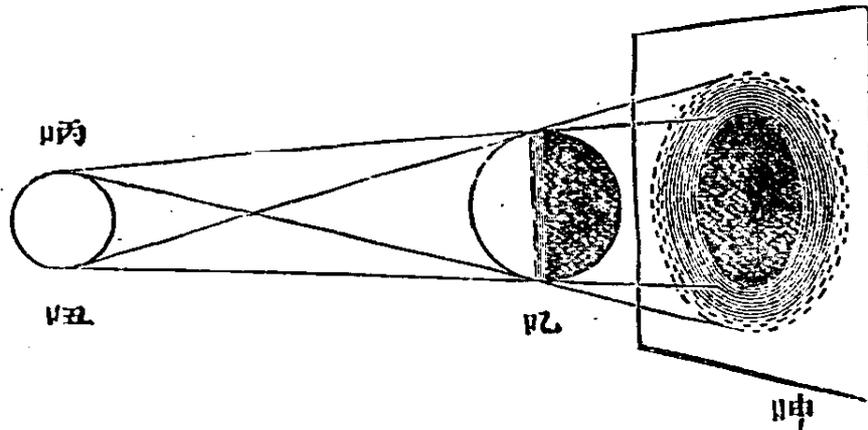
試驗第二百十二、中間交蔽之

黑影曰闇虛。外邊一燭所成之影曰外虛。光源甚小，僅一點，則其影盡為闇虛。光源較大，則闇虛半為外虛所圍，或全為所圍。第三百九十五圖，即顯其理。光源為明球，阻光體為較大之球，於呻屏上，見有圓闇虛，其外邊可以直線圍。二球之外，為同邊之切線，如圖內呬。其外尚有外虛圍之，其邊亦為二球之切線所限，唯此切線，則互在二球之反邊，如圖內呬。當闇虛之邊際，外虛幾暗如闇虛，向外漸淡。如於屏上外虛之內，穿一針孔，以窺呬，則見其如日之偏蝕。

### 成像之理

像者，光線自某物來，所成一物之

幻體也。光經小孔而成物像，恆為顛倒。如第三百九



第三百九十五圖

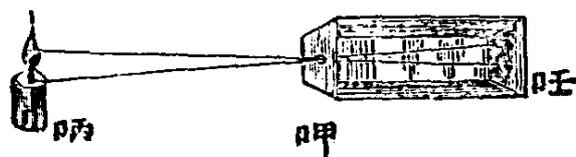
十六圖、燭光必循直線、穿呷穴以抵箱之彼邊、旺、故其像自倒、此即針眼照相之理也。

試驗第二百十三 作一木匣、內方八吋、長一呎、於一邊之中央、穿小孔、黏錫箔一片、置匣於暗室內、燃燭其中、針刺錫箔作小穴、置屏其前、屢移遠近、試觀屏之位置與像之大小、有何關係、改錫箔上穴之大小、而再試之、觀其像有何改變。

如刺錫箔為相切之諸穴、終則并為一穴、其徑半吋、則見穿過之光成光源之疊像。

試驗第二百十四 取前法所用木匣、在錫箔之對邊、鋸三吋見方之孔、嵌以糙玻璃一方、環釘黑布一方、在前穴另易新錫箔一片、刺穴頗粗、持以正對有光之物、而觀其所成之像、觀時宜以黑布蒙首、以隔日光。

光之速率較種種物質之速率、速至不可思議、故古來以為一發即至、無需時刻。西歷一千六百七十五年、丹麥天文家羅墨耳測木星之月、始得光之



第三百九十六圖

速率。蓋木星有四月，其一繞木星，每越四十二小時二十八分三十秒，此數為入星之影內一次，羅氏考得地於其軌道內，自地至地，為時六月，則此數加長，共十六分三十六秒，由此悟得光經地軌道之徑，需時十六分三十六秒，即每秒速 186 000 哩，亦即 484902 里也。第三百九十七圖

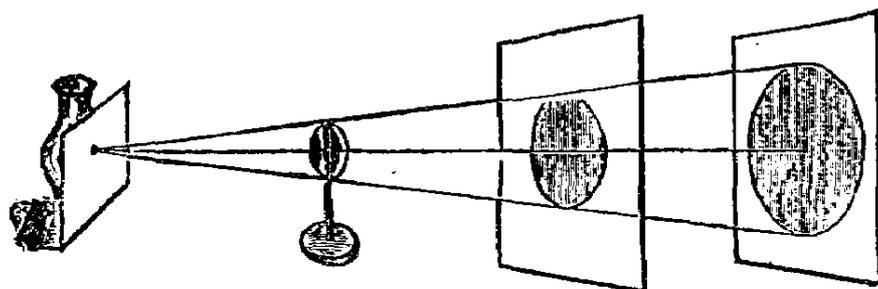
自後屢有格致家用多方定光之速率，所得者俱與羅氏之數彷彿。吾輩以意想計光之速，知其每秒能環繞地球七次有半。

光之濃率者，光照於面積準箇上之多少也，因光源之大小、光距之遠近、光線射面之角度而異。

試驗第二百十五 如第三百九十八圖，小屏中穿一孔，置燈其外，則光射入，距之一呎，置徑一吋之圓片一，距二呎處置屏，則圓片之



圖七十九百三第



圖八十九百三第

影徑必二呎、而面積四倍原物、移屏至距光三呎之點、則影之徑三呎、而面積九倍原物、屏上影之面積、皆圓片所隔之光也。

### 光之濃率之例

一 凡面上光之濃率、如其與光源之距平方反比。

二 光之濃率與射角之餘弦正比、故光線正照時為最濃。

試驗第二百十五、可證明第一例。今再解之、設光源之外圍以空球、其徑十呎、則其面盡收所發之光。如球之徑為二十尺、則全光必為其內面所收、而其濃率如球面之反比、為  $4 : 1$ 、但與光源之距則為  $2 : 1$ 、故第一例云云。

度光法者、所以測諸光相與之濃率、其準箇為鯨油所製之燭、重六分之一磅、每小時燃一百二十哩。此法雖非盡妥、而通用計光之濃率、恆以燭數為準。試驗第二百十六、木塊穿孔、挿一鉛筆、矗立紙屏之前、相對置燭與燈、使筆之二影、近而不合、乃移燭之位、迨二影等暗而止。第三百九十九圖 度燭與燈各距屏之數、即可推燈之燭力。

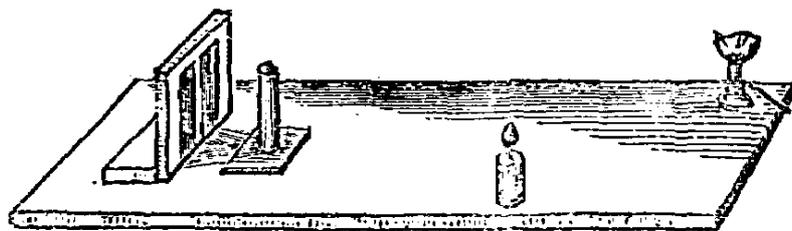
此法須於暗室中驗之，所用器具名曰倫傅德光表。

試驗第二百十七 取鬆紙一張，中間滴已鎔石蠟一點，在燈上加熱，迨其點之徑約為半吋而透明，取厚紙片一，中割徑三吋之穴，黏鬆紙於其上，令蠟點在中尖，乃直立之，一邊置用為準則之燭，一邊置所測之光，位置合宜，自一邊觀紙上之蠟點，俱與紙等明，即可度二光距紙之數，而求光之燭力。

此法曰本生光表，宜於暗室中試之。

### 習問

- 一 有三事，(甲)日之全蝕，(乙)日之偏蝕，(丙)月之全蝕。試繪圖以表日月地之方位。
- 二 光穿暗室之小穴，成物像於彼壁，試繪圖以解其理。
- 三 裝木球於銅絲之上，觀其所成之影，有何變狀。
- 四 取圓木片或紙片仿前法，試觀此二試驗之功效，有可發明地形者否。



圖九十九百三第

五 太陽之面有大變動、則地面需若干時而後見之。

六 最近之恆星、其光至地、需時四年半、其距地之數、較太陽距地若干倍。

七 新聞紙距燈六呎、吾能閱之、如距十六燭力之煤氣燄九呎閱書、與之相等、則此燈有若干燭力。

八 今有十六燭力之熱光電燈、令樹成影於二十呎外之牆上、如有弧光燈較遠一百呎、其成樹影、暗與前同、則有燭力若干。

九 地球多受太陽之光、在西正月抑在西六月、其故安在、試作畧圖顯之。

十 本生光表之二邊、置十六燭力之燈與三十二燭力之燈、當蠟點與紙等明時、二燈相距百呎、則表之距二燈、各爲若干。

十一 持方二吋之紙片、距目二呎、正遮牆上二呎之方面、則牆之距身若干。

十二 直持鉛筆、距目二呎半、其三吋正遮一百五十呎外之樹、則樹之高若干。

### 實驗室功課

一 持鏡於日光下、將粉板之刷敲之、令飛塵滿於鏡下之氣內、試觀自鏡至光心爲聚

光筆、光心之外為散光筆。

二 插粗銅絲入球內、在暗室中旋轉之、使其受燈光所照之面、迭表太陰自朔至望之諸形、且作圖以表視者及燈光與球之各狀。

三 作一木匣、內容方四吋、長二呎、一端裝洋鐵片、中間穿小圓孔、次割糙玻璃一方、四邊裝木框、令其大小適可溜過木匣、第四百圖糙玻璃之上、用銳鉛筆劃成小方、每方邊為四分之一吋。木框之底、裝一長柄、如圖可抽玻璃、進退如意、柄上劃度分、於是鉛片之孔與糙玻璃片之距、可一覽而知、令匣向窗、試數窗像佔小方若干、觀小穴與糙玻璃片之距若干、度量之四邊推算窗距糙玻璃片當為若干呎、後再度量以徵實之。且可用以度樹之高。

四 作一木匣、內容方四吋、長三呎、距其一端九吋之處、黏一木塊、甲剖面為等邊三角

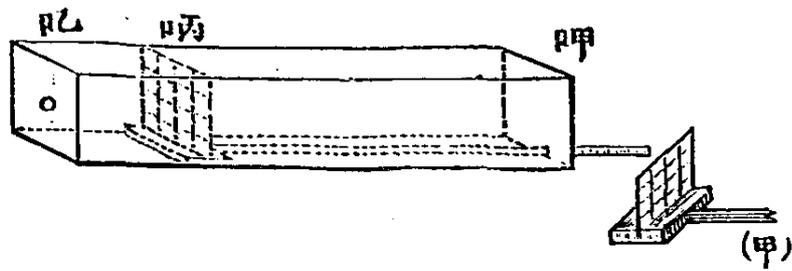


圖 四 百 第

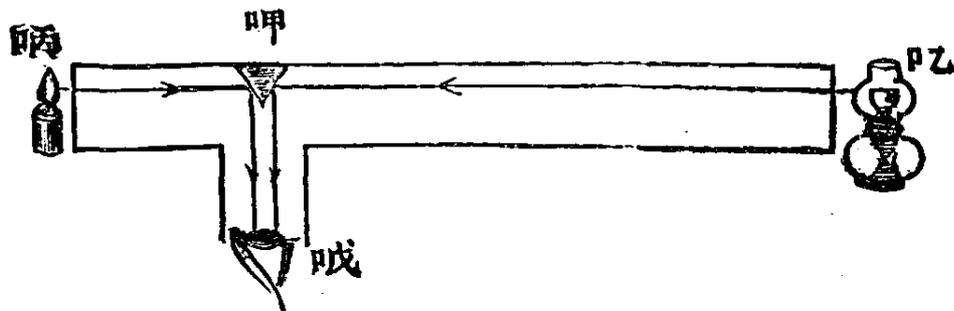


圖 一 百 第

形正對此處有側匣第四百零一圖匣處黏以白紙，兩處置一燭，吃處置一燈，人目自吸觀之，呷之二邊光明適等，乃推定燈之燭力若干。如匣之內面及其旁管，俱漆以深黑色，以松香油與食相和則作光表尤妙。

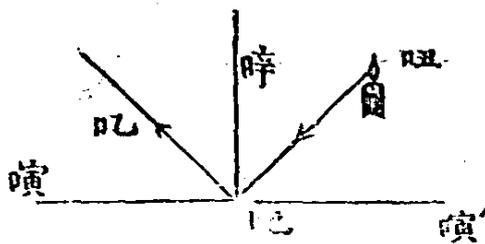
五、仿前法作本生光表之匣，裝噴噴二鑑成角，目可於同時見一點，在二邊之反影，則餘光俱可割絕，而屏之兩面易於比較。第四百零二圖

### 二 返光

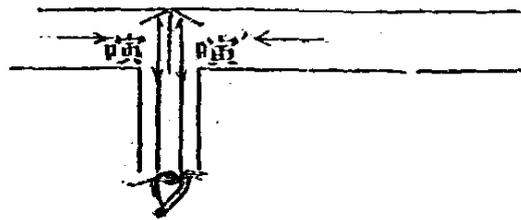
**返光** 試驗第二百十八 暗室小穴內，放入日光一縷，置鑑當之，

於空中散粉筆之屑，可見返光亦為直線，而其方向，則隨光線遇鑑面之角而異。

如第四百三圖，呷為光源，噴噴為返光面，吃為光線相遇之點，則呷吃名曰射光線，吃吃名曰返光線，呷吃呷角曰射角，吃吃呷角曰返角，吃呷為光遇面處之垂線。射角返角之相關，可以下法定之。



圖三百四第



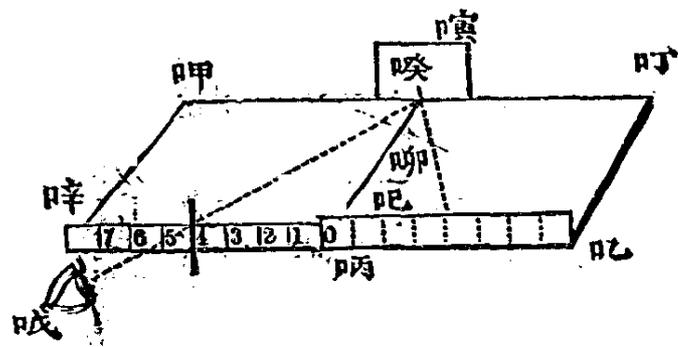
圖二百四第

試驗第二百十九 取木板長一呎，廣八吋，第四百零四圖其呷叮與呷  
 吃二邊平行，呷叮邊之中央，設噴鏡，對邊呷吃連紙片一條，其一  
 半呷呷，較餘一半呷吃，高四分吋之一，於呷呷一半，自呷至呷，按  
 圖內之數分之，而於呷吃一半向鑑之邊，亦按等數自呷至吃分  
 之。自呷作吧唧線，與鏡正交。於鏡之後面劃一細痕，使吧唧線正  
 對此線。次置目當呷，手持小針，正合呷呷之分線如4，自呷呷邊  
 之上觀之，則見呷吃邊何線之像，正合過針入目之線，試之數次，  
 言其定例。

### 返光之例

- 一 返光角等於射光角，而在同平面內。
- 二 射角返角所在之平面，與返光面正交。

**散光** 光線遇糙面，不能循次返射，則亂射而成散光。吾人所以見物者，常  
 因散光之故。



圖四百四第

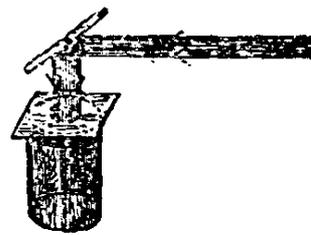
試驗第二百二十 如第四百零五圖、玻璃滿水、和乳數滴、置暗室內、上蓋紙片、中間作圓孔、透日光一縷入室、手鏡返射之入甬內、則水內乳球之散光、能令全甬明亮。

**平鑑與其所成之像** 平鑑者、返光之平面也。如水之平面、即平鑑之一。物在平鑑之前、鑑後即有幻像。人目必

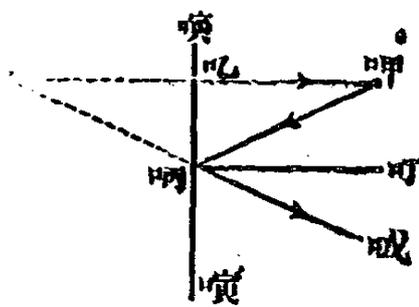
當合宜之位、乃能見之。因物像之方位、即返光線射來之方向也。所以稱為幻像者、以其感目之功效、使人如覺像之誠在彼處也。以形學理推點之像、其法如左。

**求點之像** 命呬第 四 百 零 六 圖為所求像之點。夫返光角

既等於射光角、則與面正交之呬呬光線、返而為呬呬方向、而呬之像必在呬呬或呬呬之引長線內。又一光線呬呬、返而為呬呬、其返光角呬呬、等於射光角呬呬、而呬之像必在呬呬或呬呬之引長線內。呬呬與呬呬二線



圖五百四第



圖六百四第

在鑑前漸相遠，其交點惟在鑑後呬點。

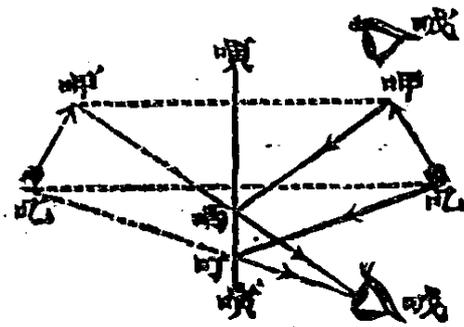
按圖知呬呬與呬呬兩三角形，為句股形，同用呬呬邊，因呬呬呬等於呬呬呬，故呬呬呬等於呬呬呬，但呬呬呬又等於呬呬呬，故呬呬呬等於呬呬呬，而兩三角形相等，即呬呬呬等於呬呬呬。是即謂點在平鑑內之像，乃在其點至鑑之垂線內，且在鑑後，適等於物在鑑前之距。

### 求物之像

設其物為一桿，如第四百零七圖中之呬呬箭，則所求者，祇為其二端之像，蓋中間諸點，自在連此二點之直線上也。光線入目呬之路，可求呬呬二點而顯之，即呬與呬二點直線，至目與鑑面之交點也。如是則射光線為呬呬與呬呬，返光線為呬呬與呬呬，當人自在呬處，所用鑑面，祇為呬呬。

設人自在呬，則像仍在原處如前乎。所用之鑑面仍如前乎。

試驗第二百二十一 橫置平鑑於桌上，置燭於鑑之彼邊，目視其像，見橫置之鑑，令物



第四百零七圖

像顛倒若何。

試驗第二百二十二 平鑑倚牆直立，人立其前，距之若干，見鑑內得己身之像若干，近之，則所見者是否較長，並解其理。

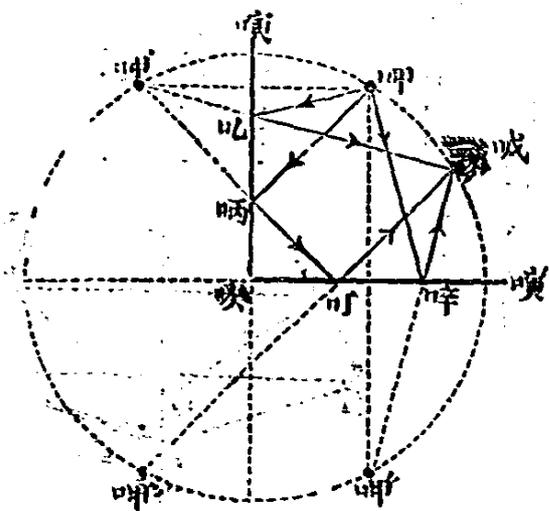
試驗第二百二十三 立於平鑑之前，而舉右手，則像舉何手，正立之鑑，令像有何相反。

二鑑成角而成多像 二鑑相交成正

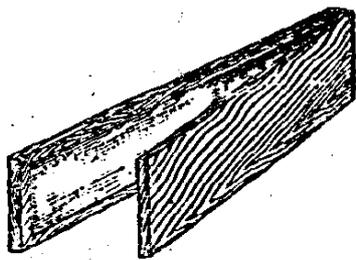
角，如噴噴，第 四 百 零 八 圖物在呬處，人目在呬，則於噴

鑑內見呬像，噴鑑內見次像呬，又見第三像呬，乃噴鑑內呬像，在噴鑑內所成之像。此諸像之方位，可按平鑑內求點像之法而得。光線入目之路，可按圖而得之。

二鏡之交角，小於九十度，所成之像愈多，取二鏡按第四百零九圖之法聯之，豎立桌上，改變其間之角度，則可明交角



圖八百四第



圖九百四第

與像數之關係。

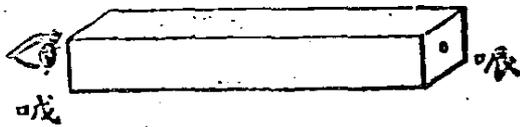
試驗第二百二十四 於雙聯鏡之交角為六十七度時、定其所成之像若干、又四十五度時三十度時、各為若干。

二鑑平行而成多像

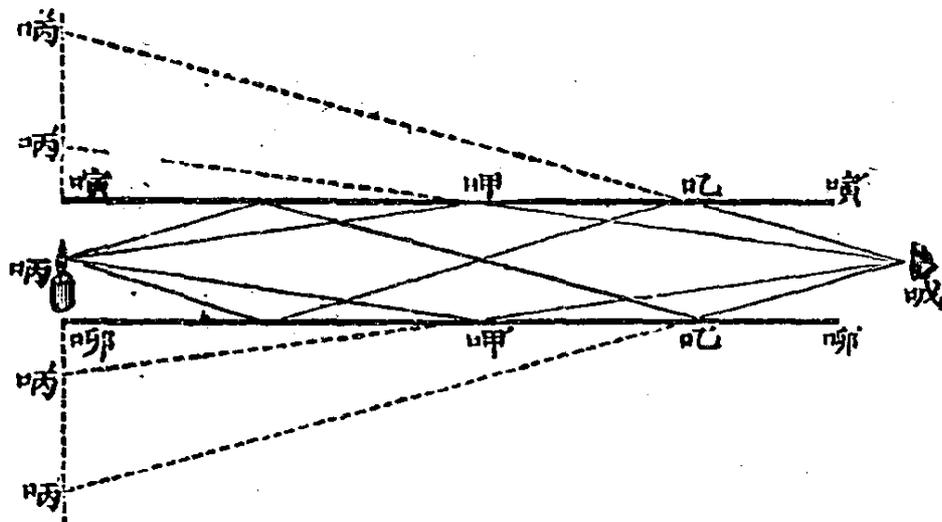
如噴噴與唧

唧二鑑平行相對、置燭於兩、人目在吡觀之、則見數像、一次返光所成之像、則在吡呷方向、其在吡呷者與之等明。二次返光所成之像、乃在吡呷與吡呷方向。人目見燭如在兩與

試驗第二百二十五 於木匣或紙片匣內、置長而窄之鏡四、連於四邊、蔽其



圖一十百四



圖十百四第

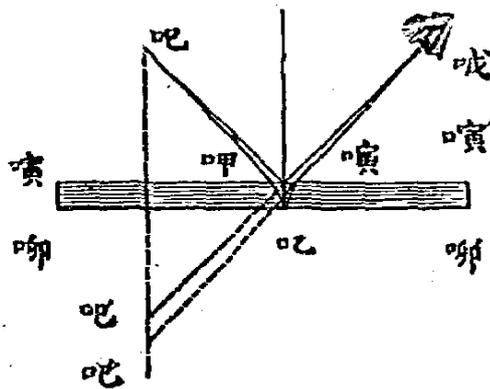
一端中穿小孔第十四百圖置目於又一端向窗視之見四邊之像不同如不能得鑑則以玻璃之窄條背糊黑紙代之。

試驗第二百二十六 目窺前管以手指蔽開口之邊觀其各像之同邊受蔽與否由此可定各像受返之次數。第十四百圖

試驗第二百二十七 擇一玻管長十八吋徑為半吋或四分吋之三周以錫箔裹之其外又糊以紙蔽其一端中穿小孔置目於彼端向光窺之何以見孔之像成圈最明之圈何在試言其故餘者何在更言其故。

一鑑而成多像 光任自吃點來第四

三遇玻璃鑑面則成二像一在吧由上面噴噴而成一在吧由下面唧唧而成吧像恆淡因遇噴噴面而返照之光恆為少數其多數經之而至唧唧面因其下有水



圖三十百四第



圖二十百四第

銀面、故全返照。光線在呷與呷略曲之故、下節論折光時詳之。

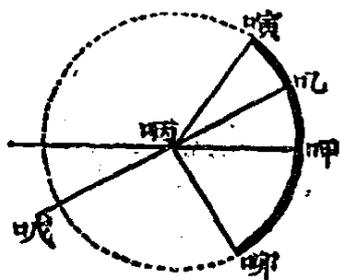
試驗第二百二十八 在暗室內、持已燃之燭於鑑前、則見幾像。何者最明。試言其故。持燭令其光線遇鑑面甚斜、則像之明有變否。并言其故。

### 按返光而定垂線

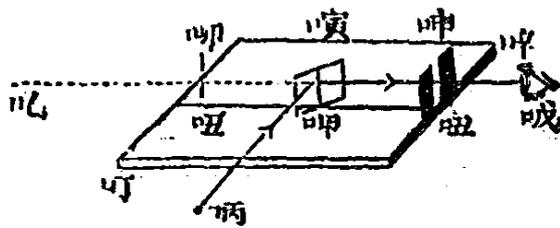
試驗第二百二十九 鋸木板長約一

呷、於其中間作呷呷線、第十四百板之一端釘紙片一方、中間割小縫、正對線之呷端、彼端呷呷豎插一針、於呷呷線之中點呷、裝一小鑑、正交木板、與呷呷線成角四十五度、人按呷呷線步行、持器於手、迨窺呷縫見遠點呷之像與呷針及呷點在一豎線內、如是則呷呷線與呷呷成角九十度、試言其故。

凹鑑可以球或拋物線體之曲面成之。故鑑為平面所割之剖面、或為圓弧、或為拋物線弧。設呷為鑑所成之球心、噴呷為鑑之一分、故呷為曲線心、呷為鑑心、呷呷為首軸、其餘



圖五十百四第



圖四十百四第

四六一

諸軸如吡等皆為次軸。第十四頁

光心者光線聚此或自此而散之一點也。鑑之首光心乃首軸內之

一點凡與軸平行之光線為鑑所返皆聚於此。此點與鑑面之距

曰首光心距。光線聚成之光心曰真光心。光心似由之而來者曰

幻光心。

鑑面之光心 當分六條論之。

四六二

(甲)光源之遠無限。光線與軸平行定返光線噴吧之方向。法

自噴至曲線心哂作垂線令哂噴吧返光角等於哂噴吧射光角

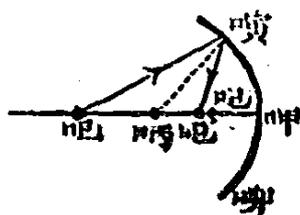
返光線交首軸於吧點正在哂與呷之間。依此繪之可表凡平

行光線必經吧點故為首光心。第十四頁

(乙)光源之距有限在曲線心之外。光線自吧點外散。第十四頁

任一光線如吧噴返後之方向可作哂噴吧角等於哂噴吧

角凡自吧來之光線至鑑而返遇於吧點吧與吧點名曰互光



圖七十四第



圖六十四第

心。

(丙)光源在曲線心。自曲線心之各方向，俱為鑑之半徑，

如是則光心在兩明矣。

(丁)光源在曲線心與首光心之間。此正與(乙)相反，觀

第四百十七圖，即可見吧之光心為吧點，乃在曲線心外。

(戊)光源在首光心。此正與(甲)相反，光源在吧，第十六圖

諸光線被折後之方向，即與首軸平行，或曰光心在無窮遠。

(己)光源在首光心與鑑之間。作返光角等於射光角，兩噴吧，

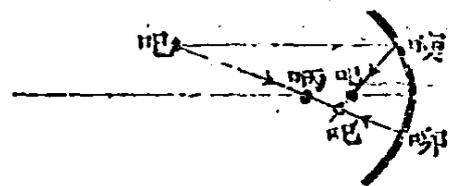
第十四圖則可知返光線自首軸外散，似自鑑後吧點而來，吧即為

幻光心。

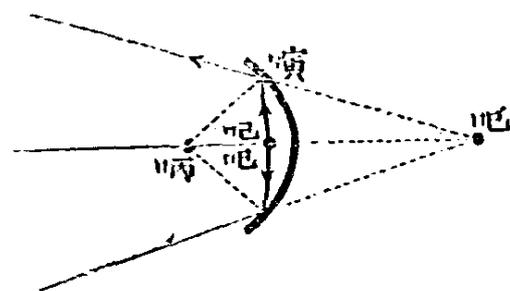
首軸外一點之光心。光源不在首軸線內，求其光心法

自吧點第十四圖過兩作次軸線，光線按此向而射者，自返本位，作

吧噴光線，與首軸平行，光被折返，過吧點，交兩噴於吧點，為凡自



圖九十四百四第



圖八十四百四第

四六四

吧點所發光線之光心。

凹鏡成像

凹鏡成像，以形學法繪之，實即定諸點之光心也。繪法每點

祇需二線，一則過吧點次軸，一則與首軸平行之光線。

(甲)物之距無限。凡與首軸平行諸光線之光心，乃在

首光心，其像在吧，而為一點。

(乙)物之距有限，在曲線心外。按前法繪之，得吧、吃二

點，第四百二十四圖此為物之二極，其餘諸點俱在其間。此像真而

倒影，小於原物，在曲線心與光心之間。

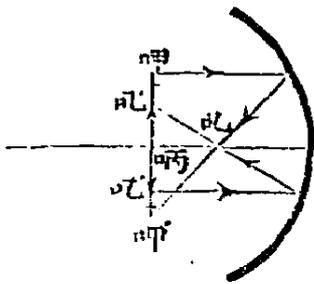
(丙)物在曲線心。按第四百二十一圖，

知其像真而倒影，與物相等，在曲線心。

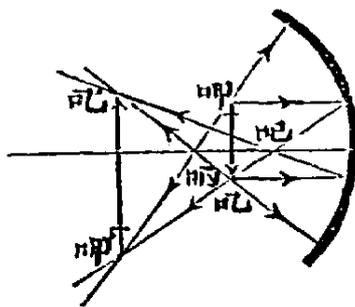
(丁)物在曲線心與首光心之間。此正

與(乙)相反，按第四百二十二圖，可知其

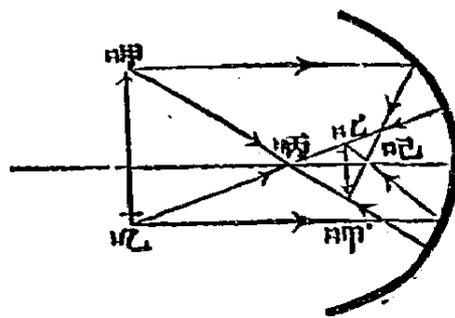
像為真而倒影，大於原物，在曲線心外。



圖一十二百四第



圖二十二百四第



圖十二百四第

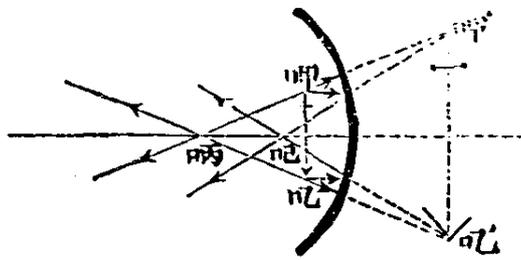
(戊)物小而首光心。此正與(甲)相反，光線依平行線而發，故像在無窮遠，意即無有也。

(己)物在首光心與鑑之間。按第四百二十三圖，可見返光線外散而無真像，引長諸線，至鑑後則成幻像，影正而大於原物。

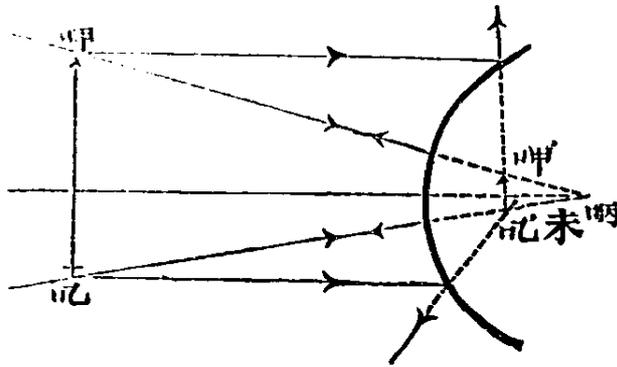
**凸鑑** 如返光面為球之外面，則為凸鑑。定其光心與像之法，與凹鑑同，惟其返光線必引至鑑後，然後相遇，故像為幻影，正而小於原物。觀第四百二十四圖之繪法可見。

試驗第二百二十 用凹凸鑑各一，以驗上文所言諸理，當憶真像可以屏收之，而幻像則否，祇能見於鑑內，以糙玻璃作屏甚佳。

試驗第二百二十一 懸凹鑑於壁，令鑑心與目等高，使等長二人立其前，其一距鑑十



圖三十二百四第



圖四十二百四第

四六六

呎、其一距鑑十五呎、前人觀後人之像時、後人漸向鑑行、則前人可見後人之倒像、自鑑向前、待其在曲線心、則像止於其肩。

**凸差** 凹鑑之弧面頗大、則平行光線之近首軸者、其光心

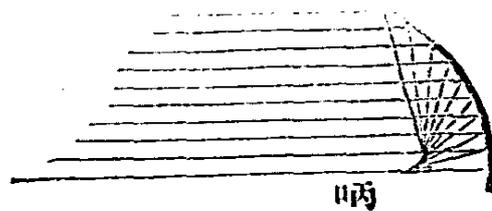
較遠於首軸者尤遠、第十四百二十五圖 因此、像之外邊、每模糊不清、欲

去此弊、鑑之弧面勿過十度或十二度。

試驗第二百三十二 在暗室內、用凹鑑成燭之像於屏上、持屏於鑑前、蔽其光線、祇剩中間一圈、徑約三吋、則其於像之明暗、有何關涉、像之清晰、有何關涉、其故何在。

### 習問

- 一 射光線與返光線之交角為五十度、則鑑與射線之交角若干度。
- 二 鑑為身長之半、則人立近前、方見全身之像、試證其理。
- 三 二鑑正交、一點可見二像、試繪圖定之、法以二鑑之交線為中心、自交線至此點之距為半徑、而作一圓、則其圓果盡過諸像否、其故何在、觀第四百八圖。



四

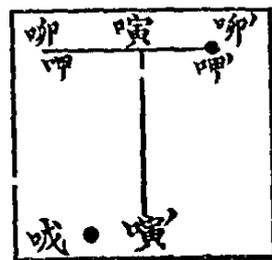
第四百二十五圖

- 四 按第四百十圖而定自哂至呬自呬至呔之距。
- 五 身立平鑑之前、閉右目、用左目視右目之像、黏小紙片其上、如開右目閉左目、則見紙片在左目上、試作畧圖顯之。
- 六 人立湖邊、見太陽之像在水中、其視線與豎線成角六十度、當時太陽高出天際若干、作圖顯之。
- 七 人坐樓上室內、如以鑑位置合宜、則可見門外扣門人影、其法如何、作圖顯之。
- 八 平鑑豎立、則其像之顛倒如何、橫置之、又如何。
- 九 木桿長一呎、置之平鑑前、下端距鑑十吋、上端距鑑十六吋、試繪其像。
- 十 凹鑑如何位置、則所成之像爲正、又當如何位置、而其所成之像、小於原物。
- 十一 凹鑑之曲線半徑四呎、木桿長一呎、直立其前、其上中下三點、距鑑爲十六吋三呎八吋、試繪其像。
- 十二 凸鑑之曲線半徑四呎、以前問之桿立於其前、試繪其像。

## 實驗室功課

一 書人名於紙、使為平鑑所返、而讀之仍能合式。

二 木板一呎見方、上作噴噴與唧唧二線、第十四百二十六圖互為正交、於唧唧線上之唧點、插一長針、對噴噴線之邊上、裝長而窄之鑑、又近板之前邊、或處插針、置目視、或針與唧針在一線內、乃於唧唧線內之唧點、復插一針、令其像至或唧線內、次測唧與唧距噴噴線之數、此果合點在平鑑內、成像之理否。

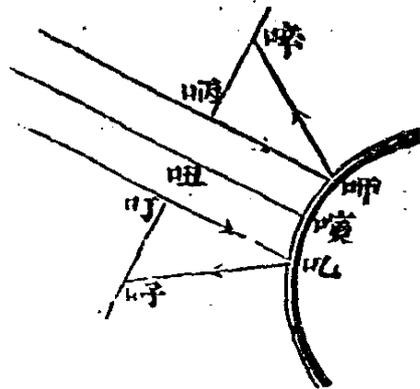


圖六十二百四第

三 割平鑑二條、長四吋、廣一吋、直立之、令互成交角三十度、置目於條之上端、置色紙若干於條下端之面上、則見因返光之故而成整齊之形、且屢變而無相同者、試解其理。

四 取凹鑑入暗室、豎立桌上、取糙玻璃一片、上劃度分、置之鑑前、其後置煤氣燄、照其像於另一玻片上、進退二片之位置、令前者之像、其大小與分線、正與後者合、乃度鑑之光心距為若干。

五 黏紙於凹鑑之面、中作唧唧二孔、第十四百二十七圖距鑑之中點等遠、位置合宜、令日光過啐啐屏之開口處、照於其上、則照於



圖七十二百四第

呬呬二點之光線被返為啐呬二明點、  
易屏之位置、如啐噴等於鑑之大光心  
距、則可求得啐呬等於呬呬、試言其理。

### 三 折光

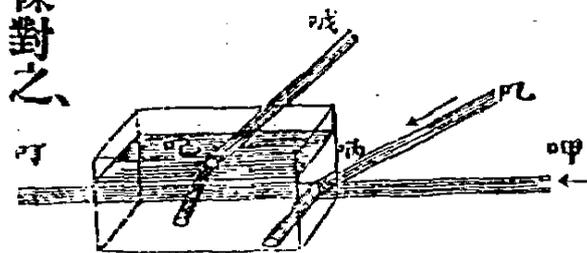
#### 折光

試驗第二百三十三 長方

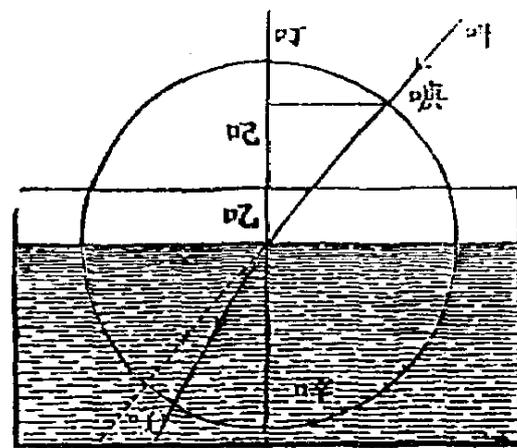
玻璃瓶滿盛水、加乳數滴、一端蔽以紙片、

中穿一穴、如呬、第十四百二以手鏡返光條對之、

叮



圖八十二百四第



呬 呬 呬

圖九十二百四第

光條如為呬呬向、正交旁面、則直過無折、如呬呬或呬呬向、則光條遇水面時、曲折向下。  
光自此傳體入彼傳體而有曲折、謂之折光。

#### 射光角與折光角

如第四百二十九圖、射光線呬呬、遇水面於呬、入

水之後、其折光線之方向為呬呬。作中垂線叮呬、在呬與水面正交、如是則呬呬  
呬叮曰射光角、呬呬曰折光角、射光折光二角之較呬呬呬曰差角。設呬呬  
半徑為一、則與中垂線叮呬正交之呬呬與呬呬二線為射光折光方向之正。

四六九

弦射光角正弦與折光角正弦之比例曰折光指數。按第四百二十九圖折光指數為阻映。

### 折光之例

- 一 光線自少折性之質入多折性之質則曲向此點之垂線反之自多折性質入少折性質則曲背垂線。
- 二 射光線與折光線在同平面內。
- 三 射光角任變而凡二質之折光指數恆為常數。

試驗第二百三十四 取試驗第二百三十三所用之長方玻璃一邊蔽以紙中割大圓孔作直徑呷呷橫徑呷呷第四百三貯水與呷呷齊上蓋紙片中穿小孔令光線照入四十圖正在二徑交點之上遇水面屢度各射角之阻映與呷呷其比例恆為常數。

### 折光之理

光條徑行一傳質之內而遇別傳

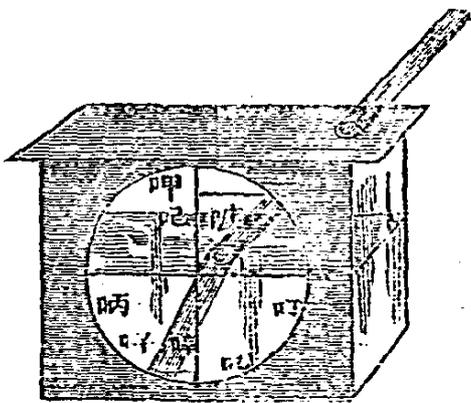


圖 十 三 百 四 第

四七〇

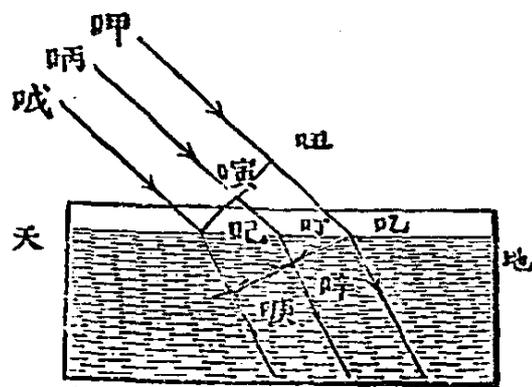
質之面、則其速率有變。如新傳質之折性較舊者為甚、或曰按光理為較濃、則速率有增。反之、如折性較損、或曰按光理為較稀、則速率有損。設此光條之浪面咀吧、按哂叮向而行、吡吧光線遇新傳質天地面時、其速率減少。當呬咀光線至吃時、祇自吧行過吧、啖距、而哂叮光線行至啖點、故新浪面為吧啖、而新方向為叮啖。

### 折光指數

夫既惟以太為真傳光質、而光之速率在以太內、空即內真較在以太雜和別質之時為大。故折光指數有二類、光線自真空入物質時、曰極指數。光線自此質入彼質時、曰比較指數。求二質之比較指數法、取其極指數比例之倒數即得之。

### 折光極指數表

光黃



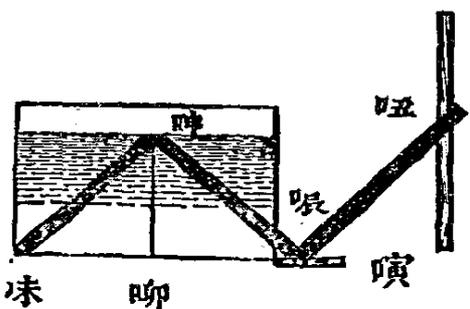
第四百三十一圖

物質	指數	物質	指數	物質	指數
真空	1.00000	醋	1.360	火石玻璃	1.651
空氣	1.00029	炭硫二	1.624	金剛石	由 2.47 至 2.75
水	1.334	冕號玻璃	1.516		

各色光之折光指數不同，右表所列者為黃光指數。是書所用光自氣入水折光指數為 $3/4$ ，入冕號玻璃為 $2/3$ ，入火石玻璃為 $5/8$ ，入金剛石為 $2/5$ 。

**全返 限角** 試驗第二百三十五 用試驗第二百三

十三之玻璃水箱，貯水幾滿，一端貼紙片，近底開小穴<sub>第十四百三十二</sub>，以手鏡噴，令光一縷透過喉穴，而遇水面，變動光條之方位，可得一點如呻，凡光條遇水面於右方，則透過水面，如正在呻點，或在其左，則光條全返，令唧呻味角 $\parallel$ 唧呻喉角。  
當射光角唧呻喉光線不透水面而全返，此角曰限角。



圖三十三百四第



在此界之外，則水之內面，不啻平鑑，返映底上諸物。

試驗第二百三十六 近桌而坐，手持水杯，高過頭頂，則可見桌面諸物之像，而視線不能透水面，置一勺在杯內，可見其在水內之一截，由面返映。

試驗第二百三十七 玻杯貯水三分之二，插入試管，內有紙條，留意觀之，則知有一地位，因全返而隔水不見紙條，注水少許入管，則凡管之內邊，為水所溼者，紙皆可見。

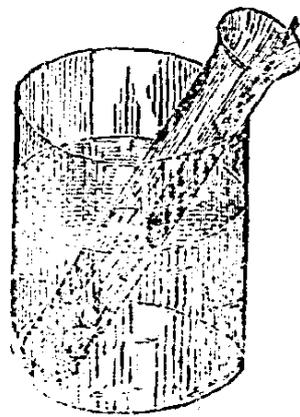
試言其理。第四百三十四圖

四七四

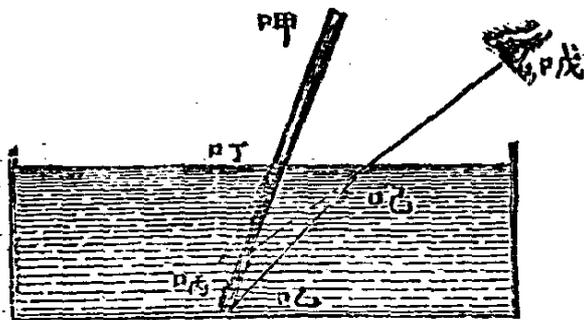
### 折光之功效

直桿斜插入水，如呷呷，第四百三十五圖 三視

之如在水面可處被折，下截可呷似上升，而呷如在呷，是因呷光線，在呷折而為呷，視物之方向，按光線入目之方向，故呷如在呷。斜視水池，每似略淺，亦此理也。氣質二層稠稀不等，光線經之，亦有曲折，故日出入時，每



圖四十三百四第



圖五十三百四第

### 有二幻像。

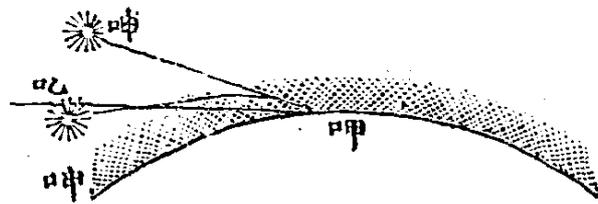
一 日在天際線下、人目視之、如已上升。設呬吃線第十四百三為呬點之天際、日實在其下呬點、視之如在呬點、因自呬而來之光線、經近地之空氣層層加密、故漸折向下、而入人目、一如由呬呬而來、故視日在呬。

二 折光之理、又今日之視狀不同、蓋最近天際之光線、其折最甚、故日之下邊與上邊比較、似較真位為高、則視其下邊似較上邊為扁。第四百三十七圖、為日升天際時四點之狀、即顯此象。

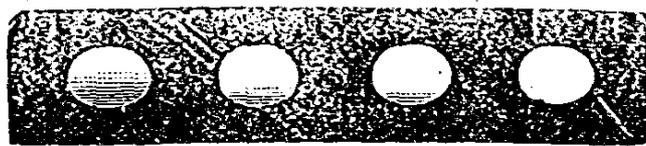
### 平玻片之折光

試驗第二百三十八 紙片之上、作一

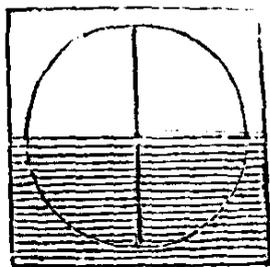
圓及正交縱橫二徑、置玻璃一片於其上、如第四百三十八圖、人日向紙正視、適合垂線、則不見異狀、如稍偏斜、不合垂線、則見圓



圖六十三百四第



圖七十三百四第



圖八十三百四第

之二邊及縱徑，似俱微有斷痕。

光遇二邊平行之透光片於吡，第十四百三折向吡

點之垂線，為吡方向，此可以折光指數即比例

正 未 壬定之。迨光至吡，則折背垂線，而作吡方

向，此可以比例正 未 壬定之。按折光之例，又因未

等於壬，故後比例祇為前者之倒數，是以壬等於

未，而吡方向與吡平行。

**三稜體** 如透光體之面不平行，則透出之光線不與

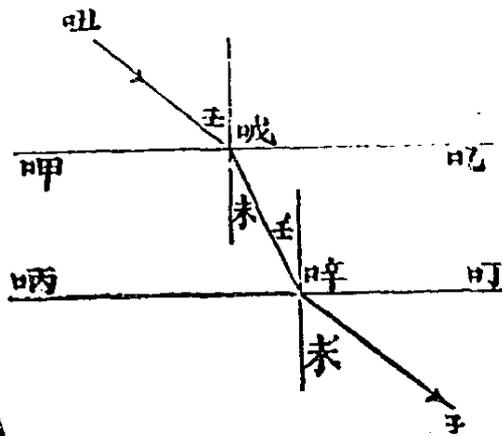
原光線平行。如其橫剖面為三角形，則透光體為三稜體。

透光線之路，如第四百四十圖。光線自吡來，遇稜體於叮，

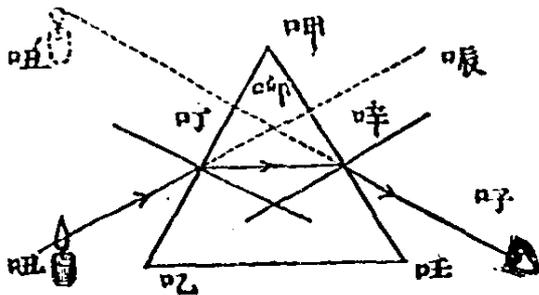
曲向垂線，依叮方向透過，於吡點出稜體，折離垂線，而

為吡方向。光線既同向一方，二次被折，故光線透過稜

體，則折向底。置目於吡，則見光源似在吡處。凡隔稜體而



圖九十三百四第



圖十四百四第

觀物、則見其像移近折角。折角者、光所透二面之交角也。

光透出之線與原光線交角、名曰差角。即第四百四十圖之呼啣。此角隨棱體之折角、傳質之折光指數、及射角三者而異。凡三棱體、當其射角與透出之角相等時、其差角最小。

鏡者、透光定體、有二面或一面為曲線者也。曲面常為球面。常用之鏡有六、分二大類、每類三種。

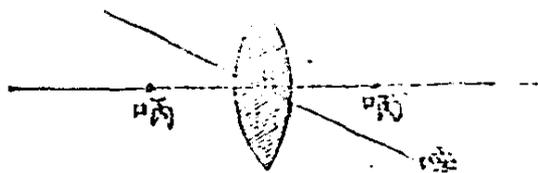
- 一 雙凸 聚光 中厚於邊
- 二 平凸 聚光 中厚於邊
- 三 弦月 聚光 中厚於邊
- 四 雙凹 散光 中薄於邊
- 五 平凹 散光 中薄於邊
- 六 凹凸 散光 中薄於邊

六種鏡之體狀、可以下法知之。第十四圖

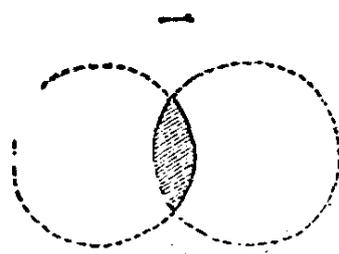
一 二球相割。  
 二 平面與球相割。  
 三 小圓大球相割。  
 四 圓柱爲二球所割。  
 五 圓柱爲平面與球所割。  
 六 圓柱爲二球所割。

**曲線、心、首軸、光中、限鏡**

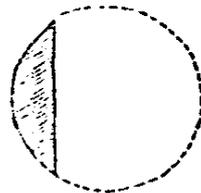
面之球心爲鏡之曲線心。如兩與兩。  
二百四十四 過此心之直線曰鏡之首軸線。  
 鏡之有平面者其首軸過曲面之曲線心而與平面正交。光線透過鏡之某點而不改變此點曰光中。雙凸鏡二面之曲率等則光中爲其體之中心。平面鏡



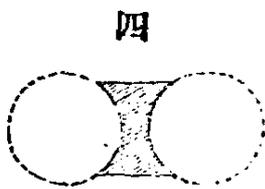
圖二十四百四第



二



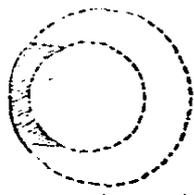
三



五



六



圖一十四百四第

之光中、在曲面交首軸線之點。光線透過光中、而不透過曲線心者、曰副軸。如第四百四十二圖之啞啞。光線透鏡之路。設光線自首軸上之吧點來、遇鏡面於呷、第十四圖則透鏡之呷吃方向、可依下法得之。

以呷為心、作二圓弧、其半徑如三：二、數鏡之折光指

二自光線交可噉弧之點噉、作直線、與呷呷平行、又

自平行線交次弧之啞點、作啞呷線、引長至吃。

依此定吃、即光線自鏡透出之方向。

**凸鏡之光心** 定明點在凸鏡之光心、法與凹

鏡相仿、求任一點之光心、祇須繪二光線之路。如明

點在首軸線上、則首軸線即為一光線之路、否則必

須作一副軸。

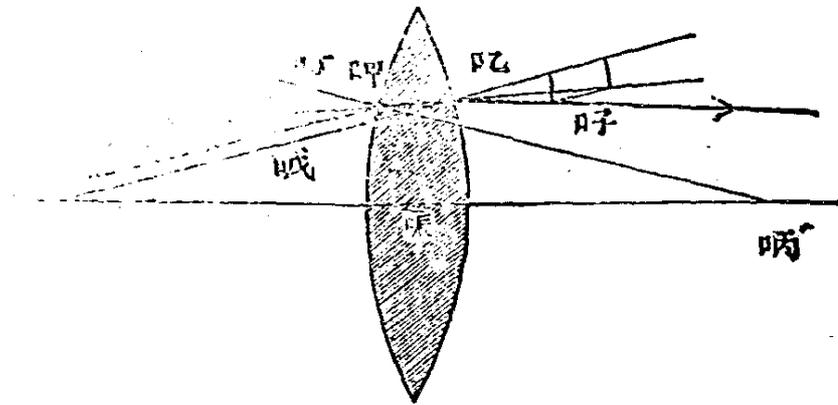


圖 三 十 四 百 四 第

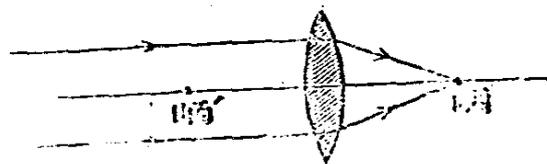
(甲) 明點之距無限。射光線平行，如命折光指數為三分之二，則雙凸鏡之光心，必甚近曲線心。平凸鏡之光心較之倍遠。此名曰首光心。與鏡之距，曰光心距。第十四圖

(乙) 明點在二倍光心距之外。設作光線之路吧呷，則見其交首軸於吧，在呷與二倍光心距之間。

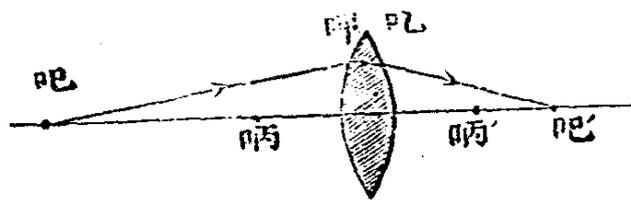
(丙) 明點在二倍光心距。作一圖，即可知光心在鏡之彼旁，亦在二倍光心距之處。此二點名曰互光心。

(丁) 明點在二倍光心距之內，光心距之外。此與(乙)相反，觀第四百四十五圖，可知明點在吧，則光心在呷矣。

(戊) 明點在首光心。此與(甲)相反，透出之光線與首軸線平行。



圖四十四百四第



圖五十四百四第

(己)明點在首光心與鏡之間。光線透出散射，光心為幻，與明點同在鏡之一面，距鏡較遠。

聚光鏡令平行光線變為聚行，聚光線聚行更多，散光線散勢較少，或變之為平行光線或聚光線。

凸鏡公式 既知首光心距，則明點與其像之位置可定。其相與之關係，以下式顯之。

$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

(60)

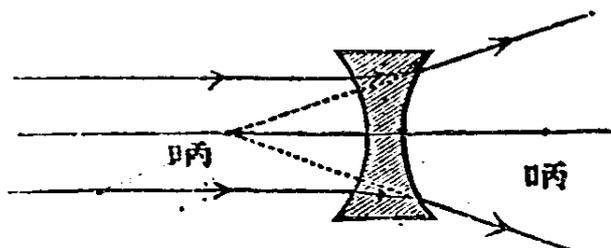
式內(光)為首光心距，(占)為吧點距鏡之數，(占)為其像距鏡之數。

凹鏡之光心 (甲)射光線平行，射光線透出變為

散行，第十四百四其光心為幻，雙凹鏡玻璃鏡之光心，即在曲線

心。平凹鏡玻璃鏡之光心，二倍其距。

(乙)射光線散行，作圖可見透出之光線，散行更甚，而幻



圖六十四百四第

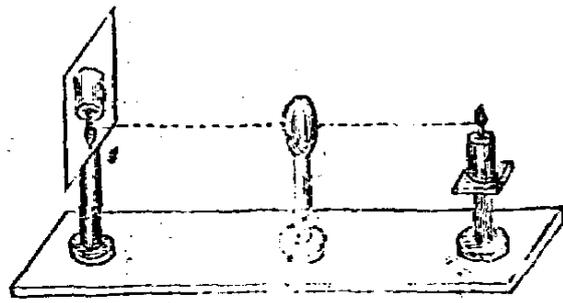
光心近鏡較(甲)為甚。

(丙)射光線聚行。透出之光線聚行之勢較少，如有光心，則其位置與種類，須視射光線聚行勢之多少。散光鏡令平行光線為散行，散光線散行更甚，聚光線聚行之勢較少，或變之為平行或散行。

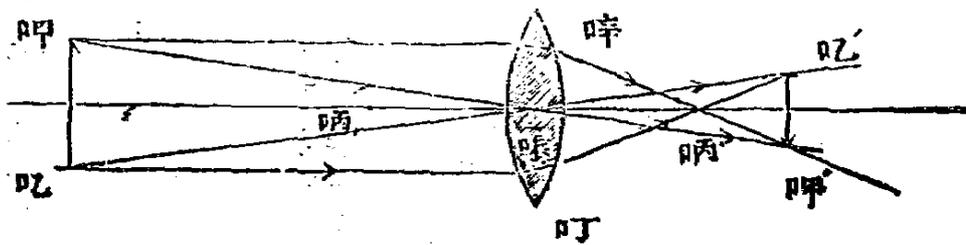
諸鏡成像 試驗第二百三十九 暗

室內置凹鏡一、燭一、屏一、列於桌上，如第四百四十七圖，迭變其位置，察視燭於屏上為鏡所成之像，夫一物之像，既為其諸點之光心所成，故可實驗第四百八十節所言光心之諸位。

繪圖求像 凡鏡所成之物像，可繪圖以求之，法於物之各端，作二光線，



第四百四十七圖



第四百四十八圖

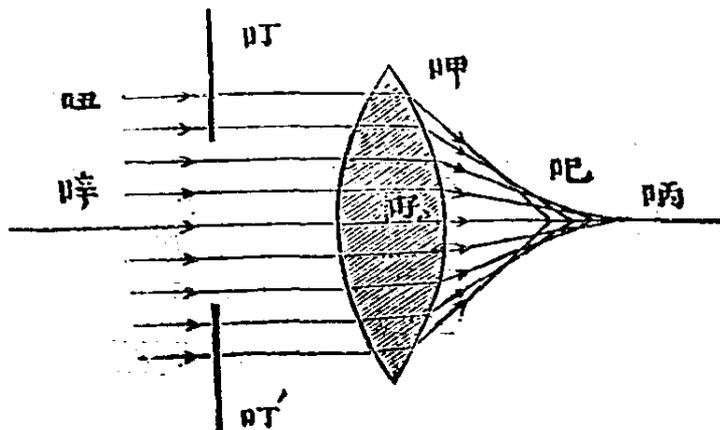
爲副軸、而經鏡之光中。又一光線、與首軸線平行、既透鏡後、過其光心、如第四百四十八圖、叮鏡成呬呬箭之像、乃爲呬呬。平行光線呬呬呬按呬呬方向而透鏡、後復透呬、交呬呬之引長線於呬呬、成呬呬之像。仿此可得呬之像。

**凸差**

透球形凸鏡之光線、其近邊者之聚成光心、不與近中央者之光心同點、此可以第四百四十九圖顯之。呬呬光線之光心在呬、近中點之諸光線、聚光心於呬、因此凸鏡所成之像、外邊清晰、則中間模糊、中間清晰、則外邊模糊。法於鏡前置中間有孔之隔簾、如圖內之叮叮、則可免此蔽。然因隔去之光頗多、故像不能較前明晰。

**習問**

- 一 設有水杯、滿水至呬呬、其廣十呬、水深六呬、呬爲水底明點、試繪光線呬呬呬叮等之路、諸光線與垂線



第四百四十九圖

成角十度、二十度、餘仿此、又考凡遇呷乙水面諸光線之路。第十四頁 第五圖

二 設取二寸厚之玻璃塊、折光指數為三、倚於桌面呷點、試繪所發光線之路、其光線所成之角、與上問之呷吧叮等線相同。

三 金剛石與玻璃割成同式之體、然金剛石所返之光較多、何故。

四 槩入水內、視之似曲、何故。

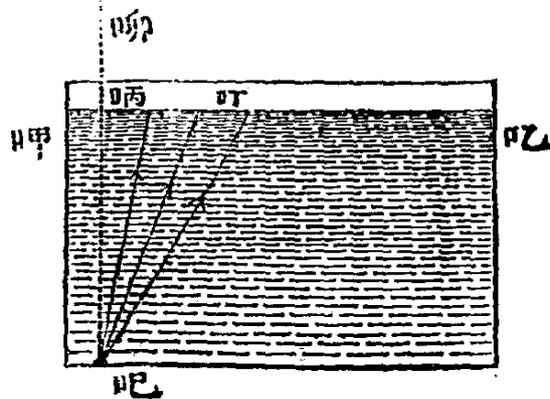
五 入夜望月初升時、較在天頂時、視徑不同、何故。

六 豎列直線、隔窗玻璃而斜觀之、見其似多曲折、若隔上等玻片觀之、則直而不曲、何故。

七 試證光線透過三稜體則曲向底。

八 明點在雙凸鏡與首光心之間、試繪其透出光線之路。

九 試繪散光線透過雙凹鏡之路。



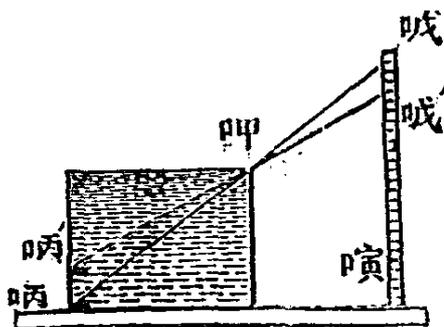
第四百五十五圖

- 十 雙凸鏡二面之曲率半徑為二呎、有箭距之三呎、試繪其像。
- 十一 物距凸鏡十八吋、成像於距鏡五吋之屏上、求鏡之光心距。
- 十二 凸鏡之光心距為十八吋、有一點距鏡二十四吋、求其光心。

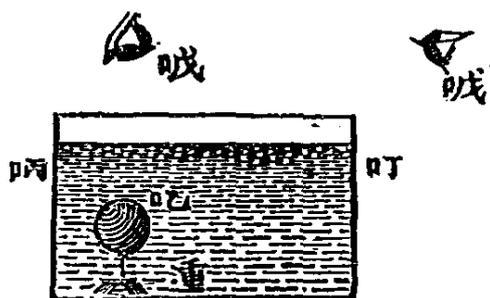
### 實驗室功課

- 一 取玻璃長方水箱一、貯水幾滿、浸玻璃管或木桿之一端入水內、置目於合宜之位、可自水面、自箱之旁面、自箱之端、同時見之、試解其理。
- 二 連重物於木球、沈之水箱內、第十四百五十一圖置目於吡、直觀之、又於吡斜觀之、見球狀不同、試作圖以明其理。
- 三 取第一課水箱、傾去所貯之水、置錢於其一隅、或一邊之中間、如吡、第十四百五十二圖在噴處直立適當桿一、先取吡點之所在、吡點者、蓋自吡作直線、連於正切箱邊、吡點也、吡點之下、吡不能見、乃於箱內滿水、次取吡點之所在、蓋正可見錢邊之處也、試度箱之

其理。



圖二百五十四第

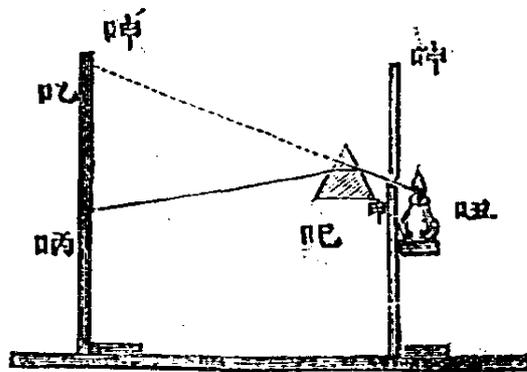


圖一十五百四第

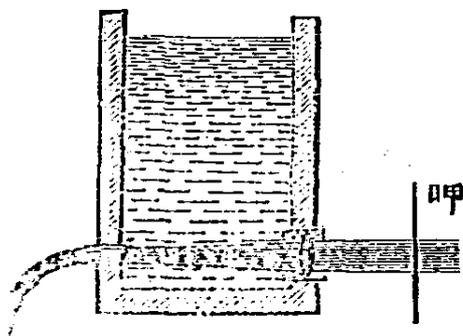
長廣，且作圖以推自水至空氣之折光指數。

四 立呻呻二紙屏於桌，第十四百五其一作小孔甲，次於桌上置火酒燈，芯上撒鹽少許，則燈發黃光，光自咀過呻屏之孔，而射於呻屏上，作叱點，置三稜體一，貼於孔後如吧，則見光射至兩點，誌之，乃度應用之距，而定差角之度分，次令三稜體旋轉，其軸正與桌及屏平行，則見兩點上移至叱，此後再依同向轉之，而光點仍復下降，由此可見光線祇在某射角時，其差角為極小，試問當此點時，其射光角與透光角有何關係。

五 於木箱之一旁，近底穿徑二吋之孔，對邊穿徑半吋之孔，裝一短銅管，二吋孔內裝軟木塞，中嵌大凸鏡，令透日光，其光心正在銅管內，貯水滿箱，令日光透鏡，則見流出銅管之水溜，全為日光所照，其故安在。將銅管外口之內邊銼圓，則流出之水溜，益為光潔，又置有色玻璃於呻而觀之。第十四百五



圖三十五百四第



圖四十五百四第

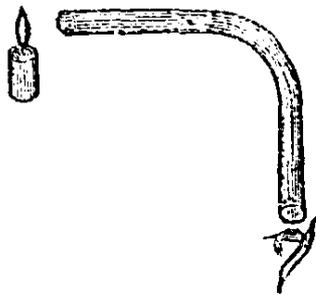
六 以第四百五十五圖之曲玻管、如前法試之、一端對火燄、目注視其又一端、則見全端光明、試作圖以解其理。

七 桌面展紙一方、作噴噴直線、橫過紙面、第四百五十六圖 豎立厚玻片於紙上、令其前面正切噴噴直線、(如無厚玻片則取二三片合之) 玻片之後面、黏紙其上、作直線一片、直立時、此線為豎

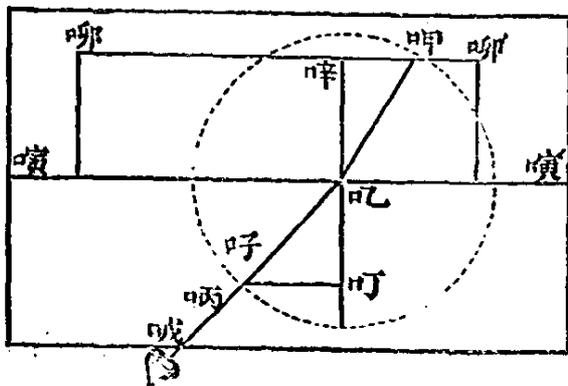
線、命其線之底為呬、置目於桌邊、插一針於呬、又插一針於叱、在噴噴線上、適當目與呬點視線之內、次取去玻片、以叱為心、叱呬為度、作圓線、推算呬叮與呬哱之比例若干。

八 今有三稜體、其橫剖面為勾股形、設有光線、正交其成直角一面之中央、試繪其光線透過稜體及其透出之方向。

九 取凸鏡一、燭一、糙玻片一方、其面有生的適當之分線、至暗室內、於鏡之一面置屏、一面置糙玻片、置燭近貼糙玻片之後、移屏之位置、使尺度之像、清楚適合、乃度像之長、及尺屏各



第四百五十五圖



第四百五十六圖

距鏡之數、次移尺度或遠或近而屢驗之、推測像與鏡之距、及物與像之距、有何關係。  
十 將前法所得之距數、代入凸鏡公式、以求此鏡之光心距、取屢得之中數、復移鏡至日光內、求日之像、以重驗之。

### 四分光極光

四八六

#### 分光

試驗第二百四十 取三稜玻璃一、至暗室內、置之小

穴之後、令日光一條透之、則不但曲折、且分爲光帶、現於對牆、如第四百五十七圖。

光之分爲各色、由於各色光浪之折光指數不同。

上法所成之光帶、曰日光圖、計分七色、互相融和、紫色曲

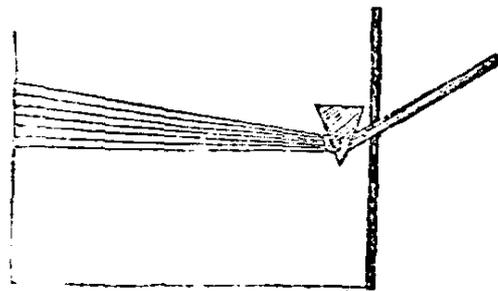
折甚多、次爲青、藍、綠、黃、朱、惟紅色曲折最少。

試驗第二百四十一 取紫紅窄紙各一條、黏之黑紙一上、隔三稜玻璃視之、則可見紅光被折、較紫者爲少。

四八七

#### 合成白光

白光析分不等、而成光圖、則其各色、合之亦可復爲白光、法



紫青藍綠黃朱紅

圖七十五百四第

再用一三稜體反置之、或以凹鏡、或以凸鏡、俱可。

試驗第二百四十二 暗室之內、置三稜玻璃、令

日光透之、分爲光圖、再過雙凸鏡、其光心適在牆

上、則在吧處第十四百五成白色光點。

### 色差

試驗第二百四十三 置大雙凸鏡與

日光正交、第十四百五如置屏於呻、則其上現日像、

邊爲紅色、如屏置呻處、則邊爲紫色。

單鏡多有此弊、名曰色、差、是由於各色折光

不等之故。

### 無色差鏡

將火石玻璃之平凹鏡、與冕號玻璃之雙凸鏡并合、所成之

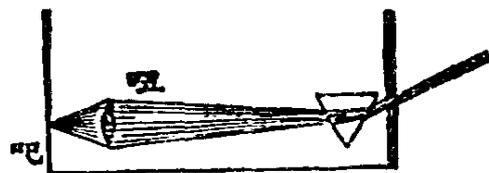
像、邊不現色、是曰無色差鏡、因二鏡之曲率相合、使此鏡之分

光性爲彼鏡所抵消、而折數如常也。然合鏡之折光性、終小於

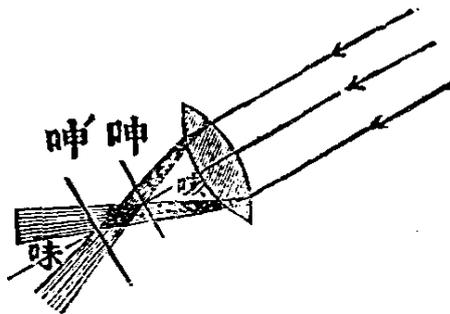
單雙凸鏡。



圖十六百四第



圖八十五百四第



圖九十五百四第

四九〇

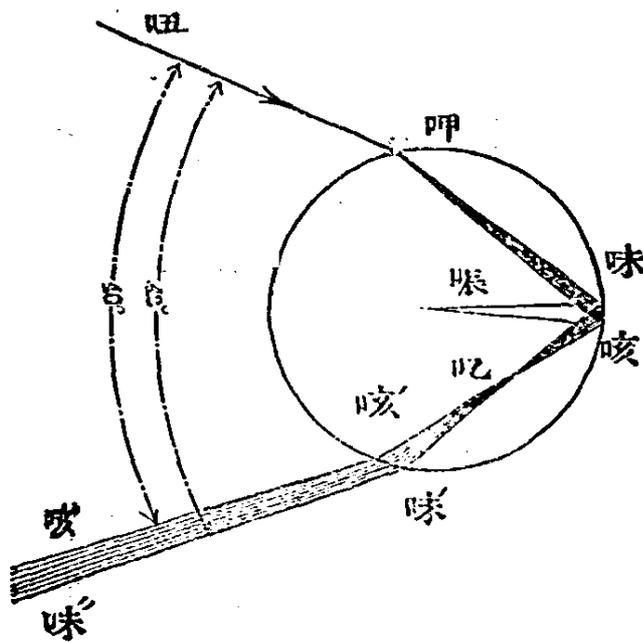
虹 爲天然折光分光之現象。雨時、太陽非高在天頂、斜照雨點、人背日觀之、則見一虹或二虹、色甚鮮明。

內虹一曰正虹、有七色如光圖、順其次序、紅色在外、紫色在內。外虹一曰副虹、七色亦同、而次序適相反。

四九一

正虹 如第四百六十一圖、日光由透

入呷處之雨點、在呷被折而分散、當其遇雨點背面時、已成光圖、紅色在上、因其被折最少也。在味咳處、光之一分透出雨點、餘一分返照、射角呷味既大於呷咳、角、故返光角呷味必大於呷咳、角。因此諸光線於呷點相交、由味咳處透出、其分循味與咳、咳方向、光圖中間各色、俱於味與咳之間、依次被折。

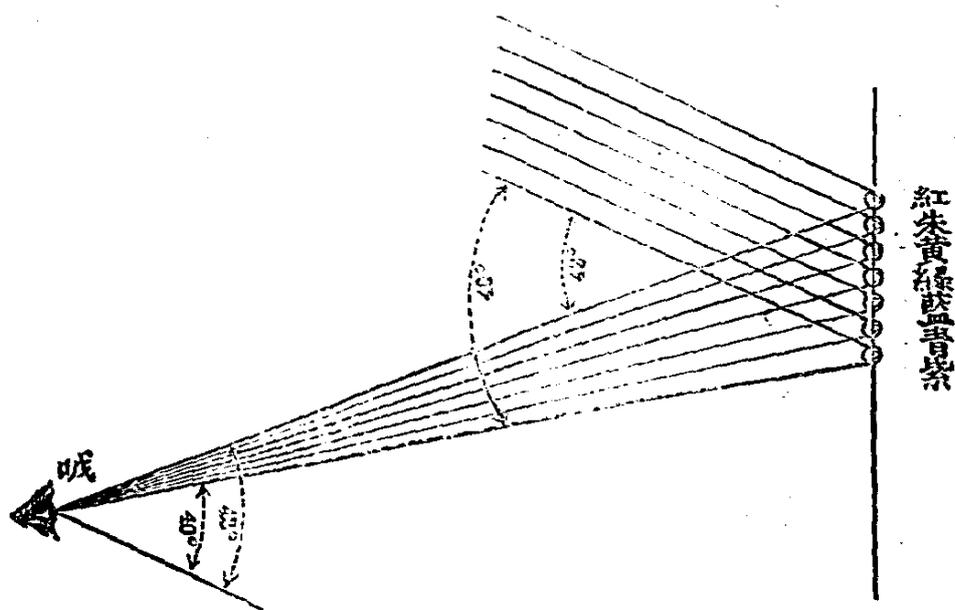


圖一十六百四第

射光角必須合宜，乃能使紅光線出雨點之方向，與原光線成角四十二度，紫光線成角四十度，方能成虹。故若自日至人目，作一直線，則紅光線與之成角四十二度，紫光線成角四十度。

紅光線之角既較紫光線大二度，故若置目於**咳**，第四百六十二圖則自可見各雨點所返之各色，而返紅光之雨點為最高，此紅色所以在正虹之外邊也。

**副虹** 日光遇呷處第四百六十三圖雨點之下邊，被折而分至**咳**味，又被返二次，則其實驗第二百透入紅光與透入之光線成之，或以燭燄度紫光五十四度，以是人目見



第四百四十五圖

光之上，故副虹之紫

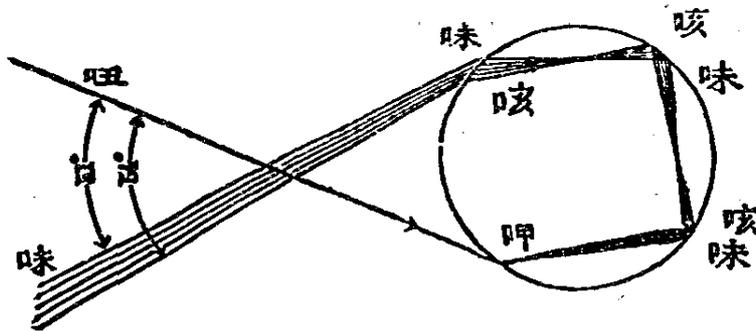
色。

虹形成圓之理 兩點為

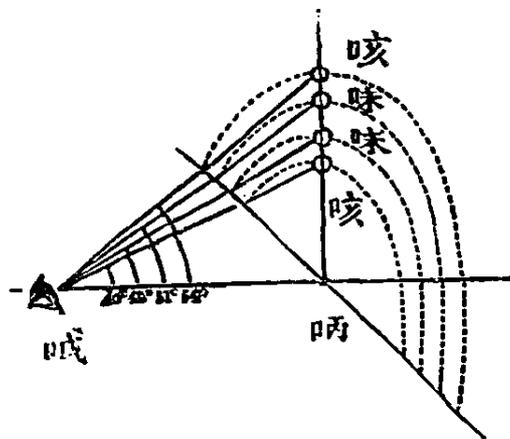
球體、正虹之紅光線發出成一  
小圓、其周距按日光方向過兩  
點之徑、為四十二度、故凡方向  
與過於日度視線成角四十二  
度者、俱可見紅光線、故其形為  
圓。第四百六十四圖、作日在天  
際觀。

色 上文已言光線透三稜玻璃受折之多少、視其浪長。又言白光遇三稜、

則其各色之折光數不同。如是則有色之界說曰、色者、光因其浪長不同而有  
之一性也。



圖三十六百四第



圖四十六百四第

**阻光體之色** 按其收食返射某種光浪而定。一體返照紅光而收食其餘，則其體之色紅。

試驗第二百四十四 黏白紙一條於黑紙片上，持至日光內，隔三稜玻璃視之，則見紙邊現光圖七色，如黏紅紙條，藍紙條，同法視之，則見光圖祇現紙所返之色。

試驗第二百四十五 取白紙條長十吋，廣四分吋之一，黏於黑紙片上，與之正交，又黏數紙條，長八分吋之一，廣二吋，置三稜玻璃，如第四百六十五圖，視之，則見窄紙條之光圖。設為長紙條所分者，則互相掩，而祇現白光，惟二端一紅一紫。各窄線之光圖，則七色俱全。凡某體所返之色為紅，如所照之光不含紅色，則體亦不顯紅色。

試驗第二百四十六 取各色紙條入暗室，以照相所用之紅燈視之，或以燭燄加鹽所發黃光視之。

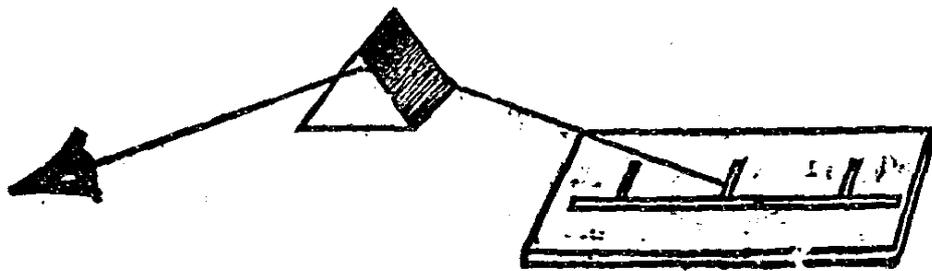


圖 五 十 六 百 四 第

四九六

由此試驗可知選色當留意用於何光之內，如日光內合宜之色，在煤氣光內視之，則其色迥異。

**透明體之色**（在透光內視之）則隨其所透之光而異。如盡透各色，則體無色。如祇透一色，如黃則體即現此色。如透過數色，則體之色為此諸色之合色。其濃淡視各色透過之多少而異。

四九七

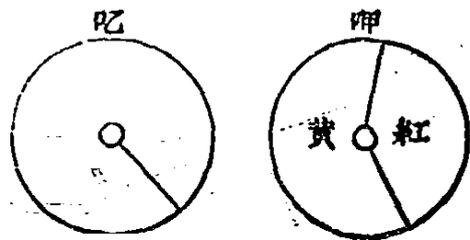
**七色輪** 鈕敦藉人目留影之理，以顯合色，法以硬紙為

輪，中貫以軸，輪之一分塗紅，一分塗黃，如呬式，第四百六十六圖疾

轉之，則目視其合色為朱，是因目中黃色之影未減，繼以紅色之影，故二者相并而得合色。如用紫與紅，則可得葡萄色。作色輪如圖內之呬式，旁割一縫，以便疊穿於軸上，而得任何二色之合色。各色之比例，亦可任意定之。

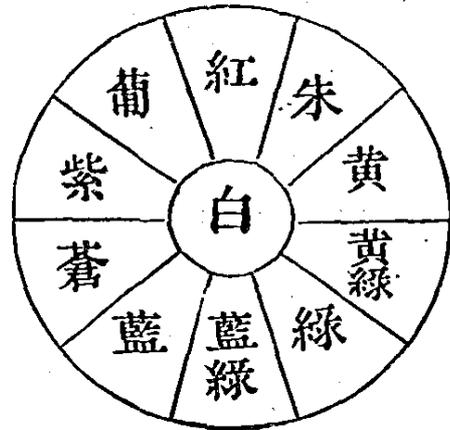
**餘色** 如藍與朱塗於輪上，比例合宜，則其合色為白。凡

二色可合成白者，曰餘色。



第四百六十六圖

四九八



第四百六十七圖

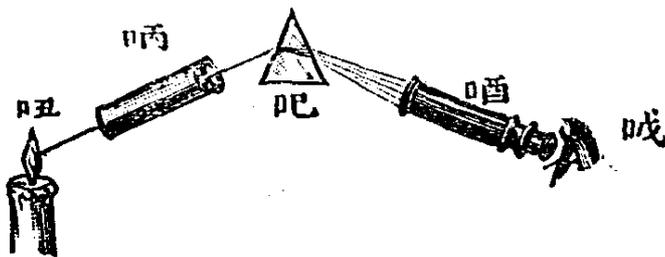
第四百六十七圖、表餘色之相對。圖內相對之二色合一、則為白、二色或多色、多少互合、則成各種彩色。餘色相並、令人悅目、故刺繡與紮花球者、尤宜留意。試驗第二百四十七、置濃色料一方、任色為於猛光內、注視一二分時、移目觀等大之白紙一方、則現餘色。

此因眼腦衣久視一色則微倦、而不能覺白光內所含之色、故現餘色。

**顏料和合** 上文所言之功效、乃由光圖諸色和合而成。

若顏料相合、則不能得也。黃色與藍色合、則為白色。黃顏料藍顏料合、則為綠色。

**光圖鏡者**、研究光圖之具也。其要件有三、如第四百六十八圖。



第四百六十八圖

兩爲銅筒、近光咀處有一小縫、中設一鏡、位置合宜、令光線過筒、而至三稜玻璃、爲平行線。

吧爲三稜玻璃、位置合宜、令既折之光條、透之而出、循吧啞方向。啞爲遠鏡、可以移動、配準透稜體光線之光心。光圖鏡之全形、略如第四百六十九圖。

**光圖研究法**

光源之質性不同、

光圖遂異、故分三類、曰連光圖、曰明線光圖、曰暗線光圖。

試驗第二百四十八 用光圖鏡察燭之光

燄、則見自紅至紫中間諸色、由漸遞續。

**光圖第一例**

光源爲白熱之定。

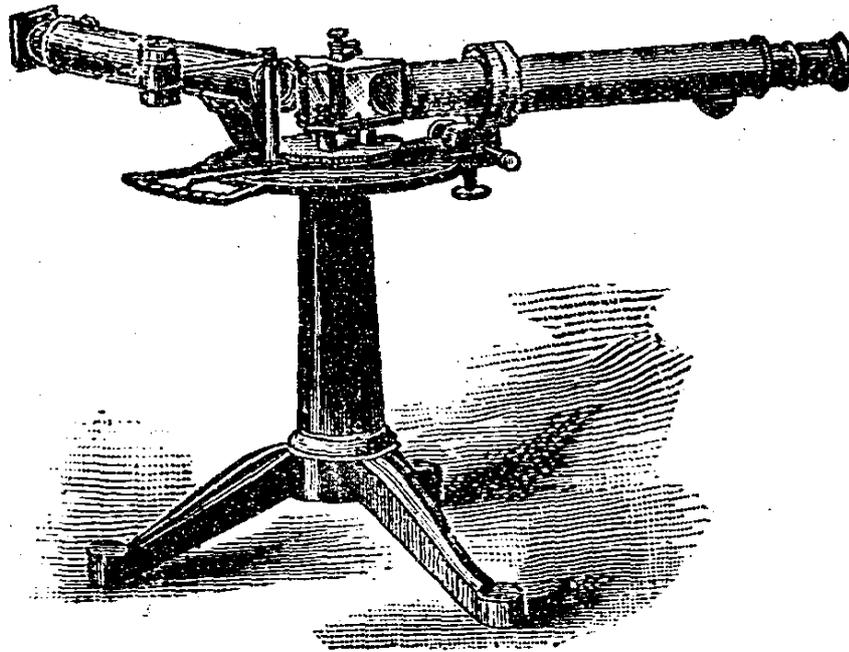


圖 九 十 六 百 四 第

質、或液質、或密氣質、則成連光圖。

試驗第二百四十八之連光圖、為燭燄內白熱炭質之光圖、常用之燈與煤氣燄、俱發連光圖。

試驗第二百四十九 浸鈇絲於鹽消液內、置本生燄內燃之、以光圖鏡窺其燄、則不見連光圖、惟見連光圖內黃色處、其中央有明光帶。(銅絲之端綴小棉花球可代鈇絲) 此黃帶名曰鈇線、或曰叮線、細察之、則見其為二細線所并、中間有黑帶。

光圖第二例 白熱之氣質、非受大壓力、則所成光圖、為若干明線、餘皆黑線。

諸線在光圖之內有定位、即為其質之特性。

試驗第二百五十 用光圖鏡察日光、則見七色光圖之內、橫梗若干黑線、以鈇絲蘸鹽之消液、燃於本生燄內、正當細縫之前、則見其一暗線、即叮線、較前更暗、隔絕日光、獨察鋪燄、則見叮線、仍在原處、為黃色明線。

由此可見日光經過鈇氣、此氣能自發明線則令日光圖之黑線更濶、黑線與明線同

五〇四

位、非謂日內無鍍、乃表日球之外氣內、含有鍍氣、收食鍍白熱時所發之光浪、故於光圖內視之、較其餘爲暗。

光圖第三例

凡質白熱時所發之光、卽爲其質之氣所收食。

此光圖曰暗線光圖。

五〇五

發郎胡發線

上文所言之黑線曰發郎胡發線。因其位置不

變、故可作浪長之準則。細爲研究、知鐵之光圖內有三百七十七明

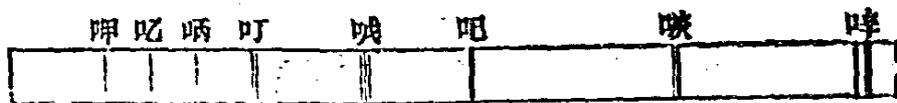
線、與日光圖內同數黑線符合、故知日球之外氣內含有鐵氣。

發郎胡發線之最要者、如第四百七十圖、其右端爲紫色。

左表內列光圖諸黑線之浪長、紅色一端有顯光圖之一分、其浪長

於呷線、紫色一端亦有顯光。

線	色	浪長之極數
呷	暗紅	0007594



第四百七十七圖

圖之一分、其浪長於呲線、兩相比較、則知紅光之浪、較紫光倍長。  
**隱光圖** 顯光圖不能盡包三棱體所分之光、在紅色外、尚有較長之光浪若干、易於覺察、名曰熱線。紫色之外、有較短之光浪若干、多含化力、名曰化線。

呲	噶	吧	乙 1	噠 1	叮 2	叮 1	啞	吃
紫	深藍	藍	深綠	淡綠	黃	黃	朱	紅
0 0 0 3 9 6 8	0 0 0 4 3 0 8	0 0 0 4 8 6 1	0 0 0 5 1 8 4	0 0 0 5 2 7 0	0 0 0 5 0 9 0	0 0 0 5 8 9 6	0 0 0 6 5 6 3	0 0 0 6 8 7 0

五〇七

試驗第二百五十一 取照相所用之紙，割成窄條若干，以針釘於暗室內，兩兩相接，合成長條，用三稜玻璃，令日光圖正照條之中段，其二端各有全長三分之一，在光圖之外，留意察視各色之位置，及顯光圖之二端所在。光照之若干時，則見紙之變化最多者，乃在紫色及其外之區，紅色則幾無改變。

### 依寶培勒之例而論光浪

光源與觀者之距有定，則光圖內黑線之位置不變。如距漸損，則某線相配之浪長亦漸損。如距漸增，則浪長亦漸增。如察某恆星之光圖，見其兩線之位，在日光圖內本位之右，如第四百七十一圖之細線，即可知此星向地而行，故令發此線之浪長有損。如其線在左，倚近紅色一端，則可知此星乃背地球而行，偏左右之差數，可以星之速率定之，故測得其偏差之數，即可藉以推算星之速率。

五〇八

### 光浪相阻

前章已言聲浪之相阻，二浪時可合併或相助，或相阻，光浪亦然，下法可以徵之。



第四百七十一圖

試驗第二百五十二 取光心距較長之平凸鏡以其弧面緊倚平玻璃片人目自上面斜觀之則見同心之圈若干各圈為日光圖之七色如置紅玻璃一片於鏡及光之間令祇有紅光至鏡面則見紅圈與黑圈相間。

諸圈名曰鈕敦圈。凡水面油膜肥皂水泡冰塊裂縫所現之色俱由光浪相阻之故。

### 鈕敦圈解

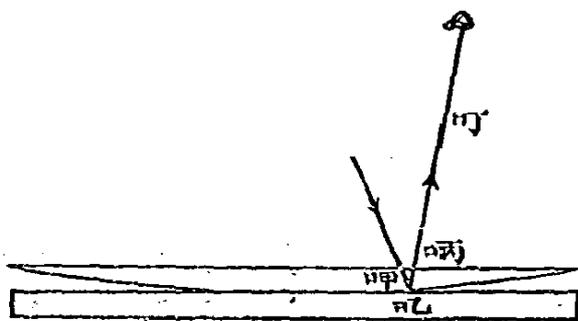
光遇鏡面其折光線至呬有一分返

射而變其狀亦有至呬返射(其狀不變)而過空氣之路與前線同為呬呬如呬呬距為一浪長四分之一則二返光線相配而發光如為一浪長之半則相反而相阻即成黑暗因鏡之弧面與平玻片之間其距由漸而增故有數處其距各等於光圖諸色浪長四分之一。

### 偏向分光

試驗第二百五十三 取照相乾片露置日

光內顯像而定之洗淨待乾(照相家用藥水顯像定像)用細



圖二十七百四第

針於其膜上作若干平行線、持片隔目而視燭燄、則見燄之二旁、有光圖彩色。

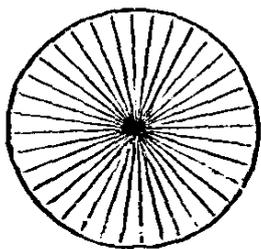
試驗第二百五十四 在上法所用乾片之半方、作平行線二副、互為正交、分膜為小正  
方、隔之窺弧光或白熱光、則見光圖細線伸出、與光正交。

隔細細巾視弧光、則亦可如上所見。玻片上洒萬年松粉、隔之以窺燭光、則見  
其色如虹。此皆因光線透過銳邊、則偏向、分光、如此諸邊互相切近、則光浪相  
阻而現各色。

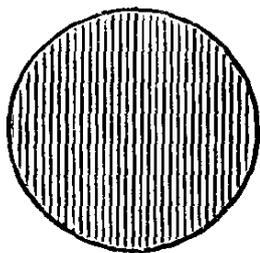
分光櫺者、偏向分光之具也。以玻璃或光明可鑑之金類為之。其上劃平行  
線、每吋萬條至二萬條、如為玻片、則光宜透之、如為金類、則光自其面返射。由  
此可得寬廣之光圖、用以代光圖鏡內之三稜。分光櫺所成之光圖、曰有法光  
圖、以其各色浪長之分佈有定也。

極光 以太顫動而發光線者為橫顫動。

設以第四百七十三圖、為光線之橫剖面、則  
以太之顫動、不止橫顫、乃向各方顫動。如顫



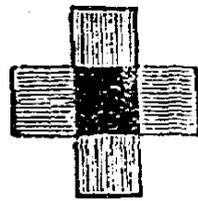
圖三十七百四第



圖四十七百四第

動盡歸一向而橫頭，似第四百七十四圖，則其光線名曰平面極光。極光入目，與常光無異，然苟以合宜之法察之，則現狀頗有趣味。杜瑪玲一種水晶顆粒之性，令光透過，則在一面顫動，即令光成極也。

試驗第二百五十五。取杜瑪玲顆粒二片，平行相並，則光透其一片，亦透其餘一片，如

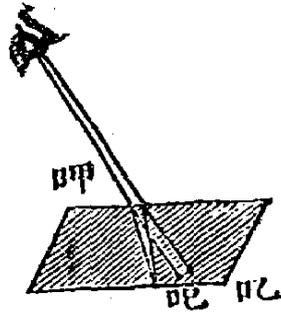


圖五十七百四第

令其一片旋轉，迨與又一片正交，如第四百七十五圖，則無光透過其正交之一方，此似因片之性，祇能任與軸平行之顫動透過也。次置石英或伊斯蘭灰石一方於二片之間，旋轉其一片，則見彩色，是因石英旋轉極光之平面，令光之一分透過次片杜瑪玲也。

### 歧折

紙上點一黑點，上置伊斯蘭灰石一方，隔而視之，則見二點，其一距



圖六十七百四第

餘一點不遠，似在紙面之上。伊斯蘭灰石有此性，名曰歧折。如第四百七十六圖，在上之光線，依常例而折，名曰常線。又一光線，不循常例，名曰歧線。此二線皆已成極，亦一奇也。

如取伊斯蘭灰石一方，順對角線呷<sub>十四百七</sub>割之，復以加拿大波勒殺末黏合之，則其性祇準歧線透過，名曰尼哥耳稜體，多為考察極光之用。

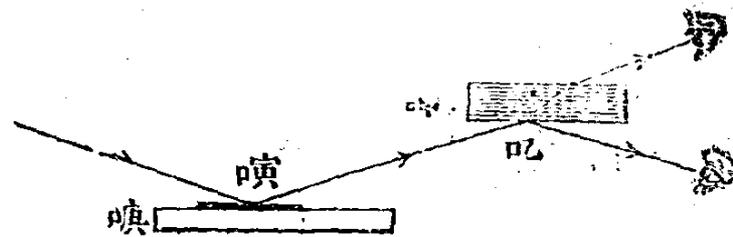
試驗第二百五十六 桌上展黑紙一張，上置玻璃一方，如映<sub>百七</sub>

<sub>十七</sub>割薄玻璃十餘片，持之如圖中之呷，隔之視噴片上之雲母石噴，移動薄玻璃，變其斜度與高低，定於任在何位，則所得之彩光最明。

藉極光以察物質，為物理學中之要事，蓋此外更無別法可窺物體之結構也。置目於薄玻片之下，令光自呷返射，則所得之效同。

### 習問

一 繪三稜體之圖，其折角為六十度，有光線咀透之而出，其路如何，如同此射光線，而變折角呷，每次遞加十度，觀透出之光線，如何改變，迨其不再自呷兩邊透出則光



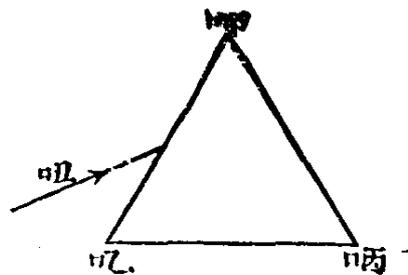
第四百七十七圖

線自何處透出。第十四百七十八圖

- 二 以單鏡所成景物之像，其外邊每不清晰，何故，何以正之。時或外邊有色，何故，何以正之。
- 三 虹形之圓何故。吾人不見虹之全圈何故。
- 四 所見虹之諸色自一點來乎。抑自諸點來乎。試繪圖以證答語。
- 五 用光圖鏡察遠體之光，爲連光圖，則可知何事，如光圖之間有黑線，則可知何事。如爲明線光圖，則可知何事。
- 六 光之速率每秒十八萬六千哩，按前表得黃光浪之長，則推得每秒遇日之光浪若干。
- 七 設窺某恆星之光圖，其叮線偏向紫色一端，則表何事。

### 實驗室功課

- 一 取三稜玻璃入暗室，位置合宜，令日光自小孔入，正透之而成光圖於壁上，誌其二端之所在，度其長短，及稜體距牆之數，以定散光角，試作此試驗之縮圖。

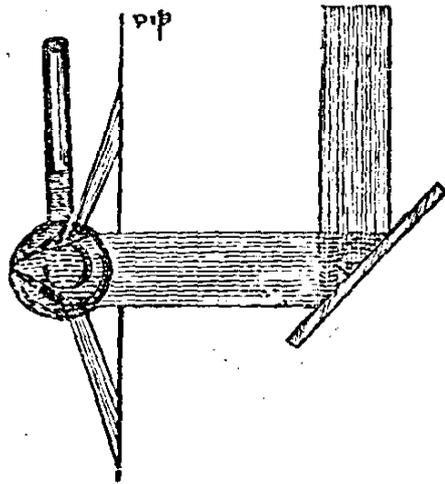


第十四百七十八圖

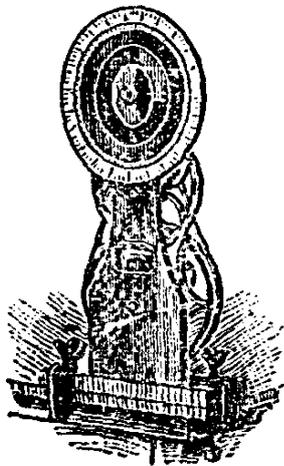
二 於元色硬紙屏上穿一小孔、第四百七十九圖 其前正懸一氣寒暑表之泡、內貯清水、使日光透孔至泡、返射成圓虹、試研究之、令泡與屏之距變移、以定射光線與透出光線間之角、用物蔽泡之一分、以定成虹所需之面為若干、次作圖顯光線之路、而與第四百六十一圖相比。

三 桌上呷叱二點、置色紙二片、設為黃與紅、於其中間呷處、正置一玻璃片、人目在呷、隔玻片而視呷、位置合宜、令叱之光線返照入目、見之正在同處、則可研究諸色所成之合色。第四百八十八圖

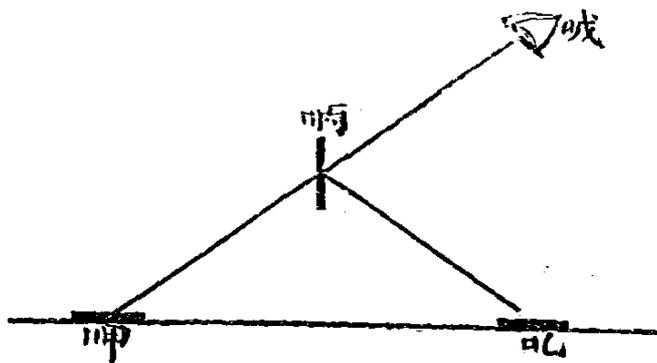
四 用轉輪四、如第四百八十一圖之式、色輪一副、可配



第四百七十九圖



第四百八十一圖

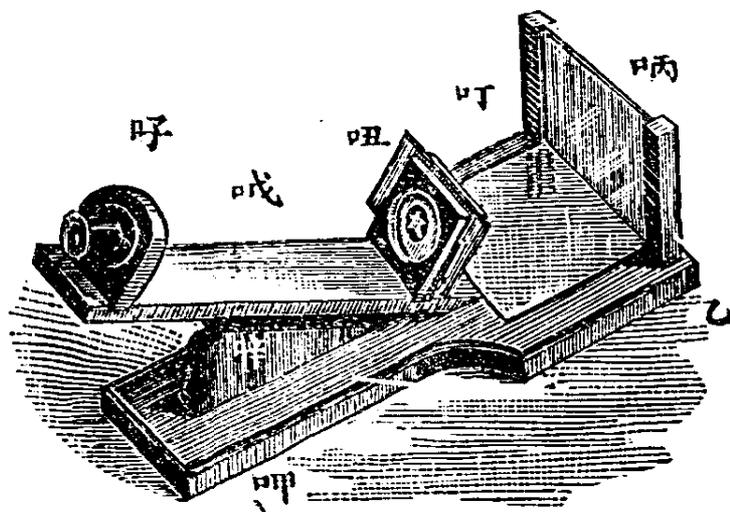


第四百八十八圖

合絲帶及紙張之顏色、試作一表列所用之色、及其分數。輪之外邊、有分度環、各色之分數、可以一望而知。

五 本生燄內燃鎳與鋇、用分光鏡定其明線所在、細觀其色、更於本生燄內燃別種雜質、觀其果含鎳或鋇否。

六 作簡便極光鏡法、取呷吡底板、長約一呎、一端豎立糙玻璃之簾、底上展黑紙一方、上置玻片、叮以啐架支吡板、斜倚底板、成角約三十五度、其上端呼板、穿孔、中插尼哥耳稜體、下端咀為夾架、置此器於合宜之處、令光透兩簾、為叮所返、於呼正可窺見、置雲母石、石英石膏等薄片於啐夾之間、人目自呼窺之、并旋轉尼哥耳稜體、則可見雲母石片厚薄不同、而現彩色。又以窺玻璃瓶塞、旋轉尼哥耳稜體、見其柄上有黑點、即因瓶塞熱時受壓、故有絞勢、輕擊之即斷。



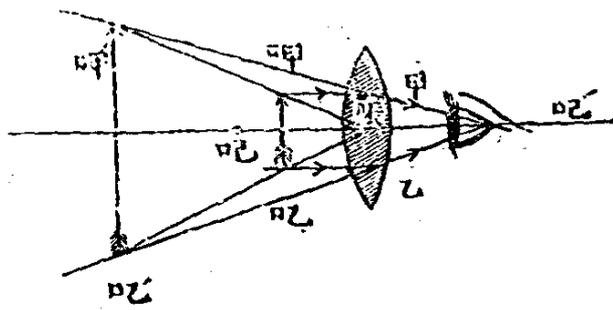
第四百八十二圖

五 視器

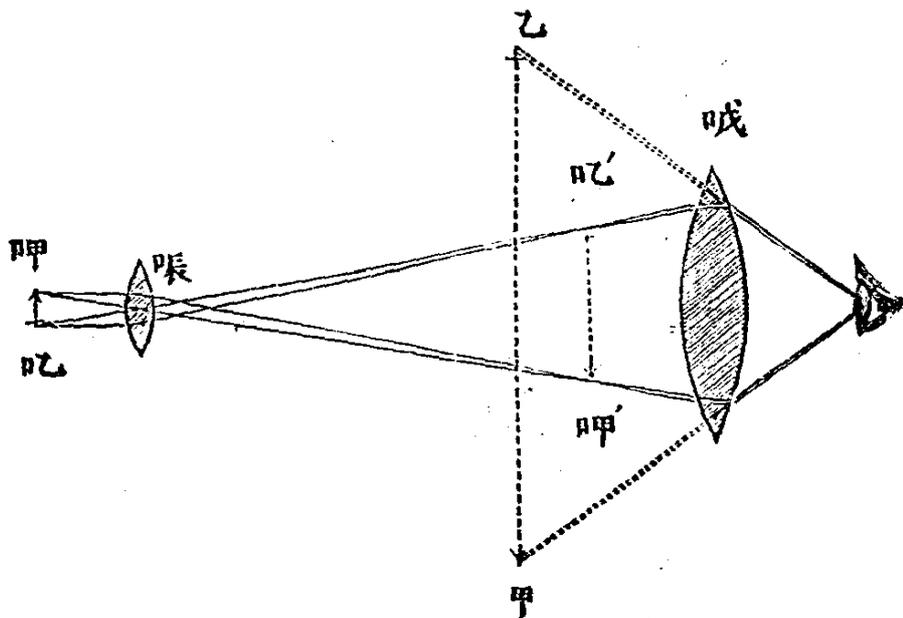
簡顯微鏡

微鏡祇爲一雙凸鏡其光心距常短。置物於首光心及鏡之間，則見像幻而正，大於原物。如第四百八十三圖，呬爲物，則其呬點乃在甲呬及呬嘖之交點呬，見第四百八十八節。呬亦可仿此定之，據此二點，即可定全像之所在。

繁顯微鏡  
者有聚光鏡二，一曰物鏡，如嘖。一曰目件，如



第四百八十三圖



第四百八十四圖

五一四

五二三

噫。二件相距合宜、令物鏡成物之放大像、真而倒、在目件與其光心之間。目件再將此像放大、人目視之、則見倒像在甲乙。

### 天文遠鏡

常用天文遠鏡為折光鏡、與繁顯微鏡同

理、惟顯微鏡觀物、二鏡俱有放大之用、因物距鏡甚近也。遠鏡則祇目件放大物像、因物距鏡甚遠。物鏡所成之像、幾在首光心、且極小。

### 千里鏡

天文遠鏡所成之像、倒而不正、以觀天曜、原屬

無妨、如觀地面諸物、則以正像為便、故於物鏡及目件之間、再置二聚光鏡、即令其像正立。

### 嘎利利瀉之遠鏡

### 觀畫鏡

此為遠鏡之最簡

者、祇有二鏡、物鏡雙凸、目件雙凹。第十四百八十五圖目件置於物鏡及其所成像之間、令光線散行、人目視之、如自甲乙而來、故

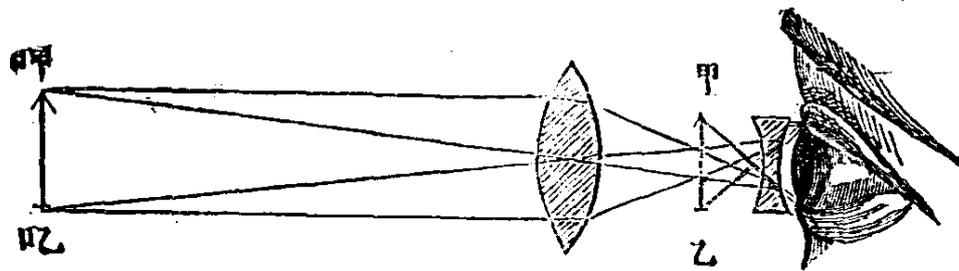


圖 五 十 八 百 四 第

五二八

成放大之正像。觀畫鏡卽以此等遠鏡二者合成。

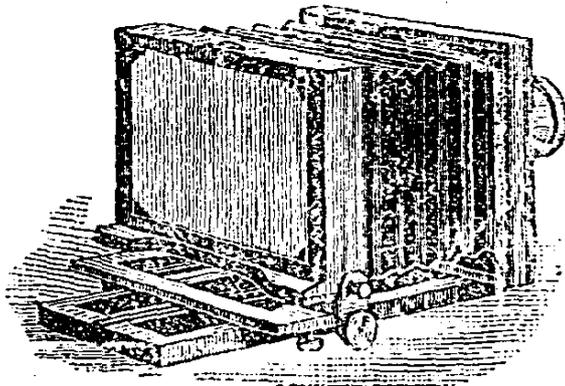
**射影燈** 所以射畫片之影於屏上而放大之。其要

件爲明光源，如第四百八十六圖。聚光鏡一，如映，爲  
二平凹鏡相背合成。玻璃畫片一，如呻，射鏡一，如吧，爲  
數鏡合成，放大畫像。光源或爲電氣弧光，或爲石灰光，

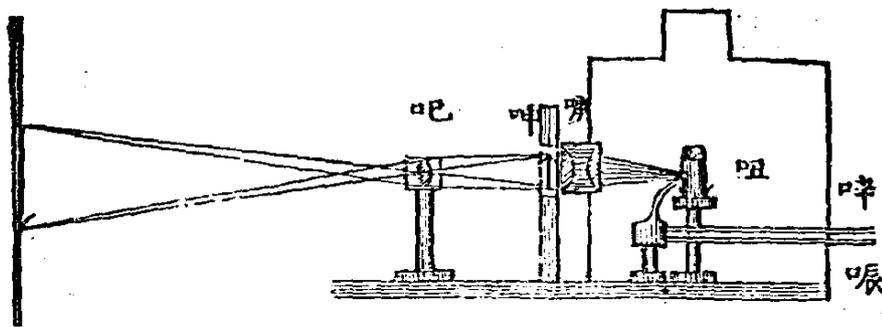
以輕養二氣激使白熱，或用煤油燈，雖明不及前二項，然亦可用。

**照像鏡** 爲不泄光之匣，一端

裝無色差鏡，又一端裝糙玻片，并有空位，適可置盒，盒內貯易感之乾片。鏡之旁有隔簾若干，中間有大小不等之口，可任意



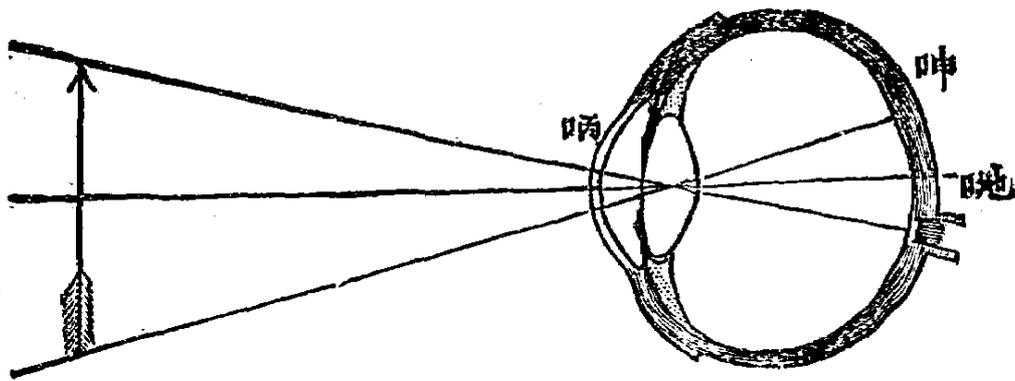
圖七十八百四第



圖六十八百四第

用之阻絕外光，令透鏡之光有定，成像清晰。照像鏡可前後伸縮，令鏡與糙玻片之距，正合光心，乃置入乾片，得物之像。次入藥水內，顯像，其理乃使膜內銀鹽為光所感，而成銀質，故作黑皮，其未為光所感之鹽，則以海波梳打水內消去之。再洗淨待乾，則照片已成，用蛋白紙即可晒像。第十四百八十七圖

人目不啻一小照像鏡，亦有暗房與鏡，及成像之簾。如第四百八十八圖，呻為眼，白衣作暗房之外牆，延至前面，為透明之衣，稱曰明罩，如哂。其鏡為有躍力之透光質所成，曰睛珠，為垂肌所持，分目為二房，在其前者為無色明液，是曰小房水，在其後者，液多而凝，是曰大房水。睛珠之前，環懸眼簾，目色之殊，即由於此。中間小孔，名曰瞳子。物之像成於目之內網。



第四百八十八圖

目眼、腦衣、視覺由此爲腦線傳至腦府。圖中地點曰黃點、爲腦衣上最易受感之處、因其正在眼軸線上、故爲人目視物成像之處。

觀於上文、可見照像鏡之鏡或糙玻片、必能移動、乃能合遠近諸物之光心。人目中睛珠與腦衣之距、定而不變、故合光心之法、乃令睛珠前面曲率有變、則其光心距亦變。

五二

睛點 兩目內邊、當眼腦線透入處、各有一睛點、可以下法試之。試閉左目、以右目注視圖中左方之十字、則可驗得此點、蓋當右目注視十字時、不見右方之○、然如移書向前退後、則○又見。

○

五三

眼腦衣在目內作成像之簾、可以左法試之。  
試驗第二百五十七 於暗室窗上作小孔、裝一凸鏡、其後置白紙簾、位之合宜、使外景之像、映於紙上、中央清晰、則四周模糊、如曲紙作圓弧、則當其橫軸上之像、俱能一例清晰。

此法可顯因眼腦爲球形、故目內之像、全體清晰。

十

# 重率表 附表

鉛 生	鐵 熱	鐵 生	金 生	銅 生	鈇 生
1 1 3 4	7 8 5	7 0 8	1 9 3 0	8 8 8	2 5 7
鈺 生	錫 生	銀 生	鈇	鎳	汞
7 1 0	7 2 9	1 0 4 5	2 1 4 5	8 6 0	1 3 5 9 6

## 銅絲表

熱度  $\parallel$  7° 5 (法)  
重率  $\parallel$  8.89

號數	徑之時數	每千呎之歐姆數	每磅之呎數
1	2 8 9 3	1 2	3 9 5

1	1	1	1								
3	2	1	0	9	8	7	6	5	4	3	2
			1	1	1	1	1	1	2	2	2
7	8	9	0	1	2	4	6	8	0	2	5
2	0	0	1	4	8	4	2	1	4	9	7
0	8	7	9	4	5	3	0	9	3	4	6
2	1	1	1								
0	5	2	0	7	6	5	4	3	2	2	1
0	9	6	0	9	3	0	0	2	5	0	6
6	5	4	3	2	2	1	1	1			
3	0	0	1	5	0	5	2	0	7	6	4
9	6	2	3	2	0	9	6	0	9	2	9
1	9	0	8	8	5	0	1	0	3	9	9

2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
5	4	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4
1	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6
7	0	2	5	8	2	5	0	5	0	7	4
9	1	6	3	5	0	4	3	3	8	1	1
3	2	2	1	1	1						
2	5	0	6	2	0	8	6	5	4	3	2
4	7	3	1	8	1	2	3	0	0	1	5
0	0	8	5	2	6	9	9	7	2	2	9
1											
0	8	6	5	4	3	2	2	1	1	1	
3	1	4	1	0	2	6	0	6	2	0	8
2	9	9	5	8	4	4	3	1	8	1	0
9	2	6	1	5	0	2	7	5	1	6	5
6	1	6	5	6	0	6	3	9	4	3	9

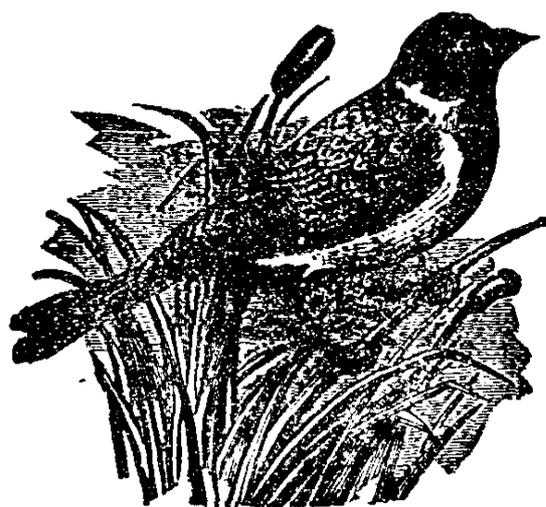
30

100

10380

329397

物理學終



Wedge  
Weight  
Weston  
Wheatstone bridge  
Wheel and axle  
Wind instruments  
Wireless telegraphy

劈  
重  
魏斯敦  
韋斯敦橋  
輪軸  
吹器  
無線電報

Work  
Xrays  
Yard, standard  
Zero, absolute

工程  
葛格司光線  
碼  
極度

物理學

中西名目表

七

Sharp keys	剛音	Tenth shunt	十分數似結
Shunt dynamo	側路代那機	Theories	理想
Shunt, tenth	十分數似路	Thermal unit	熱單位
Siphon	虹吸	Thermometer	寒暑表
Siren	測音器	Three-wire system of incandescent lighting	三線法
Solar spectrum	日光圖	Thunder	雷
Solenoid galvanometer	銅絲圓電表	Timbre	聲結
Solenoid	銅絲圈	Toepler-holtz machine	都伯候氏電機
Solidification	凝結	Torrillian vacuum	吐黎失利真空
Solids	定質	Torsional vibrations	絞動
Solution	消汁	Total reflection	全返
Sonometer	律拉器	Touch-paper	火紙
Sound	聲	Transformation of energy	工力之變通
" intensity of	聲之濃率	Transformer	轉運器
Sounder in telegraph	響器	Translucent bodies	半明體
Space	距	Transmitter, microphone	理革風傳聲具
Specific gravity	重率	Transparent bodies	透明體
"    "    bottle	重率瓶	Transposition	移位
"    "    bulb	重率球	Transverse vibrations	橫動
"    heat	熱量	Trough of wave	浪凹
"    inductive capacity	感電量	Umbr	隱處
Spectroscope	光圖鏡	Uniform forces	等力
Spectrum	光圖	"    motion	平均動
Spherical aberration in mirrors and lenses	凸差	Units	單位
Spheroidal state	球勢	Unstable equilibrium	非固定
Stable equilibrium	固定	Vacuum	真空
Static electricity	靜電	Vaporization	化散
"    laws	靜例	Variable forces	變恒力
Statics	靜重學	"    motion	不平均動
Steam engine	汽機	Velocity	速率
Steelyard	鋼秤	Ventilation	通風, 換氣
Storage cells	電池	Vibrations	震動
Strings	弦	Virtual focus	幻光心
Substances	質	Virtual image	幻像
Suction pump	吸水龍	Viscosity surface	面上之粘性
Surface tension	面力	Vitreous electricity	玻璃電氣
Suspension, axis of	懸軸	Volt	弗打
Sympathetic vibrations	應動	Voltaic cell	弗打蘭電池
Switch	轉機	Voltmeter	電化器
Tangent galvanometer	正切電表	Voltmeter	弗打表
Telegraph	電報	Volume	體積
Telephone	德律風	Watt	瓦特
Telescope	遠鏡	Wave length	浪長
Temperature	熱度	"    motion	浪動
Temperature coefficient	熱度係數		
Temporary magnets	暫磁鐵		
Tenacity	黏力		
Tension, surface	面力		

Object glass of microscope	物鏡	Pumps	抽筒
Octave	八音, 一級	Quantities, electrical	電學量何
Ohm	歐姆	Radiation of heat	射熱
Opaque bodies	阻光體	Radiometer	射熱表
Opera glasses	觀畫鏡	Rainbow	虹
Optical center of lens	光中	Rarefactions	稀薄
„ instruments	視器	Ray, extraordinary	絳線
„ lantern	射影燈	„ incident	射光線
Oscillation of pendulum	擺搖	„ luminous	明線
Osmose	透皮機和	„ ordinary	常線
Overtones	附音	„ reflected	返光線
Parallelogram of forces	力之平行方形	Rayleigh	雷賴
Pascal	巴斯噶	Ramsey	爾賽
P. D. (difference of potential)	電勢較	Reaction	抵力
Pencil of rays	光筆	Real focus	真光心
Pendulum	擺	Real image	真像
Penumbra	外虛	Réaumur	羅木耳
Percussion, center of	擊心	Rectilinear motion	直線動
Phonograph	記聲器	Reed instruments	簧器
Photometers	光表	Reflected motion	回動
Physical changes	體變	„ ray	返光線
„ forces	體力	Reflection, angle of	返光角
„ pores	微隙	„ total	全返
Physics	物理學, 質學	„ angle of	折光角
Pigments	色料	„ double	絳折
Pitch	高低	Relay	副磁鐵
„ of screw	紋距	Repellent forces	驅力
Pitch-ball electroscope	通草球電探	Resinous electricity	松香電氣
Plaute	伯爾德	Resistance, in electricity	阻力
Plane mirror	平鏡	Resistance box	阻力箱
„ inclined	斜面	Resonance	助響
Plate machine	玻璃片電機	„ tube	助響管
Plumb line	豎線	Resonator	助響器
Plunge battery	起落電池	Retarded motion	減速動
Polariscope	極光鏡	Ring armature	環形啣鐵
Polarity	極性	Röntgen rays	耶根光
Polarized light	極光	Rowland	羅蘭
Porosity	微隙	Rubmkorff coil	梭考夫圈
Potential electrical	電勢	Rumford's photometer	倫敦德光表
Potential energy	壓力	Savart's wheel	撒伐耳輪
Poundal, unit of force	磅達	Scale, musical	樂音
Press, hydraulic	壓水櫃	Screw	螺旋
Pressure gauge	壓力表	Seconds pendulum	秒擺
Prism	三稜體	Self-induction	自感
„ Nicol's	尼哥稜體	Semitone	半音
Projectiles	擲體	Sensitive flames	度顯火燄
Proof plane	證電片	Series dynamo	成級代那機
Pulley	滑車		

Kapp	郑伯	Manometric flames	度聲火錶
Key, in telegraph	電綸	Mass	體質
Keynote	底音	Matter	物質
Kilogram	基羅格蘭姆	Mean velocity	中速率
Kilogrammeter	基羅格邁當	Measurement	度量
Kinematics	動學	Mechanical equivalent of heat	熱力互等率
Kinetic energy	顯力	Mechanical powers	簡器
Kinetic theory of gases	氣質運動之理想	Megadyne	梅格達依
Kinetics	動重學	Megohm	梅格歐姆
Konig	江尼本	Melting point	熔點
Laboratory work	實驗室功課	Metals	金類
Lactometer	乳表	Meter	邁當
Lantern, optical	射影燈	Microhm	密格歐姆
Leclanché cell	雷本蘭池	Micrometer caliper	度測規
Latent heat	隱熱	Microphone	埋革風
Lenses	鏡	Microscope	顯微鏡
"    achromatic	無色差鏡	Milliampere	密力安培
Lever	槓桿	Millimeter	密力邁當
Leyden jar	來頓瓶	Mirrors, concave	凹鏡
Light intensity of	光之速率	"    convex	凸鏡
"    optical instruments	視器	"    plane	平鏡
"    polarized	極光	Molar forces	體力
"    reflection of	返光	Molecular forces	合點力
"    refraction of	折光	Molecules	合點
Lightning	閃電	Moment of a force	能率
Lightning rods	防雷鐵	Momentum	動力
Line, in telegraph	電線	Monochoord	獨弦琴
Lines of force, magnetic	磁力線	Morse	莫爾斯
Liquids	液質	Motion	動
Liter	立脫耳	"    uniform	平均動
Longitudinal vibrations	縱震動	Motor, electric	電動機
Loops	動點	Mouth instruments	口器
Luminous bodies	發光體	Music	樂
Luminous heat	明熱	Needle, dipping	指極針
Machines	機器	"    magnetic	磁針
Magdeburg hemispheres	麥堡半球	Negative electricity	負電
Magnetic drag	磁器之滑力	Neutral equilibrium	泛定
"    field	磁界	Newton's disk	七色輪
"    lines of force	磁力線	Newton	頓敦
"    meridian	磁經線	Newton's rings	頓敦圈
"    needle	磁針	Nicholson hydrometer	尼哥耳浮表
"    substances	磁體	Nicol's prism	尼哥棱體
Magnetism	磁氣	Nodes	靜點
Magnets	磁鐵	Noise	雜音
Major chord	大合音	Nonconductors	絕電質
Malleability	能性	Nonluminous heat	暗熱
Manometer	壓力表	Nonmagnetic substances	非磁體
		Normal spectrum	有法光圖
		Northern lights	北魂

Erg 曷耳格  
 Ether 以太  
 Evaporation 化散  
 Expansibility 漲性  
 Expansion 漲  
 Experiments 試驗  
 Eyepiece 目件

Fahrenheit 法倫海  
 Falling bodies 墜體  
 Faraday 法耳台  
 Films 膜  
 Fixed pulleys 定滑車  
 Flames, sensitive 應顯火球  
 Flat keys 柔絃子  
 Floating bodies 浮體  
 Fluid 液  
 Fluoroscope 閃光鏡  
 Focal length 光心距  
 Foci 光心  
 Foot 呎  
 Foot poundal 呎磅

Foot-pound-second system of measurement } 呎磅秒法

Force 力  
 ,, magnetic lines of 磁力線  
 ,, moment of 力之能率  
 ,, pump 壓水龍

Formulas 公式  
 Fountain in vacuo 真空噴水泉

F. P. S. System of measurement } 呎磅秒法

Fractional distillation 分蒸法  
 Fraunhofer lines 發那胡發線

Freezing point 冰點  
 Friction 磨擦

Frictional machines 磨電機  
 Fulcrum 倚點

Fusion 鎔

Galileo 嘎利利溫  
 Galvanometers 電表

Gases 氣  
 Geissler tubes 蓋司拉管

Gold-leaf electroscope 金葉電探  
 Gram 格蘭姆

Grating, diffraction 分光柵  
 Gravitation 攝力

Gravity, center of 重心  
 ,, specific 重率

Gravity cells 重率電池

Hardness 硬性  
 Hare 亥耳  
 Harmonic motion 和合動  
 Harmonics 諧  
 Harmony 和諧  
 Heat 熱

,, latent 隱熱  
 ,, luminous 明熱

,, mechanical equivalent of } 力熱互等率

,, radiation of 射熱  
 ,, rays 熱線

,, specific 熱量  
 Hoffman's apparatus 霍弗曼器

Homogeneous atmosphere } 平均天氣

Horse power 馬力  
 Hydraulic press 壓水櫃

Hydrogen 輕氣  
 Hydrometer 浮表

Hypothesis 臆想

Images 像  
 ,, multiple 多像

,, real 眞像  
 ,, virtual 幻像

Impact 擊撞  
 Impenetrability 不相入

Impulsive forces 驟力  
 Incandescent lighting 熱光

Incidence, angle of 射角  
 Incident ray 射光線

Indestructibility 不滅  
 Inclined plane 斜面

Index of refraction 折光指數  
 Induced current 感電漚

Induction 感電  
 ,, self 自感

Induction coil 感電圈  
 Induction machines 感電機

Inertia 質阻  
 Insulators 絕電質

Interference in light 光浪相阻  
 ,, ,, sound } 聲浪相阻

Interrupter 斷路器  
 Intervals, musical 中隔

Jack 扛重器

Jaule 焦勒

Charcoal	桴炭	Deviation, angle of	差角
Charles	查理斯	Dew point	露點
Chemical action	化功	Dialysis	分液法
"    changes	化變	Diathermanous bodies	透熱體
"    rays	化線	Diatonic scale	八音樂級
Chromatic aberration	色差	Dielectrics	電體
Chromatic scale	全級子	Difference of potential	電勢較
Circuit	電環	Diffraction	折光
Coal	煤	Diffusion	散光
Coefficient of linear expansion	線脹指	Dipping needle	指極針
Coherer	粘器	Discharge electrical	放電
Cohesion	結力	Discord	失調
Coil, induction or rühmkorff	感電圈	Dispersion of light	分光
Colloids	膠體	Distillation	蒸
Color	色	Diverging lenses	散光鏡
Commutators	反向器	Divisibility	析分
Complementary colors	餘色	Doppler	費培勒
Compound dynamo	重疊代那模	Double refraction	歧折
"    lever	繁桿	Drum armature	鼓形喇線
"    microscope	繁顯微鏡	Ductility	扯性
"    pendulum	雜擺	Dynamics	動重學
Compressibility	縮性	Dynamo	代那模
Concave lenses	凹鏡	Dyne	達因
"    mirrors	凹鏡		
Condensation, in sound	緊響	Ebullition	沸
"    of vapors	凝	Echo	迴音
Condenser	蓄電	Edison	愛狄孫
Condensing pump	積氣筒	Efficiency of machines	機器之實效
Conductors, electrical	傳電質	Elasticity	彈力
Conjugate foci	互光心	Electric motor	電動機
Conservation of energy	工力之不廢	Electrical capacity	電量
Continuous spectrum	光圖	"    machines	發電機
Convection	環傳	"    measurements	電學度量
Converging lenses	聚光鏡	Electricity	電氣
Convex lenses	凸鏡	Electrodes	電極
"    mirrors	凸鏡	Electrolysis	電化
Crest of wave	浪峯	Electrolyte	電化液
Critical angle	限角	Electro-magnet	電磁
Crookes	克羅克司	Electro-metallurgy	電提金類
Crystallization	粒性	Electro-motive force	電動力
Crystalloids	結晶體	Electrophorus	感電盤
Current, electric	電溜	Electroplating	電鍍
Curvature, center of	曲線心	Electroscopes	電探
Curve	曲線	Electrostatic, induction	感電
Curvilinear motion	曲線動	Electrotyping	電鼓模範
		E. M. F. (Electro-motive force)	電動力
D'Arsonval	阿孫乏	Energy	工力
Declination, magnetic	偏差	Equilibrant	等力
Density	密率	Equilibrium	定

# 物理學中西名目表

Aberration, chromatic	色差	Axis of suspension in pendulum	懸軸
"    spherical	凸差	Axle and wheel	輪軸
Absolute zero	極度	Balance	天平
Absorption of heat	收熱	Balancing columns	較柱
"    of gases	收食氣質	Barometer	風雨表
"    of liquids	收吸液質	Battery	連電池
Absorption spectrum	暗線光譜	"    secondary	副電池
Accelerated motion	漸加速動	Beam of light	光線
Accumulators	電池	Beats	拍音
Actinic rays	化線	Bell	裴爾
Adhesion	粘力	Blake transmitter	裴來克傳聲具
Agonic line	無偏線	Body	體
Air	空氣	"    falling	墜體
Air pump	抽氣筒	"    floating	浮體
Air thermometer	空氣寒暑表	Boiling point	沸點
Alcoholmeter	醇表	Boyle	巴哀勒
Alternator	交換器	Brush discharge	刷形放電
Ammeter	安培表	Bunsen	本生
Amplitude of oscillation	擺搖之長	Calorie	克羅力
"    of vibrations	顫動之廣度	Camera	照像鏡
Aneroid barometer	空盒風雨表	Capacity electrical	電量
Angle, critical	限角	"    unit of	容量之準箇
"    of dip	俯度	Capillary attraction	毛管吸力
"    of deviation	差角	Cathode	負極
"    of incidence	射角	Cells	筒電池
"    of reflection	返角	"    storage	電倉
"    of refraction	折角	Center of curvature	曲線心
Annual variation	年變	"    of gravity	重心
Arc lighting	弧光	"    of moments	能率心
Archimedes, principle of	亞基米德之理	"    of oscillation	擺心
Argon	氣	"    of percussion	擊心
Armature	銅鐵	Centigrade scale	百度
Astatic galvanometer	無定電表	Centimeter	生的適當
Athermanous bodies	阻熱體	Centimeter-gram-second system of measurement	厘米克秒法
Atmosphere	空氣	Centrifugal force	離心力
Atmospheric electricity	空中電氣	O.G.S. system of measurement	厘米克秒法
Atoms	元點		
Attractive forces	吸力		
Atwood	阿德武		
Aurora borealis	北曉		
Axis	軸		

光緒三十年八月首版

翻印必究

總發行所

商務印書館

上海棋盤街中市

原譯者 山陰謝洪資

校閱者 商務印書館

發行者 商務印書館

印刷所 商務印書館

上海鐵路北錢業會館西文昌閣隔壁

物理學

定價每本大洋貳元

