物理學

民國二十二年十二月
陸軍砲兵學校編印

物理學

民國二十二年八月陸軍砲兵學校編印

第一章　緒論

第一款　物理學　充滿空間之一部而能由吾人感官辨識其存在者曰物體構成物體之實質曰物質例如銅元銀元均爲物體而銀與銅則爲物質由物體集成之物質界變動不已如地轉水流柴炭燃燒生物成長等通稱現象合現象與物質界曰自然研究自然之科學曰自然科學物理學爲自然科學之一分科其研究之對象爲物性運動熱音光電磁等項其目的在闡明此類現象所依從之定律由此以求統一現象啓發人智促進文化

第二款　實驗與測定　意名物理家伽利略欲明物體落下之遲速是否因其輕重而異乃在比薩斜塔上使輕重不同之球體自由落下由其同時達地斷定一切物體之降下皆相同此種實際觀測之方法曰實驗

物理學係以實驗爲基礎發展而成欲行精密之實驗必有賴於正確之測定故實驗及測定爲研究物理學不可須臾離之工具

第三款　單位　測定各種量時須有一定量爲其標準始能持與所欲測者相每較視其含有此標準量之若干倍此標準量曰單位

長之單位用粎或釐或毫時之單位用平均太陽日或時或分或秒質量之單位用克或兛或兞

上述之三種單位爲一切單位之基礎故曰基本單位由此誘出之各單位曰誘導單位由一定之基本單位誘出之單位系統曰絕對單位以釐克秒爲基本單位之系統曰 C. G. S, 單位

第四款　質量與重量　物體內含有物質之某定量不論在宇宙之任何位置其值恆一定不變謂之質量一物所受地心引力之量謂之重量如以天秤權物以法碼量其輕重不論處其量不變以地心引力所及之兩端相等也故可稱之曰質量以手托一物卽覺有一種曳手向下之力故手中所受之量乃重量

第五款　密度　各種物質單位體積所含有之質量曰密度水在攝氏4°每一立方糎之質量爲一克故其密度爲一$\frac{\text{克}}{\text{立方糎}}$如以 d 表密度 m 表質量 v 表體積則

$$d=\frac{m}{v}$$

各種物質之密度對於攝氏4°之水之密度之比曰比重但水之密度爲一$\frac{\text{克}}{\text{立方糎}}$故用 C. G. S. 單位表物質之密度時其數值與比重之數值恆相同

第六款　物質之狀態　木石等有一定之體積形狀者曰固體水油等有一定之體積而無一定之形狀者曰液體空氣蒸氣等既無一定之體積又無一定形狀者曰氣體液體及氣體又合名曰流體水遇熱則成蒸氣遇冷則成冰可知同一物質其狀態須視狀況而定

第七款　物質之構造　一切物質皆分為分子分子再分性質卽異名曰原子原子再分性質又異而成電子電子為一切物質之終極成分不容再分

物體受壓體積卽縮小可知分子間實保有相當之距離並非絕對密接一分子對於其周圍各分子有互相吸引之力曰分子力屬於同種分子間者曰凝聚力屬於異種分子間者曰附著力銅鐵不易破開卽凝聚力之為用漿糊能貼紙片卽附着力之為用

第八款　運動及速度　一物體對於標準體隨時變更其位置曰運動不變者曰靜止變更位置之遲速及其方向之程度曰速度遲速方向均無變化者曰等速運動兩者之中任有一種變化或同時皆變者曰變速運動

問題一

1. 1竔之牛乳重1032克求其密度
2. 有木條為30×20×500糎質量為50瓩其密度為何
3. 酒精之密度為79克立方糎則一竔之酒精其質量為若干
4. 黃銅之密度為85克立方糎設有黃銅一塊重34克則其容積當為若干

第二章　力及運動

第九款　力　凡推物引物體之作用曰力物體之重量由於其受地球之引力卽動力之單位常用克或斤一力由三要素而定卽大小方向及作用點而此三性質爲直綫之特性故力可用直綫表之

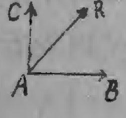
第十款　在同一綫上作用之二力之合力　二力之合力者卽二力同時作用於某物體上所生之結果與此單獨之合力作用於此物體上所生之結果同

取二彈簧秤懸於一小環上向同方向曳之設所示爲10克及5克另以第三彈簧秤懸於同一之點而自反向曳之當全體平衡時此第三者所示爲15克故二平行力之合力作用於同一方向者等於二平行力之和

第十一款　平衡力　平衡者制止一力或數力作用所生之運動之傾向之力也此力與合力方向相反大小相等且同作用於一點如前款所述第三者之力爲15克並非5與10克之合力乃與其合力大小相等方向相反之力

第十二款　非平行力之合力　設物體受相等之二力作用自對稱察之物必循AC及AB之中綫AR而行此綫卽表AC與AB合力之方向及其作用點若二力不相等則合力必偏近於大力

圖解求兩非平行力之合力可用下法

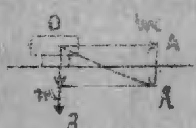


1. 作綫以表此兩力
2. 以此爲兩邊作平行四邊形

3. 自作用點作對角綫

此對角綫卽表示合力之大小方向及作用點

第十三款 分力 設於水平道上有車似 OR 方向之力作用之則 OR 對此車有二種分力一爲推車向前行OA一爲壓車向下OB依 OA 方



向所施之單力可使道上之車發生運動恰如 OR 所生者謂爲在OA方向OR之分力同理依 OB方向施力使道上受壓力適用於 OR 所生者謂爲在OB方向OR之分力約言之某方向之分力卽力在此方向之有效值

由此知一力依OA 方向一力依 OB 方向所生之効果旣適等於 OR 之作用則可此 OR 爲對角綫作一平行四邊形二分力之大小卽以二邊之長短表之

第十四款　牛頓氏之萬有引力律　律曰宇宙間各物體皆互相吸引其引力與質量之相乘積爲正比與質量間之距離之自乘爲反比

地球表面至其中心約爲四千哩由牛頓之律知有物體離地面四千哩之高則該物體之重量祇爲在地面上之四分之一由此推之物體離地若爲數呎或達數里其所減之重爲數實極微

第十五款　重心　物體之重心卽各部分引力之合力之作用點亦卽假想物體全重所匯集之點故論物體所受之地球引力時不必計其多數之小引力可以視爲一單力等於物體之重而作生於重心者由此可知凡物體因受地球引力之影響皆有使其重心降至極底之位置之傾

向也

第十六款 墜體 尋常測得體輕如羽毛者其落必緩體重如鉄其落必速此人所共知者惟將鉄與羽毛置真空管中則其落下之速度相等因此可知各種物體不論輕重如無空氣之抵抗力，其落下速度必相同

第十七款 運動 凡物體改變其位置者謂之運動例如舟車之馳駛鳥獸之飛行皆係運動以其一時在此而過一時則易其地位矣故運動實兼時與位二者之作用也

(1) 凡運動所經之路如係直線者則謂之直線運動如係曲線者則謂之曲線運動

(2) 凡但指一運動體在單位時間內所經之路爲若干而不及其運動之方向者謂之速如並及其運動之方向者則謂之速率例如設有二物體其運動之遲速相同如祇言其每點鐘或每分鐘運動若干里或若干尺等類而不及此二運動體之方向爲如何者則謂之速如並此二物體相關之方向爲平行或成何角度則謂之速率

(3) 凡物體運動在其每單位時間內所經之路多寡相同者則謂之等速運動如多寡不同者則謂之不等速運動例如一火車每點鐘行三十里則其運動爲等速運動如在此點鐘行三十里而在彼點鐘行三十餘里或不及三十里則其運動爲不等速運動

(4) 凡等速運動體其速率亦必相等謂之等速率凡不等速運動

體其速率亦必不相等謂之不等速率凡不等速率其每繼續之二單位時間內所差之數謂之加速率例如一火車第一點鐘行三十里第二點鐘行四十里則所差之十里卽謂之加速率加速率亦有等加速率及不等加速率二種之別凡每繼續之二單位時限所差之數均相等者謂之等加速率如不等者謂之不等加速率例如一運動體第一點鐘行三十里第二點鐘行四十里第三點鐘行五十里則其加速率爲等加速率如其相差之數不相同者則爲不等加速率

第十八款 等速運動之公式 設有一等速運動體其速率爲v(卽在每一單位時間內所經之路)則在二個單位時間內所經之路卽爲$2\times v$在三個單位時間內所經之路爲$3\times v$以此類推在t個單位時間內所經之路爲$t\times v$若以s表此所經之路則得

$$s=vt$$

例如一物體每秒行十一呎問七秒共行若干尺可算之如下

因$V=11$　　$t=7$　　$\therefore S=11\times 7=77$呎

又由代數定理上式更可化得下二式

$$V=\frac{t}{s}\qquad t=\frac{v}{s}$$

第十九款 等加速運動之公式 按等加速運動之緊要公式共計有三个試分別述其求出之法如下

A. 速率與時相關之公式 設有一運動體其起首時之速率爲V。然以後則每一個單位時間增加其速率其所增之數設爲a(卽加速

率）則一秒後其速率爲$V_{o}+a$二秒後其速率爲 $V_{o}+2a$ 三秒後其速率爲$V_{o}+39$故t秒後其速率爲$V_{o}+at$設以V以此 t 秒後之速率則得公式如下

$$V=V_{o}+at$$

例： 有一等加速率之運動體其每之等加速率爲12尺設其起首時之速率爲7尺則5秒後之速率爲若干

解： 因$V=V_{o}+at$

此處知 $V_{o}=7$尺/秒 $a=2$尺/秒 $t=5$秒

代入公式中得 $V=7+12\times5=67$尺/秒

B.所經之路與時間相關之公式 如欲求此種等加速率運動所經之路則須另求一公式如下

法先求每個單位時間之平均速率然後以共需之時乘此平均速率則得所經之路按數學理凡數種等加之數其平均之數恆爲首尾二數之和之半

例如1。2。3。4。5。係五種等加數其平均數爲$\frac{1+2+3+4+5}{5}=3$然此平均數3亦可以首尾二數1與5相加後拆半得之$\frac{1+5}{2}=3$今欲求等加速率之平均速率其法亦如此故設以 V_{o} 爲起首時之速率則末後時之速率當爲$V_{o}+at$此首尾二速率之和爲 $2V_{o}+at$ 以2除之則得$V_{o}+\frac{1}{2}at$卽其平均速率也此平均速率以共需之時 t 乘之卽爲所經之路設以S表此所經之路則得

$$S=(V_{o}+\frac{1}{2}at)t$$

即　$S=V_{\circ}t+\frac{1}{2}at^2$

例一：　設有一等加速率運動體其每秒之等加速率爲12尺設其起首時之速率爲7尺問在5秒時共經之路當爲若干尺

解　因$S=V_{\circ}t+\frac{1}{2}at^2$

此處知$V_{\circ}=7$尺/秒　　$a=12$尺/秒　　$t=5$秒

$\therefore S=7\times5+\frac{1}{2}\times12\times5^2=185$尺

例二：　設有一物體由靜而動其每秒之加速率爲20尺問在6秒時共經之路當爲若干尺

按物體由靜而動則起首時時之速率$v_{\circ}$當爲O此外$a=20$尺/秒^2

$t=6$

$\therefore S=0\times6+\frac{1}{2}\times20\times6^2=360$尺

C.所經之路與速率相關之公式　以上共得$v=v_{\circ}+at$及$S=v_{\circ}t+\frac{1}{2}at^2$二公式若將此二公式合併之

$v=v_{\circ}+at.$　則　$t=\frac{v\ v_{\circ}}{a}$

$S=v_{\circ}t+\frac{1}{2}at^2$　即　$S=v_{\circ}\left(\frac{v-v_{\circ}}{a}\right)+\frac{1}{2}a\left(\frac{v.-v_{\circ}}{a}\right)^2$

整理之$S=\frac{v_{\circ}v-v_{\circ}^2}{a}+\frac{v_{\circ}^2-2vv_{\circ}+v^2}{2a}$

$=\frac{v^2-v_{\circ}^2}{2a}$

$\therefore\ v^2=v_{\circ}^2+2aS$

例：　設有一等加速運動體但知其起首時之速率爲10尺其加速率爲3尺問此物體經過50尺後其速率當爲幾何

此處知　$v_o = 10$ 尺/秒　　$a = 3$ 尺/秒^2　$S = 50$ 尺

$$v^2 = v_o^2 + 2aS$$

$$= 10^2 + 2\times 3\times 50 = 400$$

$$\therefore\ v = 20\text{ 尺/秒}$$

第二十款　數速率之合併　　因速率含有大小及方向故可以一直綫表之以直綫之長表其大小而以直線之方向表其方向例如有一速率爲每秒60英里其進行之方向爲自西而東此速率可以左圖之 AB 直線表之　　A ——————→ B

若以每半寸表10里則可使AB長3寸即可表60英里若以每寸表10里則可使AB長6寸亦可表之其餘以此類推

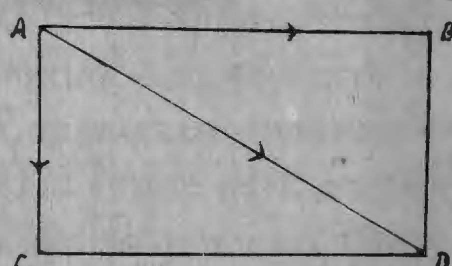
今更近而研究數種速率合併之作用茲擇其最要者三種論之

(1)同在一直線上二速率之合併　　設有一船在不流動之水中每小時行 2里則若在流動之水中其速率必異設此水之流動速率爲每小時 3里則船若順水而行船之進行速率必變爲(2+3)里即 5里而船仍得依原方向進行船若逆水而行船之進行速率必變爲(2−3)里即 1里蓋水之速率大於船之速率故船必倒退也

總之凡一物體同時有速率而此二速率係在一直線上者則爲此二速率之方向相同其結果速率卽爲此二速率之和而方向不改如此二速率方向相反者則其結果速率爲二速率之較而其方向爲二速率中較大者之方向

(2)成角度之二速率之合併　　設有一船在不流動之水中每時

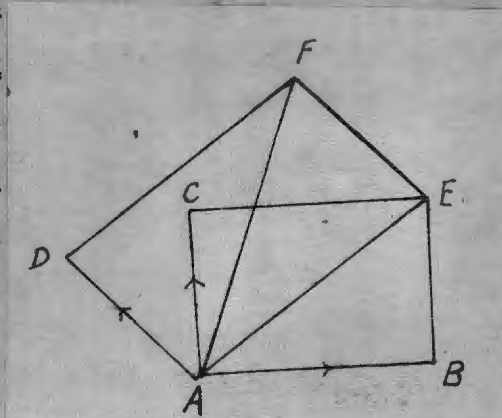
行 5里今若在每小時流動 3里之流水中行駛而船之進行方向適與水流動之方向成90° 之角則其結果速率當爲如何可以下圖求得之総以 8糎表1里則5里可以40糎表之 3里可以24糎表之乃作AB 線長40糎以表每小時行 5里船之速率更作AC 線與AB成90°之角長24糎以表每小時水流 3里之速率今卽可由此二線以求結果速率法由C點作CD綫與AB平行由B點作BD綫與AC平行如此則得一ABCD之平行一方形此平行方形之對角綫AD卽爲所求之結果速率蓋當船由AB方向進行5里時船被水衝向AC方向 3里故一小時後船不克至B點處而被移至D點處按船一路進行時



一路起如此移動之作用故船實在進行之方向不爲AB方向亦不爲AC方向而爲AD方向也吾人若繪之精準則可量得AD約長46.64糎按前繪畫時所用之標準約合5.83里詳言之卽結果速率爲每小時船行5.83里

總之凡一物體同時有方向不同而互成角度之二速率若欲求其結果速率之大小及方向可將此二速率爲平行四邊形之二邊而作成一平行四邊形此平行四邊形之對角線卽爲所求之結果速率

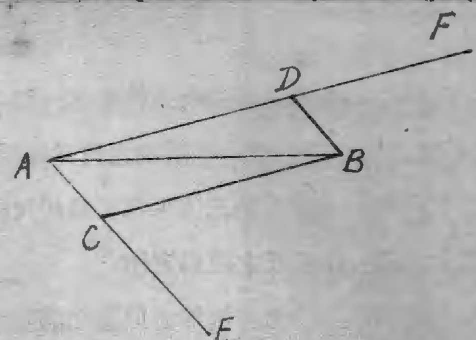
(3)多種速率之合併 設有一物體同時有三速率一係向東者每秒 120 尺一係向北者每秒80尺一係向西北者為每秒 100尺問其結果速率為每秒若干尺



此結果速率可依右圖求得之設以1糎表40尺則AB長3糎AC長2糎AD長2.5 糎以表向東向北向西北之三速率今若先以AB及AC為平行四邊形之二邊而繪aBEC平行四邊形則對角線AE即為AB及 AC之結果速率今若將AE及其餘之速率AD作為二邊而另作一 AEFD 平行四邊形則對角線AF即為AE及AD之結果速率即為AB AC.AD三速率之結果速率也

總之凡一物體同時有二以上方向不同之數速率則其結果速率即為用屢作平行四邊形法所得最後一平行四邊形之對角線

第二十一款 速率之分解 由上可知數速率可合為一速率然則一速率亦可分為數速率乎曰可蓋祗須將數速率之合併法反其道而行之可也例如設有一向東每小時行40里之速率今欲將此速率分為二速率其中一速率係向東南者其他一速率則與此向東南之一速率成60° 之角則可用下圖法求得之



先繪 AB 以表向東每點鐘40里之速率然後繪AE與AB成45°之角再繪AF與AE成60°之角乃由 B點作BD及 BC二線以成ABCD 成一平行四邊形則 AC及 AD卽爲欲求之二速率也蓋前數速率之合併中見設AC及 AD爲二速率則其結果速率爲 AB故反之若將AB分解之則 AC及 AD自爲分解後所得之二速率此種將一速率分解爲數速率之作用謂之速率分解

習題二

1.若地球離日約爲92.897兆英里設測得光自日至地球共需 8分19秒求光之速每秒約爲若干英里

2.設有一物由靜而動每秒之加速率爲20尺問過 6 秒後其速率當爲若干又在此 6 秒中共經之路爲若干

3.設有一等加速物體其起首之速率爲每秒2尺又過3秒後其速率爲20尺求其加速率

4.設有一等加速物體其每秒加速率爲2尺又過3秒後所經之路共爲30尺求其起首之速率爲若干

5.設有一運動之球其速每秒爲20尺當其進行之際忽被一與其方向成直角每秒40尺速之運動體相撞試以繪畫法求此球之結果速

率

6.設有一物體同時受有三速率第一速率與第二速率所成之角為60°第二速率與第三速率所成之角為45°又第一速率每秒為20尺第二速率每秒為30尺第三速率每秒為40尺試求其結果速率

第二十二款　牛頓氏之運動定律

A.第一律　凡物體若無外力以擾之則靜者恆靜動者恆依直線之路等速進行永無止境例如置木塊於水上自其一端繫之使其滑走則其所走之距離遠近於在通常之地面上無人不謂地面與木塊間之磨擦力大於水與木塊間之磨擦力也由此知欲使靜止者運動使運動者停止或轉易其方向或變其遲速之時間皆須有抵抗謂之惰性故牛氏之第一律亦稱為惰性律

B.第二律　凡物體受之外力則其運動量之改變恆等於外力之大小且其改變之方向恆與外力之方向相同

一物體之動量乃以此物體之質量與其速率之相乘積表之是故以m表其質量V表其速率則mV為其本來動量若物有外力致其速率增為v'則受力後該物體之動量當為mV'故受力後之運動量與未受力前之動量相差之數即為動量之改變數即mV-mV'而外力之大小為Ft由第二律知

$$mV-mV'=Ft$$

即 $$F=\frac{m(v-v')}{t}$$

從十八款知 $$a=\frac{v-v'}{t}$$

故　$F = ma$,

例　一物體其質量爲10克若施之以外力則知其加速率爲 $50\text{糎}/\text{秒}^2$ 問所施之力爲幾何

因　$m = 10\text{克}$　$a = 50\text{糎}/\text{秒}^2$

$\therefore \quad F = ma = 10 \times 50 = 500\text{達}$

（註作用於一克質量上於一秒間使其速度生一糎之變化如之力稱曰達一克之力等於980達

C.第三律　對於一切作用皆必有大小相等方向相反之反作用因力之測定法由於動量之變化率而决故可換言之如下如一物體得一動量則他物必得一大小相等方向相反之動量

第二十三　墜體之運動　從十六款可知若將空氣之阻力盡行除去而輕重二物體均由靜而下墜則在相同之時間中其所經之路必亦相同考此其所以然之故實因無論何種物體下墜時每秒所得之加速率恆各相等而不以物體之輕重大小而異也吾人卽知墜體所得之加速率卽可推知以下諸公式

A物重之公式　考物體之重尋常以恆以若干斤若干磅表之此種表重之法於科學中頗不適宜蓋同一物體設在地球之赤道權之爲重一磅然在地球之二極處權之則多於一磅蓋其受地心引力有大小不同也故科學家另定一權物之法須計及受心引力之大小者其法如下考物體之有重實因物體被地心引力攝引所致夫引力亦係一種力則

自可以物體之質量乘加速率量之換言之即物體之重即物體之重可以其質量乘加速率量之也故設以 w 爲物體之重 m 爲其質量 g 爲加速率則得公式如下

$$w=mg$$

(B) 墜體速率與時間相關之公式　墜體每秒所得之加速率既爲等加速率則墜體速率與時間相關之公式自可用 $v=v_{o}+at$ 之公式惟此處之加速率既由於地心吸力所致故科學中常以 g 代 a 以便識別故得公式如下

$$v=v_{o}+gt$$

(C) 墜體所經之路與時間相關之公式　此式卽可用 $S=v_{o}t+\frac{1}{2}at^{2}$ 公式因墜體之加速率亦爲等加速率也以 g 代 a 則得公式如下

$$S=v_{o}t+\frac{1}{2}gt^{2}$$

(D) 墜體所經之路與速率相關之公式　此式卽可用 $v^{2}=v_{o}^{2}+2aS$ 公式以 g 代 a 則得公式如下

$$v^{2}=v_{o}^{2}+2gS$$

習題三

1. 設有運動量相等之甲乙二球甲球之速率每秒爲20粍乙球之速率每秒爲500粍若甲球之質量爲100克則乙球之質量爲若干克

2. 若一物所受地心引力爲320達則此物體之質量當爲若干克

3. 設一人手執一石立高橋上放手而使石下墜測知石達水面時共

爲3秒問此橋高於水面若干英尺

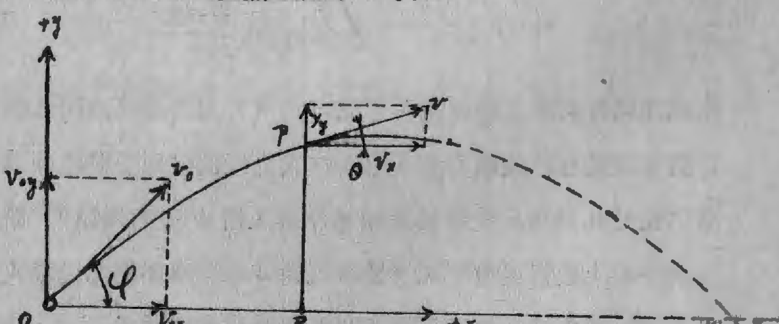
4.試由 $w=mg$ 之分式解明重量與質量之別

5.設有一物體由靜而墜過5秒後得有每秒160英尺之速率問此處由地心引力所起之加速率當爲每若干英尺

6.有一物體在海面3英里山上權之爲500克若在海平面時權之當爲若干克

第二十四款　拋物線彈道　本款所論之各式均將空氣阻力除去且視地球爲一平面

命彈道上任意一點之線速爲 V 其水平分速爲 Vx 直立分速爲 Vy 更命此點之斜角爲 θ（即切線與水平所夾之角）則沿彈道各點之 Vx 應爲常數蓋彈子離管後除在直立方向受地心引力外更不受他力之作用則在水平方向自無其他分力可言



依圖視坐標原點 O 爲管口 $V_\circ$ 爲離管速 φ 爲出射角則

$$\left.\begin{aligned}\frac{dx}{dt}&=V_x=V\cos\theta=V_\circ\cos\varphi.\\ \frac{dy}{dt}&=V_y=V\sin\theta=V_\circ\sin\varphi-gt.\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

今$x=0, y=0$, 時$t=0$故積分(1)式應得

$$x=V_0\cos\varphi.t=V_x t\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

$$y=V_0\sin\varphi.t-\frac{1}{2}gt^2=V_y t+\frac{1}{2}gt^2\cdots\cdots\cdots(3)$$

平方(1)式兩邊相加得

$$V^2=V_x^{\ 2}+V_y^{\ 2}=V_0^{\ 2}-2g\left(V_0 t\sin\varphi-\frac{1}{2}gt^2\right)$$

以(3)式y之值代入卽得$V^2=V_0^{\ 2}-2gy\cdots\cdots\cdots(4)$

此式只有V,y爲二變數故可斷定彈子之線速僅與其距地面之高有關更由(1)(4)二式以求θ又得

$$\cos\theta=\frac{V_x}{V}=\frac{V_0\cos\varphi}{\sqrt{V_0^{\ 2}-2gy}}\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

$$\sin\theta=\frac{V_y}{V}=\sqrt{\frac{V_0^{\ 2}\sin^2\varphi-2gy}{V_0^{\ 2}-2gy}}\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

此式亦只含y,θ二變數故與彈道之斜角有關者亦僅高而已但仝高之點每彈道有二故由(4)(5)(6)三式更可斷定彈子經過彈道上同高二點時其斜角及綫速俱應相等今擊入點w與射出點O既同在一水平線上則射出角φ應等於擊入角ω離管率亦應等於擊入速也

消去(2)(3)二式之t則得彈道綫方程式爲

$$y=x\tan\varphi-\frac{gx^2}{2V_0^{\ 2}\cos^2\varphi}\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

更命$h=\dfrac{V_0^{\ 2}}{2g}$則上式化爲

$$y = x\tan\varphi - \frac{x^2}{4h\cos^2\varphi} \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

或 $$\frac{dy}{dx} = \tan\theta = \tan\varphi - \frac{x}{2h\cos^2\varphi} \cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

此式所表者係一主軸與直之線平行之拋物線學者應用解析幾何之理不難求得其全形

擊入點與射出點既同在一水平綫上(卽 $y=0$)則令(7)式中之 $y=0$ 當可求得二點之 X 坐標由是得

$$X\left\{\tan\varphi - \frac{gx}{2V_0{}^2\cos^2\varphi}\right\} = 0$$

故有(1) $x = x_0 = 0$ 卽射出點之坐標與坐標之原點相合之意或

(2) $x = X = \frac{2V_0{}^2}{g}\sin\varphi\cos\varphi = \frac{V_0{}^2}{g}\sin2\varphi = 2h\sin2\varphi$ $\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$

此卽擊入點W之坐標亦卽全射遠也

欲求極大全射程遠則 $\sin2\varphi$ 應極大故極大射遠

$$x_{Max} = \frac{V_0{}^2}{g} = 2h \cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

φ 當等于45°

拋物線既與其軸相稱今彈道之軸叉與坐標 y軸平行故頂點之 x 坐標 x_s 當爲X之半再用(7)(8)式卽可求出他一坐標 y_s 於是

$$\left.\begin{aligned} x_s &= \frac{V_0{}^2}{2g}\sin2\varphi \\ y_s &= \frac{V_0{}^2}{2g}\sin^2\varphi \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

式中若 $\varphi=90°$ 卽 $y_{MaX}=\frac{V_o^2}{2g}=h$,

彈子離管 t 秒後其綫速爲

$$V^2=2g(h-y)\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

此卽彈道上 (x,y) 點之線速也若同時於管口再令一物自由墜下則彈子離管後 t 秒之線速與此自然墜下之也體經過 $(h-y)$ 線段時之速度相等

欲求彈子離管後飛至 (x,y) 點之時間只須改寫 $X=V_o t\cos\varphi$ 爲 $t=\frac{X}{V_o\cos\varphi}$ 若更以全射遠 × 代 x 則立可求得彈子自離管後達擊入點之全時間 T

$$T=\frac{X}{V_o\cos\varphi}=\frac{4h\sin\varphi}{V_o}=\frac{2V_o\sin\varphi}{g}\cdots\cdots\cdots(14)$$

若以此式所得 $V_o\sin\varphi=\frac{1}{2}gT$ 代入(3)式則得

$$y=\frac{1}{2}gt(T-t)$$

更用彈道線相稱故彈子達頂點之時間當爲全時間之半由是得彈道頂點高爲

$$y_s=\frac{g}{2}\,\frac{T}{2}\,\frac{T}{2}$$

$$=\frac{1}{8}gT^2\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

此點之應用不僅限於直空舉凡空氣中之射擊亦可用之以求

yo,T之關係人以其應用甚大故特名之曰大本式英人稱之曰SLad-en公式

第二十五款　離管速相等之彈道羣

(1) 今假定同一砲管射出之子彈其離管速爲一定又假定管口中心之位置不變則每一易射出角卽另得一彈道此彈道羣之關係卽本款所論者

實際上目的點之坐標 (x,y) 常爲已知卽使不知亦易用他法求出故此時所需求者僅射出角φ耳蓋彈子之離管速製砲時已經測定雖其間生差別而究屬極微無須重定

用三角公式 $\mathrm{coo}^2\varphi=\dfrac{1}{1+\mathrm{tau}^2\varphi}$ 代入(7)則得

$$\left.\begin{aligned}\mathrm{tau}\,\varphi &= \frac{v_o^2}{xg}\pm\frac{1}{gx}\sqrt{v_o^4-2v_o^2gy-g^2x^2}\\ \text{或}\quad \mathrm{tau}\,\varphi &= \frac{2h}{x}\pm\frac{1}{x}\sqrt{4h^2-4hy-x^2}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

此式所求出之射出角既有二數則射擊一標點卽應有二彈道一曰平彈道一曰陡彈道蓋因彈道之形而爲之異名也平彈道用於視線可及之標點人以其可直接射擊故又稱平彈道之射擊曰直接射擊若標點爲障礙所阻則彈道非超過此障礙不爲功故須用陡彈道人又稱此種射擊爲間接射擊

仝一標點若施間接射擊則耗時較直接射擊爲久此理不難由 $t=\dfrac{x}{v_o\mathrm{coo}\,\varphi}$ 式中察出

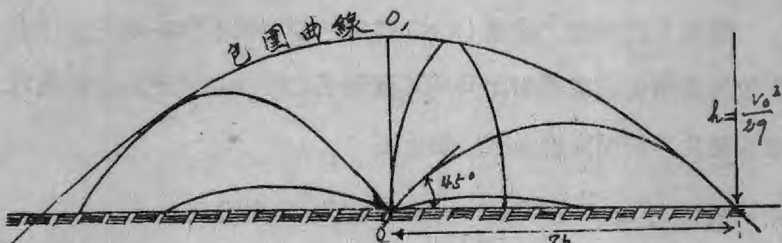
(16)式應有二彈道然必須

(a) $4h^2 > 4hy + x^2$ tau φ 方有二實根

(b)若 $4h^2 = 4hy + x^2$ 二實根相等

(c)若 $4h^2 < 4hy + x^2$ 則根爲虛數

標點卽爲彈道所不及



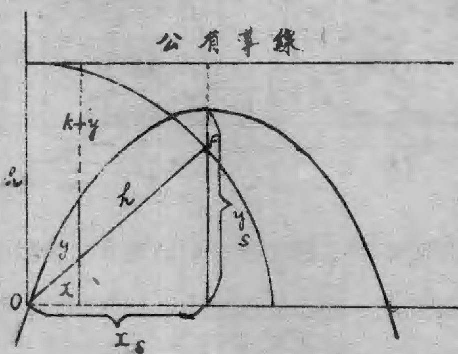
括言之含彈道羣之射擊面應分爲二部其可施二部射擊之各點自成一部其爲諸彈道所不及者又自成一部而分此二部之界綫卽 $4h^2 = 4hy + x^2$ ……(17)所表之曲線也

此曲線既如上所述僅有一根故線上諸點只可施一種射擊

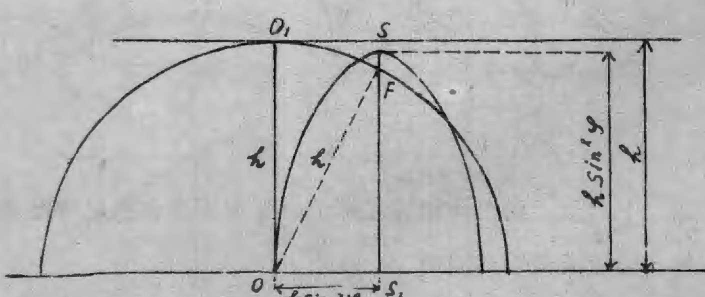
(17)式爲一拋物綫射出點 o 爲其焦點今若以其頂點 O_1 爲原點而應用平行變換坐標法則(17)式化爲 $x2 = -4hy'$ 此卽解析幾何上一般拋物線之公式也

(2)離管速相等之彈道羣關係當多惟多屬純粹數學故僅撮其要者於下而不加證焉

(a) 包圍拋物線之頂切線卽爲彈道羣之公有導線而此頂點之高亦卽等于彈子向頂直可達之高h

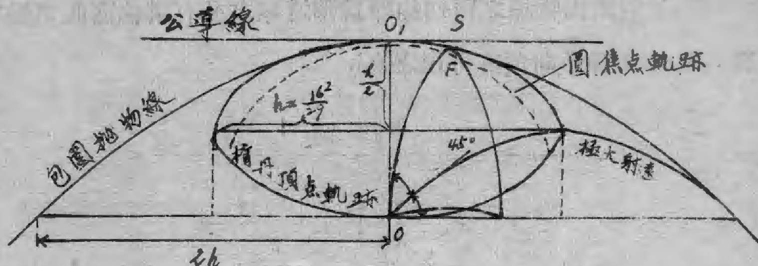


b。自此公導線令一物體自然墜下則與彈道羣相遇時其線速卽爲彈子飛過此點之線速

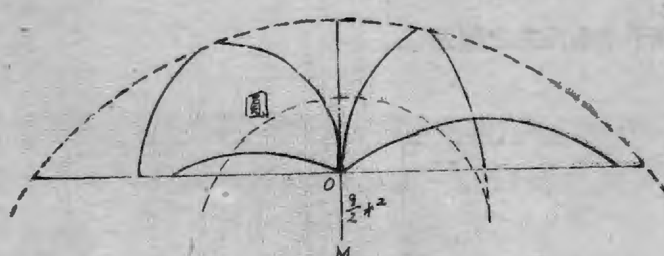


c。彈道羣上各焦點F 之軌跡在以O爲中心h爲半徑之圓上

d。彈道羣上之頂點同在橢圓上其長軸$2a = 2h$與x 軸平行短軸$2b = h$與y軸平行OO_1之中心卽爲橢圓之中心



e。今令各彈同時由 0 點向各方射出並令一物體同時由 0 點墜下則 t 秒後各彈同在一圓上此圓之中心即發彈時自然墜下物體此時所到之處其半徑＝V_0t.

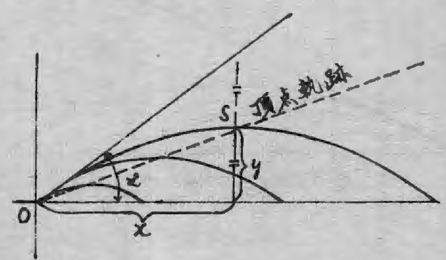


第二十六款：射出角相等之彈道羣：射出角相等之彈道羣實際上無甚價值故僅錄其綱領

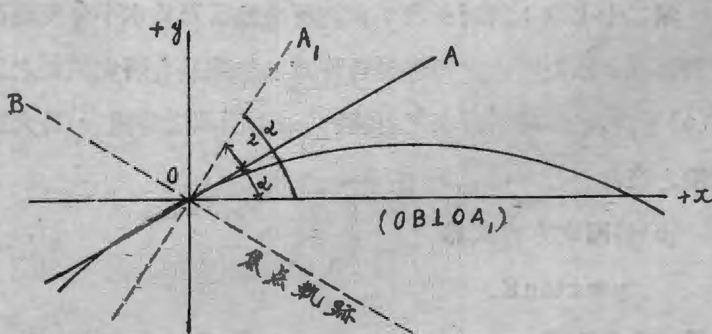
(a) 射出角相等雖管速各異之射擊其彈道羣之頂點全在一通過管口O 之直線上今由射出綫上各點下垂綫子×綫而定其中點則所求頂點之軌跡即各中點之軌跡也

(b) 於射出綫之他方作角與射出角相等則新綫之垂綫即彈道

羣焦點之軌跡

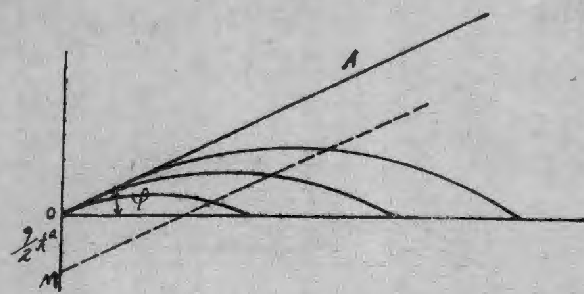


(c) 今令各彈一齊自 0 點射出又令一物同時由 0 點下墜則無論何時各彈俱在其時通過下墜物體所引平行于射出綫之直綫上



(d)通過 0 點任引一直綫與彈道羣相交則

(1) 過各交點引於彈道羣之切綫互相平行



(2) 各彈飛過此點所費之時間之比等于各彈過此點之綫速之比

(3) 此比亦等於各彈離管速之比

(e)通過0點任引二直綫使與彈道羣之每一彈道各交二點則各彈道上二交點相連之二直綫俱互相平行

第二十七款：斜面射擊：前款所論地面乃爲水平今使地面爲一斜面其與水平所夾之角卽斜角E 爲已知到最有研究價值之三事爲(a) φ, v_0已知時斜面上之射遠(b)射遠所須之時間(c)最大射遠所須之條件

(b)斜面之方程式爲

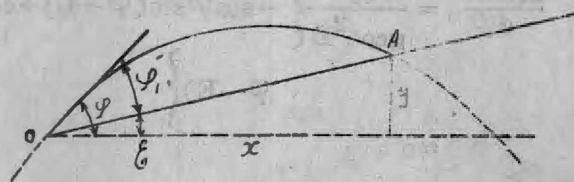
$$y = x\tan E.$$

引用前款之公式

$$x = Vxt.$$

$$y = Vyt + \frac{1}{2} gt^2$$

$$= x\tan E.$$



而消去xy則得彈子由O至A(x,y).所耗之時間t卽

$$V_y\ t + \frac{1}{2}gt^2 = \mathrm{VxtdauE}.$$

亦卽 $$V_\circ t\ \mathrm{siu}\varphi - \frac{1}{2}gt^2 = v_\circ t\ \mathrm{coo}\varphi\,\mathrm{tauE}.$$

$$\therefore\ t = \frac{2V_\circ}{g}(\mathrm{siu}\varphi - \mathrm{coo}\varphi\,\mathrm{tauE})$$

$$= \frac{2V_\circ}{g}\ \frac{\mathrm{siu}(\varphi - E)}{\mathrm{cooE}} \cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

(a)A之坐標與射遠OA既有 $OA - \frac{x}{\mathrm{cooE}}$ 之關係則由

$$x = Vx\ t = V_\circ t\ \mathrm{coo}\varphi$$

$$= \frac{2V_\circ}{y}\ \frac{\mathrm{coo}\varphi\,\mathrm{siu}(\varphi - E)}{\mathrm{cooE}}$$

自可得斜面上之射遠

$$OA = \frac{2V_\circ^2}{g}\ \frac{\mathrm{coo}\varphi\,\mathrm{siu}(\varphi - E)}{\mathrm{coo}^2\ E.} \cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

若射出射不依水平計算而依地面則

$$\varphi_1\varphi = -E,$$

∴射遠 $$OA = \frac{2V_\circ^2}{g}\ \frac{\mathrm{siu}\varphi_1\,\mathrm{coo}(\varphi_1 + E)}{\mathrm{coo}^2\ E} \cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

(c) $V_\circ E$常爲已知故欲求最大射遠須視(19)式中之φ及OA爲未知數而應用微分求極大極小之理

$$\frac{d(OA)}{d\varphi}=\frac{2V_o^2}{g\,coo^2E}\left\{-siu\varphi\,siu(\varphi-E)+coo\varphi\,coo(\varphi-E)\right\}$$

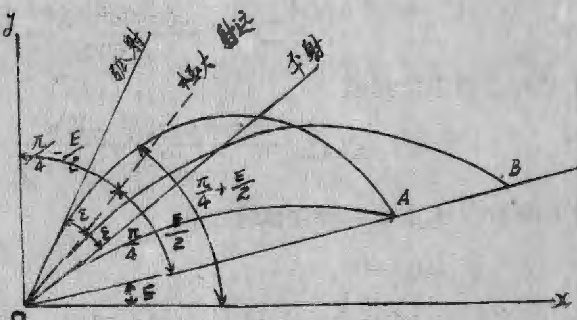
$$=o$$

$$\therefore\quad tau(\varphi-E)=coo\varphi$$

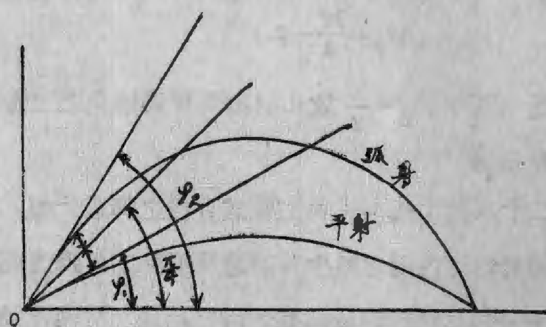
$$=tau\left(\frac{\pi}{2}-\varphi\right)$$

即 $$\varphi=\frac{1}{2}\left\{\frac{\pi}{2}+E\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

此時射出線與y軸所夾之角 $=\frac{\pi}{2}=\frac{1}{2}\left\{\frac{\pi}{2}+E\right\}=\frac{\pi}{4}-\frac{E}{2}=\frac{1}{2}\left\{\frac{\pi}{2}-E\right\}$ 地上斜面與y軸所夾之角 $=\frac{\pi}{2}-E$。故欲斜面上之射遠爲最大須以斜面及直之線所夾角之中分線爲射出線也



今於此線之兩方任作二等角 ε 而以新得二線爲射出綫則依此綫射出彈道必於斜面上一公點 A 相遇是卽平陡二彈道也蓋二射出角之關係旣爲



$$\varphi_1=\frac{\pi}{4}+\frac{E}{2}+\varepsilon,\ \varphi_2=\frac{\pi}{2}+\frac{E}{2}-\varepsilon.$$

則依(19)式應有

$$OA_1=\frac{2V_o{}^2}{g}\frac{\mathrm{coo}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{E}{2}+\varepsilon\right)\mathrm{siu}\left(\frac{\pi}{4}-\frac{E}{2}+\varepsilon\right)}{\mathrm{coo}^2\ E}$$

$$OA_2=\frac{2v_o{}^2}{g}\frac{\mathrm{coo}\left(\frac{\pi}{2}+\frac{E}{2}-\varepsilon\right)\mathrm{siu}\left(\frac{\pi}{4}-\frac{E}{2}+\varepsilon\right)}{\mathrm{coo}^2\ E}$$

二式而　$\mathrm{coo}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{E}{2}+\varepsilon\right)=\mathrm{siu}\left(\frac{\pi}{4}-\frac{E}{2}-\varepsilon\right)$

$$\mathrm{coo}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{E}{2}-\varepsilon\right)=\mathrm{siu}\left(\frac{\pi}{4}-\frac{E}{2}-\varepsilon\right)$$

$\therefore OA_1=OA_2$ 即A_1 與A_2 相合也

若令 $E=O$ 則斜面與水平相合最大射擊之射出線應與地面作$\frac{\pi}{4}$角度此時施於地面上之二種射擊其射出角亦應等於

$$\varphi_1=\frac{\pi}{4}+\varepsilon$$

$$\varphi_2=\frac{\pi}{4}-\varepsilon$$

今既 $\varphi_1+\varphi_2=\frac{\varphi}{2}$ 故凡射出角互爲補角之二彈道恆應於地面上一點相遇

第二十八款：基本式與主要式合成之彈道式組　前數款所論彈道若施於空氣內則常減少其射遠及頂點高與彈速而增加其擊入角此人所習知也然影響於彈道者尙有地球之於轉運動及彈子之自轉作用砲管之振動現象風力作用等有時全射遠反而增加

現定空氣阻力函數爲 $cf(V)$（卽彈子減速）表面上似乎僅與V有關而嚴格言之亦與 y,t 有關蓋函數之係數 c 內已含有空氣,比重 δ 而y 又足以左右 δ 也至若發光及放烟彈子 c 數所含彈之重量尤與溫度 t 有關故普通應定

$$c.f(V)=\varphi(V,y,t).$$

命 $cf(V)$ 爲彈子之減速又依前數款以定 $x, xs, \times, y, yo, \theta, \varphi$ $\omega, V, vot, T,$ 之值可由下列二基本式解之：

$$d(V coo\,\theta)=-cf(V)coo\,\theta\, dt \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$d(V siu\,\theta)=-cf(V)siu\,\theta\, dt-gdt \cdots\cdots (2)$$

因凡作用於彈子之力如重力 mg 之依 y 軸之方向及阻力 $mcf(V)$ 之依彈道切線之方向而作用俱已一一包于二式之左右邊故彈道之性質自不能另有所變遷

今由上之二式用數學方法可得下之五式而名 (3) 式爲主要式

$$gd(V\mathrm{coo}\,\theta)=vc\,f(V)\,d\theta \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

$$gx=-V^2\quad d\theta \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

$$gdy=-V^2\quad \mathrm{tau}\,\theta\, d\theta \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

$$gdt=-\frac{Vd\theta}{\mathrm{coo}\,\theta} \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

$$gds=-V^2\frac{d\theta}{\mathrm{coo}\,\theta} \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

上列弾道式組已包括弾道上一切性質其求(3)－(7)式之法茲述之於下試取弾道上任意一點 P(xy) 觀之其正交線(垂直於切線之線)上之加速一為 g 之分速即 gcoo 一為P點之離心力加速$\frac{V^2}{\rho}$ (ρ為P點之曲度半徑)

故應　$g\mathrm{coo}\,\theta=\frac{V^2}{\rho}$

但　$\rho=-\frac{ds}{d\theta}$ (式中 ds 為曲線之微分長當其加大 θ 反減小dθ為負號故此式應有負號)

$$\therefore\quad \mathrm{coo}\,\theta=-V^2\frac{d\theta}{ds}$$

即　$gds=-V^2\frac{d\theta}{\mathrm{coo}\,\theta}$【即(7)式】

由(1)及(7)消去 cooθ 則得

$$d(V\mathrm{coo}\,\theta)=\frac{c\,f(V)V^2\,d\theta dt}{gds}$$

而$\frac{ds}{dt}=V$, $\therefore d(V\mathrm{coo}\,\theta)=\frac{c\,f(v)vd\theta}{g}$

即　$gd(V\mathrm{coo}\,\theta)=VC\,f(V)\,d\theta$【即(3)式】

又P點之水平分速為 $V_x=V\mathrm{coo}\,\theta$ 且 $V_x=\frac{dx}{dt}$

$$\therefore \quad \frac{dx}{dt} = V\text{coo}\theta$$

但 $V = \frac{ds}{dt} \quad \therefore \quad dx = \text{coo}\theta ds$

更因 $$ds = \frac{-V2\ d\theta}{g\text{coo}\theta}$$

$$\therefore \quad gdx = -V^2\ d\theta$$ 【卽(4)式】

又因 $$dx = \frac{dy}{\text{tau}\theta}$$

$$\therefore \quad g\frac{dy}{\text{tau}\theta} = -V^2 d\theta$$

卽 $$gdy = -V^2\ \text{tau}\theta d\theta$$【卽(5)式】

再以 $ds = vdt$ 代入 $gds = -V^2\frac{d\theta}{\text{coo}\theta}$ 得

$$gvdt = -V^2\frac{d\theta}{\text{coo}\theta}$$

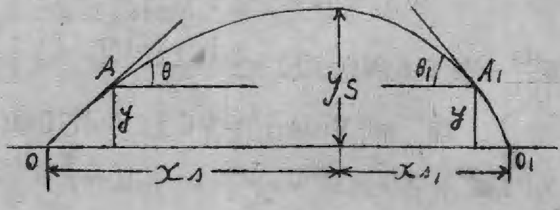
卽 $$gdt = -\frac{vd\theta}{\text{coo}\theta}$$ 【卽(6)式】

第二十九款：空氣中彈道之一班性質

1.彈子之水平分速($v\ \text{coo}\theta$)常沿彈道減小不已：

主要式之右邊 c及ナ(v) 俱爲正數只有 $d\theta$ 一數爲負數蓋因 θ 綠彈道減小也故式之右邊 $d(v\ \text{coo}\theta)$ 亦應爲負數換言之卽水平分速應隨彈道之遠而減小也

2.墜入角常較射出角爲大：伸言之卽彈道上同高二點 AA_1 之斜角卽切線與水平



線之夾角其上昇一段者θ常較下降一段者θ爲小（因彈道被頂點分爲二分故云）

改寫(5)式爲

$$-\tan\theta\frac{d\theta}{\cos^2\theta}=\frac{dy}{(v\cos\theta)^2}$$

積分其上昇及下降二支卽得

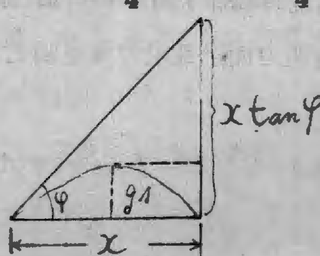
$$\frac{1}{2}\tan^2\varphi=\int_0^{ys}\frac{gdy}{(v\cos\theta)^2}$$

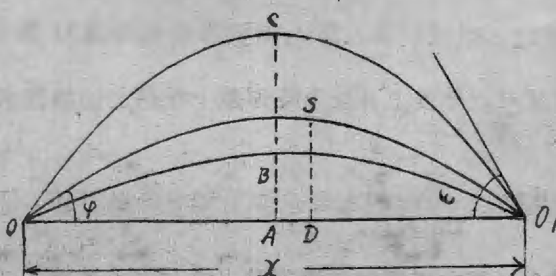
及 $$\frac{1}{2}\tan^2\omega=\int_0^{ys}\frac{gdy}{(v\cos\theta)^2}$$

但依(1)理後式之分母常較前式爲小故應$\tan\omega>\tan\varphi$或

$$\omega>\varphi$$

(3)彈道之頂點高 ys 常在$\frac{1}{4}\times\tan\varphi$與$\frac{1}{4}\times\tan\omega$之間眞空





彈道中其頂點ys與全射遠之關係爲$ys=\frac{1}{4}\times\tan\varphi$ 不難由$ys=\frac{v_0^2\sin^2\varphi}{2g}$及$x=\frac{v_0^2}{g}\sin^2\varphi$二式中求出

今依圖于同一全射遠 oo_1 線上先繪眞空內射出角爲φ及ω之二彈道後又繪空氣內射出角爲φ擊入角爲ω實際上之彈道則無論如何後者之頂點高 ys 常在二者之間而前二者之頂點高 AB 及 AC 又各爲$\frac{1}{4}\times\tan\varphi$及$\frac{1}{4}\times\tan\omega$故題云云

(4)彈道上同高二點 A,A_1 之彈速 V_1V_1 其在上昇一段之A常較其他下降一段之 A_1爲大力學上能力定律有云凡物體運動所失之動能$\frac{1}{2}m(V^2-V_0^2)$常等于其所作之功

$\int Pds$今AA_1之高既同則彈子由A至A_1動(卽地心引力)固未嘗作功也其作功者僅有阻力而已且阻力與運動之方向相反故所作之功應有負號因之

$$\frac{1}{2}m(V_1^2-V^2)=-\int mcf(V)ds$$

卽$V^2<V^2$亦卽$V_1<V$.

(5)頂點δ之x坐標距擊入點O_1常較其距射出點 O 爲近

今以θ及θ_2分表上昇及下降彈道上各點之切線與水平線之夾角而用

$$dx=\frac{1}{\tan\theta}dy$$

以積分彈道上二段之坐標卽可得頂點坐標距射出及擊入二點之遠

$$Xs=\int_{0}^{ys}\frac{dy}{tau\theta}\quad 及\quad Xs_1=\int_{0}^{ys}\frac{dy}{tau\theta_1}$$

但依 (2) 仝一 y 應有 $\theta_1>\theta$ 之關係故後者之右邊常較前者之右邊爲小卽

$$Xs<Xs.$$

(6)彈道上仝高二點A,A_1之絕對直立分速永不相等其在下降一段 A_1 者常較在上昇者 A爲小且沿下降彈道前行各點之直立分速更依次增加不已

以$\frac{dy}{dt}$=Vsinθ代入 $d(Vsin\theta)=-\left\{g+cq(V)sin\theta\right\}dt.$

得

$$\frac{1}{2}d(Vsin\theta)^2=-\left\{g+cq(V)sin\theta\right\}dy.$$

今分二次積分此式一由 A 至 S (上昇彈道)卽式之左邊由 Vsin θ 至 VsinO 式之右邊由 y 至 ys 一由 S 至 A_1 卽式之左邊由 VsinO 至 Vsinθ 式之右邊由 ys至y. 則得

$$a)\quad O-\frac{1}{2}(Vsin\theta)^2=-\int_{y}^{ys}\left\{g+eq(V)sin\theta\right\}dy$$

$$b)\quad \frac{1}{2}(Vsin\theta)^2-O\quad =-\int_{ys}^{y}\left\{g+cq(V)sin\theta\right\}dy.$$

$$=+\int_{y}^{ys}\left\{g+cq(V)sin\theta\right\}dy.$$

但沿下降彈道各切線之夾角常爲負數故 (d) 式中 sinθ 亦應爲負數因之

a,) $\frac{1}{2}(V\sin\theta)^2=+\int_{y}^{ys}\{g+cq(V)\sin\Theta\}dy$ 上昇彈道

b,) $\frac{1}{2}(V\sin\theta)^2=+\int_{y}^{ys}\{g-cq(V)\sin\theta\}dy$. 下降彈道

觀此二式可知(b)式之右邊小於(a)式之右邊故(b)式之左邊亦應小於(a)式之左邊

(7) 彈子由管口至頂點之時間(上昇時間)常較其由頂點至與管口同水平之目的點(下降時間)所耗之時間爲小

命上昇彈道上由O至S所耗時間爲 t_1 下降彈道上由S至 O_1 所耗時間爲 t_2 則積分(6)式 $dt=-\frac{Vd\theta}{g\cos\theta}$ 卽可求出 t_1 及 t_2 之値

於是 a) $t_1=-\int_{\theta=\varphi}^{\theta=0}\frac{Vd\theta}{g\cos\theta}=\int_{\theta=0}^{\theta=\varphi}\frac{Vd\theta}{g\cos\theta}$

b) $t_2=-\int_{\theta=\omega}^{\theta=0}\frac{Vd\theta}{g\cos\theta}=\int_{\theta=0}^{\theta=\omega}\frac{Vd\theta}{g\cos\theta}$

彈道上V及 $\cos\theta$ 俱爲有限數故 t_1 及 t_2 亦應有限因之 $dt=\frac{dy}{V\sin\theta}$ 式中之分母在頂點雖爲O亦可用之以求 t_1 及 t_2 之比於是

c) $t_1=\int_{y=0}^{y=gs}\frac{dy}{V\sin\theta}$ 上昇彈道

$$d)\quad t_2=\int_{y=0}^{y=ys}\frac{dy}{Vs\ \theta}\qquad \text{下降彈道}$$

依(6)條同一之理以(c)(d)二式相比則等高二點之 $V\sin\theta$ 其在(d)或者常較在(c)式者爲小故(d)式之$\frac{1}{V\sin\theta}$常較(c)式爲大卽(d)式之積分應較(c)式爲大故 $t_2>t_1$

(8)擊入點 O_1 若與射出點 O 同一水平則上昇彈道之長 S_1 常較下降彈道之長 S_2 爲大

積分(7)式　$ds=\frac{dy}{\sin\theta}$ 一由射出點至頂點一由擊入點至頂點則得

$$a)\quad S_1=\int_0^{ys}\frac{dy}{\sin\theta}\qquad \text{上昇彈道}$$

$$b)\quad S_2=\int_0^{ys}\frac{dy}{\sin\theta}\qquad \text{下降彈道}$$

依(2)條之理同高二點之 θ 其在下降彈道者常較上昇彈道爲大故(b)式之$\frac{1}{\sin\theta}$較(a)式爲小因之

$$S_2<S_1$$

7.設重二磅之鉛彈由重10磅之槍中放出與水平面成30°角若槍倒退之速率爲每秒14尺問鉛彈起首之速率每秒當爲若干尺若此彈經過5秒後落地更求此彈所經之路程

第三章　功及能

第三十款 功之定義 凡以力施於物體上如物體因之而移動者則謂此力在物體上作功或謂施功於此物體上例如重物下墜則可打樁入地此地心引力作功於樁上也惟功之大小須視以下二者而定

a.視所施之力之大小 例如有二重物一為 10 磅一為 20 磅同在高處墜下打樁則重 20 磅者將樁打下之路必二倍於重 10 磅者故20磅所做之功必二倍於 10 磅者由此觀之功之大小須視力之大小明矣

b.視移動之路之多寡 由上可知一力所顯打樁之功若二倍於他力卽一力使樁下打之路亦二倍於他力可知工作之大小須視移動之路之多寡明矣

今若以 W 表功 F 表所施之力 S 表移動之路則得功之公式如下.

$$W=FS$$

例 設一銀圓重為267.3克今若欲舉高 100糎間所做之功為若干爱格

因 $W=FS$, 此處 $S=100$ 糎然下究為若干達須先求得之而後可知功為若干爱格此 F 可求之如下欲舉高此銀元所需之力卽等於地心引銀圓之力

故 $F=mg$, 現 $m=267.3$ 克 $g=980$ 糎/秒^2

$$\therefore F=267.3\times980'=261954 \text{ 達}$$

$$\therefore W=FS$$

$=261954\times100=26195400$ 愛格

註：欲量功之大小非妥定標準不可按此標準可用 W=FS 公式定之卽以若干一定之力乘若干一定之距離爲功之標準然力有四種標準卽達與磅度（絕對標準）克及磅（重力標準）故功之標準亦有四種（一）可以一達之力加於物體上使物體移動一糎者謂之一愛格（二）以一磅度之力加於物體上使物體移動一尺者謂之一呎磅度（三）以一克質量之重之力加於物體上使物體移動一糎者謂之一克糎（四）以一磅質量之重之力加於物體上使物體移動一呎者謂之一呎磅又 10,000,000 愛格科學家另給以專名曰佳爾又 421390 愛格約合一呎磅度

第三十一款　功率之定義　如舉一物高若干距離卽受有一定之功此功與所費之時間無涉但此作功之率與功量同爲重要名此作功之率曰功率若以 P 表功率 W 表功量 t 表時間則得公式如下

$$P=\frac{W}{t}$$

功率之單位常用者有二一爲馬力一爲瓩一馬力每分鐘可作功三萬三千呎磅或每秒鐘可作五百五十呎磅一瓩卽一千瓦一瓦每秒可作功一佳爾一馬力等於七百四十六瓦

第三十二款　能之定義　一物體之能卽其作功之能力能大別有二一爲勢能一爲動能凡物體因位置之故所起之能力謂之勢能例如一重物若在高處下墜則其力較在低處下墜者大可知物體在高處時所

具之能力較在低處者爲大此所增之能力亦因位置而得來者動能乃爲運動而來者例如鉛彈置在炮中未放之前並無若何之能力然若開砲將其放出則得極大之能力雖堅硬之物中亦能打入此種能力顯然因彈運動而來也

第三十三款 能不生則滅律 一物體或一組物體其動能及勢能之和恆不變推廣言之在宇宙間能之總量亙不變此卽能不生不滅之定律也

第三十四款 勢能之計量 夫欲物體至高處則須作功以提高之提之愈高則所需之功亦愈大故按能不生則滅律物體所得之勢能卽等於將其提高時所需之功而提高時所需之功可以所施之力及移動之路相乘之積量之然所施之力等於物體之重而移動之路卽等於提高之路故若以 W 表重而以 h 表其高則

$$勢能 = W h$$

$$但 \quad W = mg$$

$$\therefore \quad 勢能 = mgh$$

例： 設有一物其質量爲 10 克離地 5 糎求此物之勢能爲若干爱格

此處 $m = 10$克. $h = 5$糎. $g = 980$

$$\therefore \quad 勢能 = 10 \times 5 \times 980 = 49000 \text{ 爱格}$$

第三十五款 動能之計量 設一運動之物體其質量爲 m 其速率爲 V 若欲求其動能爲幾何可視其所成之功爲幾何故設此物體進行時

遇一與之方向相反之力 F 致此運動體之速率逐漸減少終至停止又設自遇力時起至停止時止其物體所經之路爲S 則爲物體動能之大小自可以FS 之功量之但 $F=ma$, $S=\frac{V^2}{2a}$

$$\therefore \quad FS=ma\times\frac{V^2}{2a}$$

$$=\frac{1}{2}mV^2$$

例　設有一運動之彈其質量爲 15 克其速率每秒爲150糎求其動能爲若干

此處　　$m=15$, $V=150$糎/秒

$$\therefore \quad 動能=\frac{1}{2}\times15\times150^2$$

$$=168750愛格$$

習題四

1.設有一物重 100 磅離地 10 英尺問此物之勢能爲幾何

2.有一打水機每秒能將 5500 磅重之水打至高 10 英尺之處問此機有若干馬力

3.問 100 馬力合若干瓩

4.設在一分時內所成之功 180 佳爾問每秒之功率爲若干瓩

5.設有 50 磅度之力加於物體上使之移動 10 英尺問其所作之功爲幾何

6.設有一石重 75 克若舉之至高 25糎 之屋頂上問所作之功爲幾何

7.設有一運動之彈其質量爲15磅其速率每秒爲 150 英尺則其動能當爲若干

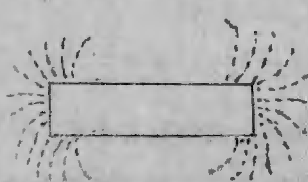
8.設一運動體之重爲 100 磅其每秒之速率爲 10 英尺問其動能爲若干

9.設以上之運動體之重爲 100 克其每秒之速率爲 10 糎則其動能當爲若干

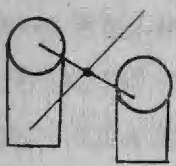
第四章　磁

第三十六款　磁之歷史　磁發現甚早在我國相傳黃帝已利用磁石作指南針在歐洲英女王伊立齊勃時已論及磁石之性質而在十六世紀初葉已有吉爾勃著磁石論一書我國古時對於磁石並無專書至近年來歐化東漸始有學者潛心研究

第三十七款　磁之質性　凡磁石皆能吸鐵此早爲人所共知若置一磁石於鐵屑中然後再取出則見其有數處吸鐵最多(如圖)名之曰極普通之磁石只有二極在特別之磁石則常有三極或四極者



將一棒磁石懸置空中任意自由旋轉則常有一極指南一極指北指南之一極名曰指南極或單稱曰南極指北之一極名曰指北極或單稱北極黃帝之創指南鍼實從此理而得之實則磁石在懸空所指南北方向並非地球之南北方向徵有差緒名磁石所指之南北方向曰磁子午線磁子午線與子午線所成之角度名曰方位角



裝置一磁石如圖則見磁石並非在水平情形而與水平綫成一角度名之曰磁伏角哥倫布發現美洲時見各處之磁伏角不同始知地球本身實亦爲一大磁石

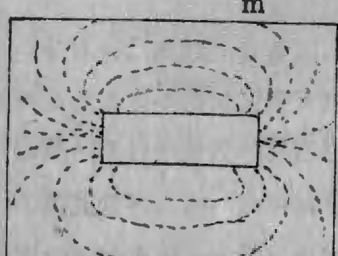
通常孩童所玩之磁針常有一種現象卽使一針之兩端逐次接觸他計之一端則有一端相吸有一端相推若使此計之兩端接觸他計之另一端則亦有此現象惟前相吸者在此相推相推者相吸在實驗室中使相同之兩極接近則有一力使之相推相異之兩極接近則有一力使之相吸故磁極相同者相斥相異者相吸

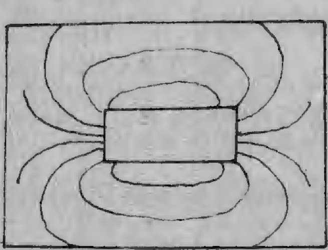
第三十八款　磁場　置鉄屑於紙上下置一磁石則有如圖之現象發現名圖中各線曰磁力綫磁力所及之處曰磁場從圖易知凡距磁極愈遠則磁力線愈稀故知磁强與距離成反比設二相同之磁極使之接近令其距離爲一生的而有一達之相推之力則名此極曰單位極若任意兩極置於一處其相推或相吸之力爲F距離爲Y磁極之强度爲m'及m則

$$F=\frac{m\ m'}{Y2}$$

設R爲一磁石之磁場强度而此磁石之極之强度爲m則

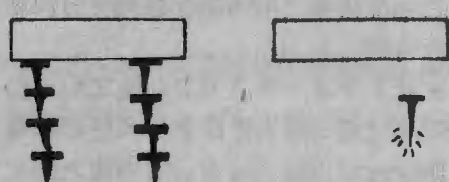
$$R=\frac{F}{m}$$





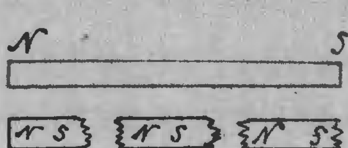
第三十九款　磁誘導　鋼鉄等物質磁性獨著近世有人發現一種合金磁力亦甚强其餘諸金屬或稍有磁性或非但不爲磁石所吸反爲磁石所推有數種金屬用磁石擦之則呈磁之現象如普通小孩所玩之磁針皆爲此類

用一磁石吸一鉄針則在此被吸之針尾又能吸一鉄針如此常可繼續吸數針如一鉄鍊又如置一鉄針近於一磁石則在鍼之一端常能吸鉄屑如圖然凡此類情形中因隣近有磁石存在而生之磁謂之誘導磁由此可解說磁石能吸鉄之原因因當一鉄屑接近一磁石則此鉄屑之一端因誘導作用而生與磁石相反之磁極故互相吸引



第四十款　磁之理論　吾人已知磁之各種現象常能發生一種疑問即爲何能呈有磁之現象磁之理論者卽解釋磁各種現象之一種理論近世之理論爲法國物理學家蘭旗凡所提出者經歷來之沿革而得其結果如後

(一)磁爲原子或分子之現象　分一磁石爲二則得二磁石分一磁石爲四則得四磁石如此繼續分製之則可以無數個小磁石如此可視一磁石爲無數個小磁石所組成換言之則可謂一磁石實爲其原子或分子之一種總合現象卽磁爲原子或分子之現象



若燒一磁石或用力晝一磁石常能使彼失去磁性由此可見一磁石其磁性絕非化學作用乃爲一種原子或分子之一種物理現象且可謂磁性必非其表面之性質乃爲其全體之性質

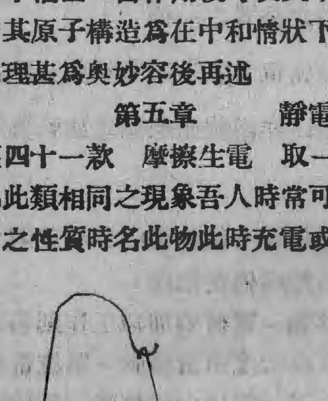
(二)凡有一磁場常有一電物 此乃一八二〇年所發現者安培曾言及其原因爲磁石之分子或原子之四周或有電流經過惟其原理至今尙未有圓滿之解釋

(三)凡有一電場常有一磁場　此爲一八七六年勞蘭教授所發現在一八九七年湯母寸曾用電子解釋之

(四)蘭棋凡所提出爲用原子論解釋磁性今述其槪要設各物之原子構造爲某種同情形在含天然磁性之物質中其原子構造使其本身不能中和故有一種磁性在能磁化之物質中其原子構造本在中和情形下惟經一番作用後可使其不中和而發生磁性在不能磁化之物質中其原子構造爲在中和情狀下惟狀一番作用後永不能使其發磁性此理甚爲奥妙容後再述

第五章　　靜電

第四十一款　摩擦生電　取一硬橡皮用法蘭絨擦數次則可吸紙片凡此類相同之現象吾人時常可見名此效應曰帶電而凡物有能吸紙片之性質時名此物此時充電或曰此物帶有電荷



第四十二款　陽電及陰電取一木髓球用絲線懸之如圖所示以綢絲擦過之玻璃棒觸之該球即受作用與玻璃棒相反甚烈再以貓皮或法蘭絨擦過之硬橡皮棒近之則其狀恰與前反非特不受斥力作用且轉受引力作用反

之先用橡皮棒觸木隨球則亦相斥再用玻璃棒接近之則亦相引由此實驗顯而易知用絹絲擦過之玻璃上所生之電與用法蘭絨所擦過硬橡皮棒上所生之電不同名前者爲陽電後者爲陰電且從上實驗可知同類之電相斥異類之電相吸至於引力與作力之大小與其距離之平方成反比

凡帶有同量之電之兩物體使之相距一糎而其間斥力或引力適爲一達則名此電量爲一單位電量

任何二帶電物體其所帶之電爲 e及e' 其距離爲 d 則其引力或斥力ｆ爲

$$f = \frac{e e'}{d2}$$

此式與前磁之公式相似皆爲萬有引力之公式之一種

第四十三款　導體及非導體　凡物能傳電者名之曰導體如普通之金屬皆是凡物能阻止電傳導他去者名曰非導體或絕緣體如乾玻璃橡皮石臘等皆是

磁與電之異點最大者不傳導磁極僅在少數物體中存在電則不然凡絕緣之導體一均接觸皆能將電自此處傳至他處

第四十四款　電場　在一區域中欲移動一電荷須加以工作則名此區域曰電場電場在某方向某點之強度或密度由量移動一單位電荷經過一單位距離所須功之厄數而得之若一電場中欲移動一單位電荷所須之力爲一達則名此電場爲單位電場故 R 爲電場之強度 e爲所帶之電荷 F 爲所須之力則

$$R = \frac{F}{e}$$

此式與磁之公式相似

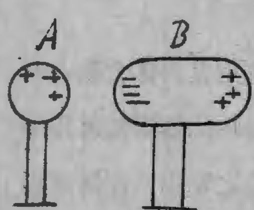
第四十五款　電之勢能　在一電場中二點勢能之差卽從一點帶一單位正電荷至他點所須之功假如電之勢能差爲 P.D 功爲 W. 電荷爲Q 則

$$P.D=\frac{W.}{Q}$$

二點之電之勢能差恆一定換言之卽自一點移動一電荷至他一點無論其所經過之路若何所須之功恆一定

第四十六款　電誘導　使一物帶電其法除摩擦外尙有數種其中最有趣者卽電誘導

設 A 爲一帶電之物 B 爲一不帶電之物體使 A 接近 A 約相距三四

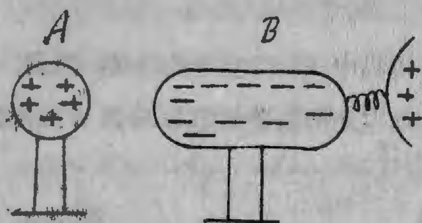


生的用驗電器觀察 B 則可得下數種現象

(一)用驗電器先接觸A則見驗器中二金屬片張開成一角度再使驗電器接觸B之近 A 之一端則見驗電器中二金屬片完全閉合由此可見 B 之近 A 之一端帶電且所帶之電荷與 A 所帶之電荷相異

(二)用驗電器先接觸 A 再接觸 B 之不接近 A 之一端則驗電器之二金屬片張開之角度反增加由此可見此端之電荷與 A所帶之電荷同

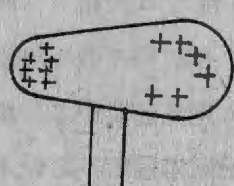
從上實驗可知 B 之兩端所帶之電荷不同此種情形名曰電之誘導若連B 不接近 A 之一端於地面則在 B 上可滿佈一種電荷且與 A 所



帶者相異此時B謂之用誘導使之帶電

第四十七款　相異之電荷常等量且同時發生　此種結果吾人常可發現如摩擦生電時二物所生之電荷常相異且等量卽如用誘導生電時亦可發現同等情形故無論用何法生電時常可發生等量之相異之電荷

第四十八款　電荷之分佈　取一蛋形之物體使之帶電用驗電器驗之則稍尖之處帶電較多若取一針使之帶電則在兩端帶電最多而在其中段幾可稱爲不帶電由此可見電荷分佈與表面之情形有關係



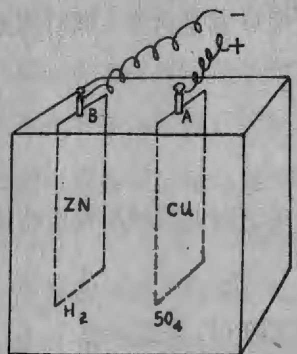
若取一空心球使之帶電則其內部常無電存在此種情形常令人驚奇凡此情形常可用下法解釋之電帶分散佈於一物體常使其內部無電之作用一卽無電場一且在外部使電場所佔之空間大避電針卽應用此理作成其他如電風電輪亦然

第六章　動電

第四十九款　電流　凡電運動之現象名曰電流在一銅絲中自一端將電傳達至他端此時則有電流通過此銅絲電流之有否常用電流計驗之電流常用下二法使之發生(一)用電流(二)用磁石今分論之如下

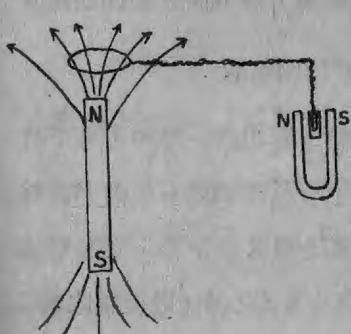
第五十款　電池　電池之種類甚多最常用而最簡者爲伏打電池

凡傳導體可分爲二種一種傳導體爲在同溫度下連接數物不能發電流如普通之銅鐵錫等金屬皆是一種傳導體爲用此連接第一種傳導體而能發生電流如硫酸等皆是從實驗知任意二傳導體連接在同一溫度下決無電流發生而若連接三個以上不同類之傳導體常能發生電流伏打電池卽應用此理而組成之其最簡者爲置鋅片銅片於硫酸中若連接銅鋅片則有電流通過凡用類此之方法發生電流常起化學變化如在最簡伏打電池中鋅片與硫酸時起化學作用



若連接數個傳導體成一圈狀此種情形名曰閉電路此時能有電流通過反之名曰開電路在伏打電池中 A,B 兩端曰極連銅片之一端曰正極連鋅片之一端曰負極銅片鋅片在此情形下名曰電極

第五十一款　電與磁之關係　在 1831年 法賴特發現用電可以發生電流其實驗如下



用一圈銅絲一端連接於一極異確之電池計上(如圖)將此圈套入磁石則見在套入之時電流計上表示有電流通過此銅絲圈及套入後不動則又無電流若再取出則又有電流通過且與前電流方向相反

法顆特於此發現近世電磁學中最重要之定理即變一磁場中之磁力線恆有發生一電流且此電流之電動力與電力線變更之速度成正比例

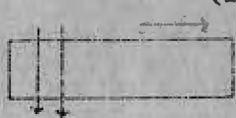
同時奧司台又發現凡有電流通過時其四周有磁場發現從上二實驗可見電與電有相當之關係此實爲近世工業發達之基本原理

第五十二款　電流之度量　電流既爲電荷運動之一種現象故度量電流須在每單位時間內所通過之電荷量若 Q 爲電荷量 t 爲時間則電流 i 爲

$$i=\frac{Q}{t}$$

第五十三款　白屋及赦伏特定律　經實驗之結果白屋及赦伏特得定律如下凡電流通過一極長之直線時

(1) 磁場密度 (R) 與電流 (i) 成正比例

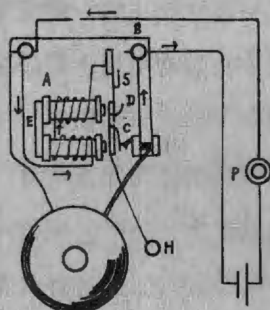


(2)在磁場中一點之磁強與其線之距離(r)成反比例

(3) 電流方向與磁力線方向之關係如左圖

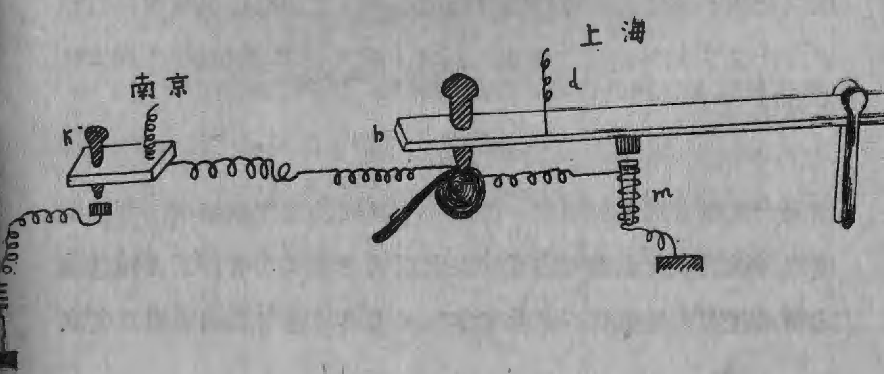
用代數式表之即　$R=k\frac{i}{r}$ 其中 k 爲比例常數

第五十四款　電鈴　電鈴乃電磁石之簡單應用之一將扣 P壓下時電池之電路即閉合電流由 A流入經電磁石及接觸處 C而由 B出電路即通電磁石E 即吸引銜鐵 D因此遂使接觸處 C 分開C 開而電流斷電磁石E因亦頓失其磁性銜鐵即由其支簧S之彈性撥復原位與C



又復相觸C處既復接觸電流又通如是使C之接觸點自動的斷續不已鎚H應之遂作一往一復之迅速震動以擊鈴作聲

第五十五款 電報 電報亦電磁石應用之一種其局部式如下圖譬如由南京電局發報將鑰 K 閉合電流即通過導線而入上海電局之電磁石 m 更由地中返歸南京當鑰 K 閉合時磁石 m牽銜鐵 b使下及將 K 放開銜鐵即爲彈簧 d 撥返其原位用一時計裝置令紙帶 C沿銜鐵 b 處之筆尖下以等速運動擦過則 K 閉合時短紙上則顯一點 K 閉合時長紙上則顯一橫再以點橫構合成字如此則南京上海可隨時發報矣



第五十六款　安倍定義　一單位電流爲一電流在其通過一圓形傳導體時所生磁場之密度爲 2π 通常所用之電流單位爲此單位之十分之一名曰安倍蓋用以紀念大物理家安倍也

第五十七款　抵抗　在 1827 年德物理家歐姆發現在大衆傳導體中其電流與其電動力總和成正比例而在某種相同之物體中電流與電動力之比值爲一常數名此常數曰抵抗若有 R 表抵抗 E 表電動力 i 表電流則　$R=\frac{E}{i}$

歐姆發現此定律後後人爲紀念此物理家起見定抵抗之單位而名之曰歐姆

歐姆之定義爲當電動力爲一伏打電流爲一安倍則抵抗爲一歐姆

第五十八款　比抵抗　若以同一粗細之銅絲二條一條之長爲他條之長之二倍使在此二銅絲中電流相等用電計表度量此二銅絲兩端電勢之差則見長者爲短者之二倍換言之卽抵抗之比爲二若加長一銅絲則見其抵抗亦增加故抵抗與長短成正比若以同長短之銅絲二條其粗細不等從實驗可知粗者抵抗小換言之卽抵抗與斷面之面積成反比設 S 爲每物質之斷面之面積 l 爲其長 R 爲抵抗 ρ 爲其比抵抗則

$$R=\rho\frac{l}{S}$$

第五十九款　抵抗與溫度　若取一鉄絲使其溫度漸漸增高則見溫度愈高抵抗愈大由此實驗可知鉄之抵抗與溫度共增若用各種金屬試驗之則知凡金屬莫不準此定律惟液體導體適與之相反卽溫度愈

高抵抗愈減碳亦呈此性

第六十款　電流之熱效應　凡電流通過一傳導體常使傳導體之溫度增加此類情形在平常遇見之在 1840 及 1843 年間英物理家朱爾對於此種現象作一極眞確之實驗始知電流通過一傳導體所生之熱量與電流之強弱及通過之時間二事有關今設以H表電流通過後所生之熱量之愛格數 i 爲電流用 C,g,S, 單位量之 t 爲電流通過之時間 l 爲傳導體之長度 S 爲傳導體斷面之面積用平方生的量之 ρ 爲比抵抗則

$$H=Ri^2t \text{ 愛格}$$

$$=\rho\frac{l}{S}i^2t \text{ 愛格}$$

因 1 愛格 $=\frac{1}{10^7}$ 朱爾　　1 朱爾 $=\frac{1}{4.2}$ 加羅

$$\therefore H=\frac{Ri^2t}{10^7} \text{ 朱爾}$$

$$=0{,}24Ri^2t \text{ 加羅}$$

其功率則爲　功率 $=\frac{H}{t}=iE$ 瓦

第六十一款　電池之聯法　一個電池之電動力甚弱未足以供實用每集合數個電池而用之名曰電槽其聯法有三

1. 串聯　取電動力 E 內抵抗 r 之電池 n 個各聯其異號之極以抵抗 R 之導綫聯其兩端電池之兩極則全電動力爲 n E 全內抵抗爲 n r 得電流強度 i 爲

$$i=\frac{nE'}{nr+R}$$

2. 排聯　以各電池之陽極與陽極相聯爲一組陰極與陰極相連爲一組再以導線連接兩組之極凡排聯電池 n 個其結果恰爲以兩板之面積 n 倍作一個電池相同用此集合法則液面增廣 n 倍因電池之抵抗與面積成反比故此時之抵抗爲 $\frac{r}{n}$ 但電池之電動力僅關於製作之物質無關乎面積故排聯 n 個電池之電動力僅等於一個電池之電動力設此時電流强度爲 i 外部導線之抵抗爲 R 則得

$$i=\frac{E}{\frac{r}{n}+R}$$

$$=\frac{En}{r+nR}$$

3. 混聯　以若干電池先串聯數個電池爲一組更就各組排聯之是稱混聯凡欲得最强電流之聯法須使電池內抵抗與外抵抗相等茲設n 個電池中各以 p 個串聯再以 q 組排聯則

$$n=pq$$

$$\text{全電動力}=pE$$

$$\text{全內抵抗}=\frac{p}{q}r$$

$$\text{外抵抗}=R$$

$$t=\frac{pE}{\frac{p}{q}r+R}=\frac{nE}{pr+qR}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

上式如 $q=1, p=n$, 卽全體爲串聯 $p=1, q=n$ 卽全體爲排聯從(1)式知 nE 爲一定數欲使電流 i' 最大使分母 $pr+qR$ 最小可矣

$$pr+qR=\sqrt{(pr+qR)^2}$$

$$=\sqrt{(pr-qR)^2+4nrR}$$

此式中 $4nrR$ 爲一定數且 $(pr-qR)^2$ 爲正故上式最小之値須使

$$(pr-qR)^2=o$$

卽　$pr=qR$

但　$pq=n$

故　$p=\sqrt{n\frac{R}{r}}\quad q=\sqrt{n\frac{r}{R}}\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$

卽能滿足上式每取電池 p 串聯爲一組共得 q 組而排聯之則得最大電流惟 q,p, 有時非整數故採用其近似値可矣

茲就最大電流之條件

$$pr=qR$$

卽　$R=\frac{p}{q}$

硏究之 R 爲外抵抗 $\frac{p}{q}$ r 爲電池全體之內抵抗故欲得最大電流須將電池聯結爲全內抵抗與外抵抗相等

在下之情形則無庸依(1)計算 p,q 之値逕知能生最大電流之電池之聯法

(a) $R>nr$

外抵抗較電池之內抵抗 r 爲大且 R>nr 時則將電池全數串聯之爲利

(b) $R<\frac{r}{n}$

此時將電池全數排聯之爲利如外抵抗 R 爲

$$nr>R>\frac{r}{n}$$

時如欲得最大電流須依(2)式計算 p q 之值

習 題

(1)在兩點間之電流爲 3 安倍設其電勢差爲一伏打求十五分鐘所生之熱之厄數

(2)求須若干瓦特使能使一電流爲 40 安倍 55 伏打

(3) 150 伏打之電燈泡抵抗爲 10 歐姆求在 10 分鐘間此燈能發生熱若干

(4)四個 50 伏打之電池今串聯之設每電池之內抵抗爲一歐姆外抵抗爲二歐姆求其電流之大小

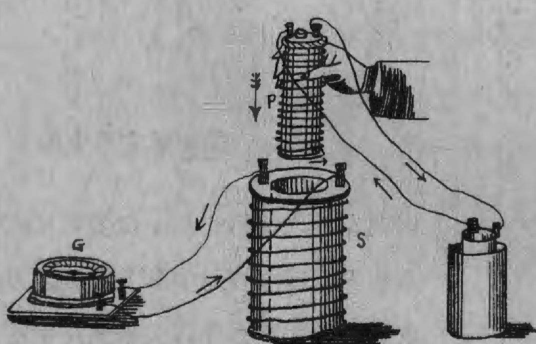
(5)若上題排聯之則電流爲若干

(6)八個 400 伏打電池排聯之設每電池之內抵抗爲 2 歐姆外抵抗爲 8 歐姆求電流之大小若串聯之則若何

第七章 電磁感應

第六十二款 感應電流 以一通有電流之圈 P驟然持近或竟行插入他一圈 S 則 S 內有瞬時電流發生用一電流計卽可檢出反之由 S 中將 P抽出亦然但方向與前者互相反對而已如是之電流曰感應電

流或曰誘導電流原有電流之圈P曰一次圈發生感應電流之圈S曰二次圈



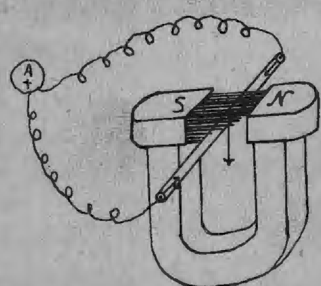
感應電流

P: 一次圈， S: 二次圈， G: 電流計

第六十三款　楞次定律　二次圈內之電流方向與一次圈之運動恆有一定之關係卽感應電流之方向恆在阻止相互之運動是曰楞次定律可知感應電流之能由於對此抵抗所作之功而來

使導體切磁力線而過則感應電流之方向當如右圖

何則此感應電流所受之電磁力按之左手定則應向上方正足以阻止導體向下之運動故也一般言之則亦有一定卽將右手之拇指食指中指張開互成垂直食指表磁力線之方向拇指表導體運動之方向則中指表感應電流之方向是曰佛來銘右手定則



佛來銘右手定則

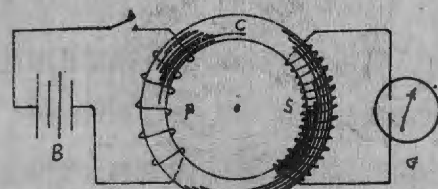
若將左手之拇指食指中指張開互成垂直時食指表磁場之方向中指表電流之方向拇指表電磁力之方向是曰佛來銘左手定則

佛來銘左手定則

第六十四款　相感及自感　一次圈與二次圈間所起之磁電感應謂之相感然一次圈自身亦起此現象卽通電之始感起與原電逆向之感應電流卒斷原電流則得同向之感應電流凡一次圈自身所起之磁電感應稱自感

第六十五款　變壓器　使電壓昇高或降低之裝置曰變壓器由一鐵P.S C及上捲兩圈P,S 而成每當 P 中電流通過時 S 中卽生反對方向之感應電流若不用電池而用交流電則 S 內誘出之電流方向亦恆與P 內相反如命 P 內之電流爲 i 電壓 VS 內之電流爲 i′ 電壓爲 V′ 則

$$iV = i'V'$$

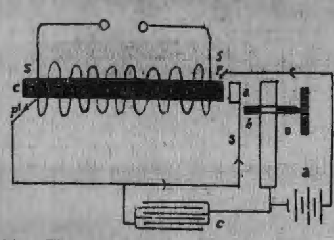


變壓器

C: 鉄心，　P: 一次圈
B: 電池，　S: 二次圈
G: 電流計，

即感應電流之强度與其電壓爲反比例一方面感應電壓與二次圈之捲數爲正比例故只須變動二次圈之捲數即可任意使交流之電壓昇降

第六十六款　感應圈　變小電動力爲極大之變壓器如圖所示曰感應圈



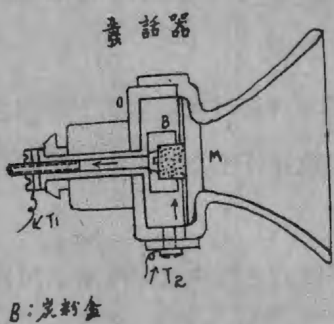
C: 鉄心，P: 一次圈，S: 二次圈，a: 軟鉄片
b: 彈條，O: 螺旋，　B: 電池，　C: 蓄電器

一次圈內如有電通過軟鉄片被鉄心吸引電路立斷又由彈力接續通電如是斷續不已二次圈內卽生大動電力其兩極間遂出現電花且初

斷時之感應之動力遠大於初接時故以切斷時二次圈之陽極爲感應圈之陽極

第六十七款 電話 實用電話係 1875 年畢爾氏所發明利用電磁石及感應電流而成略述如次

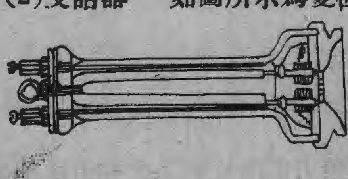
(1)送話器 左圖爲送話器之剖面 A 爲碳素振動板板面塗假漆其裏面有圓形碳匣匣中滿充細小一樣之碳粒碳粒匣與振動板之間隙較碳粒之直徑爲小故碳粒無逸出之虞 P 爲送話口M爲金屬網以



保護碳素振動板爲目的被碳粒匣由Bort鑲於外被碳粒匣與外被之間以電母或紙爲絕緣 Bort 與其周圍之金屬部分以硬膠絕緣之T_1 T 爲送話器之兩極經電線通於受話器

向送話器發語則碳板振動碳粒所受之壓力時強時弱通過之電流亦起強弱之變化傳之受話器再成聲音此種送話器其構造簡單障礙甚少感度敏銳

(2)受話器 如圖所示爲雙極受話器卽於細長筒內裝馬蹄磁石



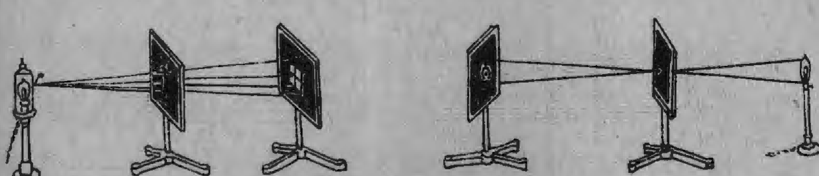
磁極向耳與磁極連接之軟鉄心以送話器傳來之電綫捲之令成電磁石電磁石之外又張軟鐵振動板板厚約 0,15 至 0,2 粍其面塗假漆以防銹

因送話器傳[illegible]之時強時弱電流磁石之磁力隨之變化吸引鐵板之力因之而異於是鐵板振動空氣而成音此方之人乃得聞彼方之語

第八章　光

第六十八款　發光體與不發光體　如於室內將外來之日光完全遮沒則室內黑暗以致椅桌等物無一能見但若將電燈開後於是全室通明而其中物件歷歷在目由是知電燈爲發光體而室內各物均爲不發光體由經驗知不發光體必藉發光體方能看見

第六十九款　光行直線　如圖在黑暗之室內置一電燈及一屏風再於兩者之間另放一屏風(須不透明者)屏風上用針鑽一小孔則於後一屏風上得一倒影之燈絲每卽證明光行直線否則决不能有倒影現出此實驗係照像機之原理

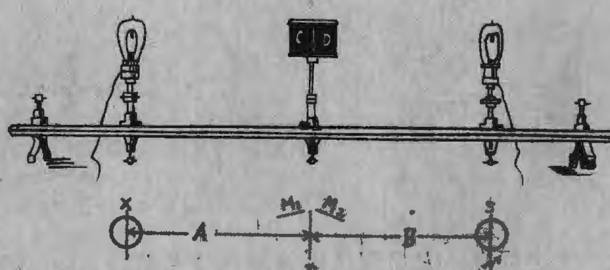


第七十款　光之強度　光之強度係物體與發光點間之距離成反比由實驗可證明之如圖 L 爲電燈上罩一不透明之罩但罩上備有一小孔 P 於是由燈發出之光成綑木之一條取一屏風放於離燈一尺之處使光射於其上然後測得光亮之處之面積爲一平方寸再將屏風放於離燈二尺處測得光亮之處爲四立方寸由是知屏風上光亮處之面積與距離之平方成正比但光在每個面積上之量相等因此光之強度因

面積之增加而減少卽與面積成反比例亦卽與發光點之距離之平方成反比例

第七十一款　燈光之强度　燈光之强度非但與距離有關係且與燈本身所發之光之强弱成比例如在同距離油燈之光不及煤汽燈之光而煤汽燈之光不及弧光燈之光各種燈之光既不同則在計算上當定一標準之燈光俾得與各種燈相比較以表示光之强弱燈之用以爲標準曰標準燈用標準燈而與其他各種燈相比較之器具名曰度光器

第七十二款　標準燈　標準燈係爲計算上之便利而設故其定法常有不同英法則以油燭之燭光爲標準此法已被認爲國際間之標準其發單位燭光之燭曰國際油燭德國則以 Hefner(約合0,9燭光)爲標準



第七十三款　朋生氏度光器　度光器係藉標準燈之光比較某種燈光强弱之器朋生度光器之大概示於上圖其主要品爲受光箱中之屏風屏係一白紙紙上中央留一油跡因油跡爲半透明體故光能透過設紙一面之光較强則此面視之紙之中央有一較黑之點而自他面視之

其中央有一較亮之點但若兩面之光相等則油跡可不見於是離受光箱較遠者其燭光爲大較近者其燭光爲小故在度光器上燈之燭光與屏風之距離之平方成正比例

例　某燈有 x 燭光與一 16 支燭光之燈相比較在平衡時前者離屏風 100cm 後者離 80cm 求 x 之值：

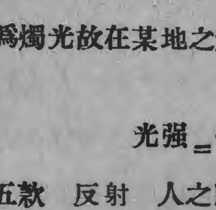
由本節知　$$\frac{x}{16}=\frac{(100)^2}{(80)^2}$$

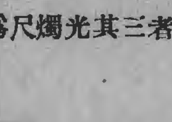
$$\therefore x=25 \text{ 支燭光}$$

第七十四款　光强之測驗　光在某地之强度旣與距離及發光之强度均有關係其測驗之法亦當與二者成比例而距離之單位爲尺燈光之單位爲燭光故在某地之光强其單位爲尺燭光其三者之關係如下式

$$\text{光强}=\frac{\text{燭光}}{(\text{距離})^2(\text{bt})^2}$$

第七十五款　反射　人之所以能見物體因光射於物體上再由物體反射入人之眼中但通常物體面上凹凸不平粗毛異常以至由各點所反射出之光並不同向如本款圖一所示是曰散射惟於鏡上或磨平之金屬片上其反射光之及於眼猶如直接由物體反射而出者無擾亂之現象故鏡反金屬片能照出人物之影像此種反射名曰整射如本款圖二中 m n 係反射面 P E 係反射綫 O P 係光來之方向





第七十六款　反射定律　光之來自小孔者名曰光線其狹者曰射線如發光點頗遠則來之光線可視爲平行線如日光然此羣光綫名曰平行光線

如上款之第二圖中於P點作nn垂直於mn面令

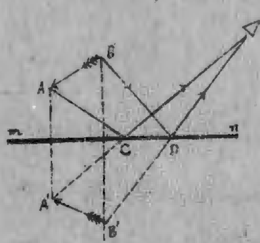
$$CPn=i \quad nPE=r$$

i名曰射角r名曰反射角OP曰射綫PE曰反射線由精確之測驗知

(1) 反射線垂線及射線三者在同平面上

(2) 反射角等於射角

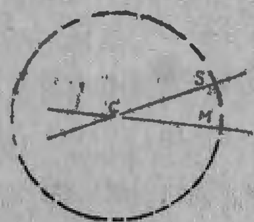
是二項之總稱曰反射律



第七十七款　平面鏡之影　人立於鏡前鏡卽現出一影驟視之幾疑已身係立於鏡後如圖中A爲物體由鏡反射而及於眼但觀之物體似於鏡之後方似非AB而爲A'B'A'B'稱爲AB之影

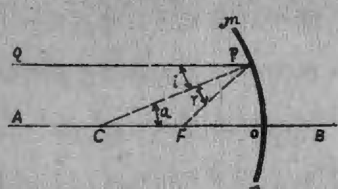
聯AA'則AA'與鏡面垂直且爲鏡面所等分故平面鏡中物體之影與原物之大小相等且與鏡面之距離亦相等因此在平鏡之影與實際之物體絲毫無異惟其位置之左右適相反耳

第七十八款　曲鏡　平常之曲鏡大半係球面之一部分其如球之外面者曰凸鏡如球之內面者曰凹鏡曲鏡所佔球面之球中心曰曲度中心如圖中之C,Cm爲曲度中心與鏡中點之聯線曰主軸CS爲鏡上



任意點與曲度中心之聯綫曰副軸正軸副軸均垂直於曲面

第七十九款　焦點　與主軸平行之光線射於凹鏡之上其反射之諸射線幾均集成一點是點卽此鏡之焦點故鏡之焦點係與主軸平行之諸光綫經鏡之反射後諸射線所集成一點焦點與鏡之距離謂之焦點距其長約等於Ｃｍ長之半可由下法證之



圖中ＱＰ爲射來之光線由曲鏡ｍ反射而出成ＰＦ聯ＣＰ則因

$CP \perp$ 曲面

$\therefore \measuredangle QPC = \measuredangle i$

$\measuredangle CPE = \measuredangle r$

$\therefore QP \parallel AB$

$\therefore \measuredangle i = \measuredangle \alpha$

從反射定律知 $\measuredangle i = \measuredangle r$

$\therefore \measuredangle r = \measuredangle \alpha$

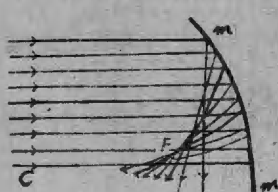
$\therefore CF=FP$

設QP離主軸CB頗近則FP頗接近於FO

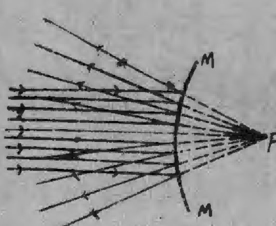
$\therefore FP=FO$ 卽 $CF=FO$

換言之當光線之位置離主軸頗近則焦點距等於CO之半

由上節可知光線經凹鏡反射後並不能作理論上之合於一點是種現象名曰球形光錯誤在細小之球面凹鏡其球形光錯誤之現象頗小鏡之大者則如下圖



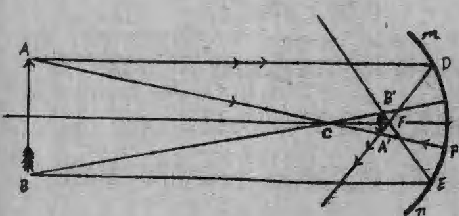
反射之現象常應用於使燈光射於某一定之方向因將燈置於焦點處則光線由反射而平射出其反射鏡爲球面曲鏡時所得結果因有球形光錯誤之關係恆不良好欲免此弊改用拋物線曲面鏡卽可矣

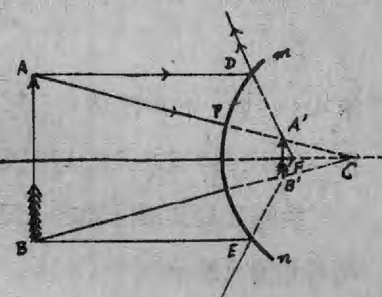


第八十款　凸鏡　平行於主軸之光線射於凸鏡上時其反射而出之射線猶如於鏡之焦點處所發之光線此焦點當然於凸鏡之後面其與鏡之距離亦等於曲面中心與鏡距離之半但因其在鏡後而光線並不經過故名曰虛焦點凹鏡之焦點反射光線均遇之故名曰實焦點以示區別其鏡中之影非但在凸鏡之後面且較原物體爲小

第八十一款　影之作法　凹凸鏡中之影其大小及位置旣各有不同則欲求某鏡中影之情狀務先明瞭其光線之如何反射方可

設有一凸鏡 m n 及物體 A B 由 A 射至鏡上之光線 A C 係與鏡面垂直則其反射線必循原方向而射回再有 AD 係與主軸平行之光線則由前節知其反射射綫之方向猶如由 F 點射出者（F 爲焦點）二





反射線之交點 A' 即係 A 點之影同理物體各點之影均可一一求得由是 A B 在鏡中之影爲 A'B'

故凸鏡之影確在鏡之後方且確較原物體爲小此影爲虛影

設 m n 爲凹鏡 C 爲其曲度中心 F 爲焦點 AC 係由 A 射於鏡上 P 點之光線且直線 ACP 垂直於鏡面則其反射線亦當循原方向射回另一光線 A B 經過 A 點且平行於主軸而射至鏡上 D 點其反射光當經過F點由是 A 點之影係A'同理B點之影爲 B'而A B之影爲 A'B'

由是知物體在曲度中心之外時凹鏡之影係位於鏡之前且係倒影因光線確經過A'故所得之影爲眞影

第八十二款　眞影之大小　如第八十三款圖中作AO爲自 A 至鏡之光線O A'爲反射光綫則由反射定律$\measuredangle i = \measuredangle r$

∴△AoBcs △A'oB'

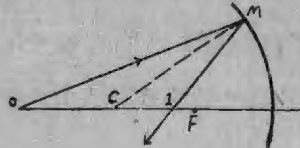
$$\therefore \frac{A'B'}{AB}=\frac{B'O}{BO}=\frac{D_1}{D_o}$$

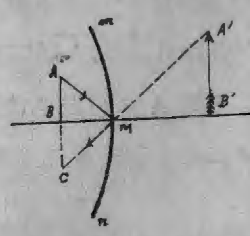
故影之大小與物體之大小之比等於影與鏡之距離與物體與鏡之距離之比

第八十三款 相對焦點 如圖中設燈放在AB處則於 A'B' 處亦可得一倒影但將燈換置於A'B'處則於AB處亦可得一倒影

物體置於某兩位置之一卽能得一眞影於他一位置如是二位置稱爲相對焦點

第八十四款 凹鏡之虛影 從上節知物體於曲度中心之外時有影在焦點曲度中心之間而物體在曲度中心與焦點之間時則影在曲度中心之外且二種不同情況之下其影均係眞影但物體在焦點與鏡之間時影卽在鏡mn之後較原物體爲大而係正立但爲虛影





第八十五款 虛影之大小 因AM光線之反射線 CM 可視作由A'射來之故且$\measuredangle AMB=\measuredangle BMC=R\measuredangle$

$\therefore \triangle AMB \backsim \triangle A'M'B'$ $\therefore \dfrac{A'B'}{AB}=\dfrac{B'M}{BM}$

由是物體之大小與影之大小之比等於物體與鏡間之距離與影及鏡間之距離之比

第八十六款　鏡之公式　O點爲物體OM爲過O而射至鏡之光線由是聯CM（C爲曲度中心）則CM當垂直於鏡面作$\measuredangle CML=\measuredangle OMC$則IM爲OM之反射綫而I當爲O點之影

但因　$\measuredangle OMC=CMI$

故　$\dfrac{OM}{MI}=\dfrac{OC}{CI}$…………………(1)

設　$IN=D_1$，　$ON=D_0$，且$\measuredangle MON$甚小時則

$OM=ON=D_0$而$IM=N=D_1$

但今　$FN=f$，　$OC=ON-CN=Do-2f$

$IC=CN-IN=2f-D_1$

代入(1)式得　$\dfrac{Do}{D_1}=\dfrac{Do-2f}{2f-D_1}$

即　$D_1f+Dof=DoD_1$

以積　$Do\times D_1\times f$除之

$$\frac{1}{Do}+\frac{1}{DI}=\frac{1}{f}\cdots\cdots\cdots(2)$$

但　$Do=$物與鏡之距離

$D_1=$影與鏡之距離

$f=$焦點距

故　(2)　可變爲

$$\frac{1}{\text{物與鏡之距離}}+\frac{1}{\text{影與鏡之距離}}=\frac{1}{\text{焦點距}}$$

前式於光學上應用頗廣尤以關於鏡之問題更爲重要因若三者之任何二項爲已知其餘之一項即可求得且無論所得之影爲實爲虛前式均適用

式中D_1之數值爲負數時即表示影在鏡之後方即影爲虛影

第 九 章 光學器具及透光鏡

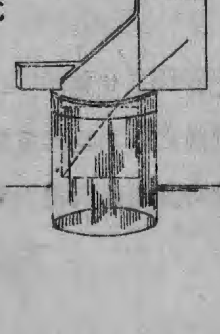
第八十七款 光學器具 人之眼目係光學器具之一但常欠完善故恆輔以眼鏡以救不足如矯正視物之遠近或大小之不準確及視線糊塗不清等等更有照像機複幻燈及影戲機等均係藉光之物性而造成之各種光學器具也

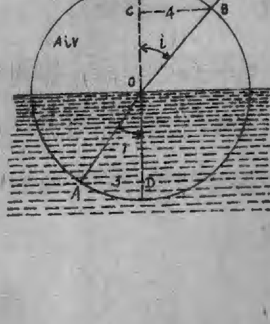
惟研究光學器具之先必考透光鏡及三稜鏡對於光之作用因此鏡與光之折射至有關係且諸光學器具均係以此鏡所製成

第八十八款 光在水中之折射 杆之一部分放入水中後視杆之離水面處猶如折斷且水面下杆之部分係往上折更由日常經驗可知魚在水中時外界視之恆較眞確之地位爲高故漁夫用魚叉叉魚時其目標並非在魚影之處而必較魚影爲低之處此種現象均係由於折射而起故光之行直線必須在同一媒介中其折射之情形如下

光從第一物體傳入第二物體時若二物之密度不等則光必曲折其曲折處係在二物體之相隣處

第八十九款 折射定律 光自空氣中傳入水中折射之曲度可自下列實驗得之





取一木板直立於一瓶中板上繫一線然後將水注入水瓶中於是在空氣中視之在水中之線向下折固定水面下之線然後移動空氣中之線直至成一直線後再固定之於是光折射之曲度等於線所曲折之曲度取出木板於板上作水平綫及垂線如下圖則知光自水中傳入空氣中其折向恆自垂線而外離

圖中OB為原光線OA為折射綫取OA＝OB而自A及B向CD作垂綫BC及AD長度之比稱為屈折率如

$$BC=4\text{寸}\qquad AD=3\text{寸}$$

$$\text{則屈折率}=\frac{BC}{AD}=\frac{4}{3}=1.333$$

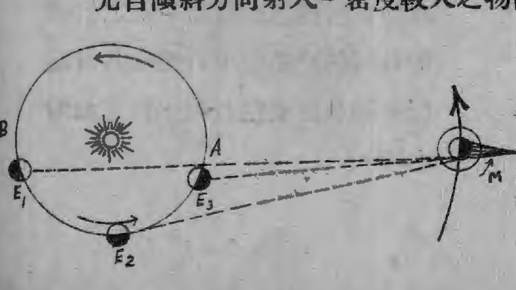
從實驗知光在相同一物質間之屈折率為常數與入射角之值無關

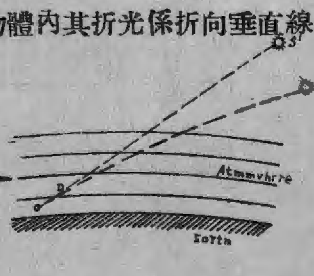
屈折率常以角表之如

$$\frac{\mathrm{Sin}\,i}{\mathrm{Sin}\,r}=\frac{BC/BO}{AD/AO}=\frac{BC}{AD}=\text{屈折率}$$

再進言之光之折射非但發生於二不同物質間卽於同一物質內亦起同樣情況如日光經空氣而達地球並非行直線因空氣層密度之有不同而發生多次折射以致形成曲線軌跡如下圖所示更有光自空氣入鉛玻璃內之折射率較入明玻璃內之折射率為大故雖同為玻璃質但前者之密度大於後者之密度由是得一普通定律

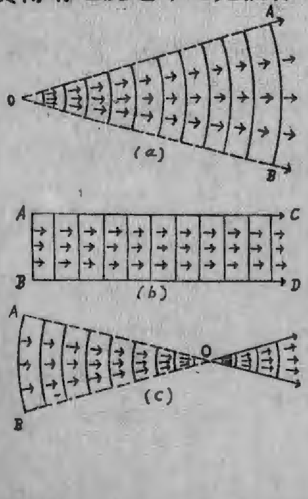
光自傾斜方向射入一密度較大之物體內其折光係折向垂直線





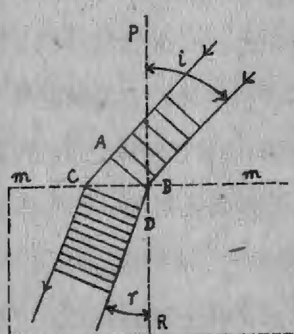
第九十款　光速　光折射之理初無能解釋及至知光有速度始得明白蓋在一六七五年之前均信光行毋須費時間但是時有丹麥天文學家名 Roemer 者在巴黎天文台考察木星與其衞星食蝕之時間與計算所得之結果恆相差因當衞星M行入木星J所成之黑影中地球上卽不見M但地球本身亦在行動故每次在M行入黑影時M與E間之距離難相等結果在地球上觀察所得食蝕開始及終了之時間理應與計算所得者不合符但若地球在A點時則ME間之距離爲最短而地球在B點時ME間之距離爲最長亦卽時間之相差當E在A點爲最小而E在B點爲最大故二者相差時間之差當爲光行地球繞日軌跡直徑長所費之時間由實驗得爲16分36秒約合一千秒而地球軌跡之直徑長186×10^6英里由是知光之速度每秒爲十八萬六千英里

第九十一款　光浪之說係由聲浪而來蓋非此不足以解釋光之各種現象但聲在眞空中不能傳導而光則否故另設所謂能媒以輔光須依物質傳導之說之不足光浪係球殼形每球殼稱爲浪面在相等密度之導體內向任何方向等速推進如圖中a爲連續之光浪自發光點O向八方前進其方向之標準係爲垂直於球面之線如OA及OB等此種垂線卽前所稱之射線而一束之射線卽前所稱之光線平行光線其浪面係平面且諸射線互相平行（如圖中B）



光經過透光鏡或曲鏡後光線卽聚於一點O（如圖中C）卽稱謂焦點

第九十二款　光折射之理　光線自空氣傳入水其速度卽變更在圖中平行光線由傾斜方向傳入水中其浪面之一AB當B及至水面 mn 時B部分之速度卽改變而A部分尙在空氣中其速度當不變故AB之方向變成 CD 由是光成折射因光在水中之速度較在空氣中爲小故光係折向垂綫PR如圖中AB折成CD



由是光若於垂直向度而自空氣傳入水中當無折射之現象因 AB 浪面各部分速度之變更係同時發生故也

第九十三款　光速與屈折率　前節已知光之折射與光在不同導體內之速度至有關係蓋折射之大小係視速度變更之多少而定在水中之光速雖不易測量但有人竟能求得約合在空氣間速度之一、三三分之一但此數値係吾人以前所求得之光在水與空氣之屈折率

$$\therefore 屈折率=\frac{光在空氣中之速度}{光在其他物質內之速度}$$

茲證之如下

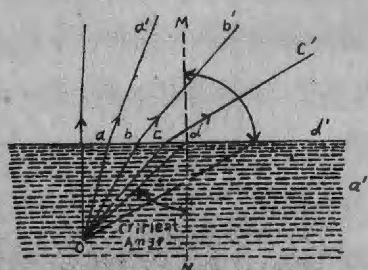
$$屈折率=\frac{\text{Sin}\,i}{\text{Sin}\,r}$$

但　$i=\measuredangle ABC$　　　$\text{Sin}ABC=\frac{AC}{BC}$

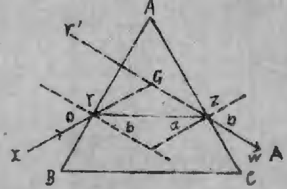
$$r=\measuredangle BCD \qquad \mathrm{Sin}BCD=\frac{BD}{BC}$$

$$\frac{\mathrm{Sin}\,i}{\mathrm{Sin}\,r}=\frac{AC/BC}{BD/BC}=\frac{AC}{BD}=\text{屈折率}$$

第九十四款　完全反射　光自水中或玻璃傳入空氣時其折射係折離垂線如圖中之O點爲在水中之一發光點成一射線於是在垂直位置時當無折射之可能但其傾斜漸漸增大時如圖所示oa, of, oc等位置則其折射亦折離MN垂線漸遠及至od位置時其折射線dd'確與水面相合於是od與MN所成之角odn名曰鑒定角因若超越此角之值則光由折射而變爲反射如occ'由是鑒定角係在密度較大之傳導體內此角之數值於二種定導體間係一定若光與垂線之夾角超越此角之值時則光爲反射而非折射且無折射之可能



第九十五款　三稜鏡之折射　光XY射入三稜鏡之一邊由是折成yz但再入空氣時更折成ZW但ZW可視作光XO直接折射成XW（即ZW）之方向故折射之程度可以角XOX表之因之特名此角爲差角更普遍言之任何二平面互相傾斜時即成爲三稜鏡之作用由是鏡之頂角A稱謂折射角



第九十六款　透光鏡　透光鏡係一片玻璃或別項透明物質所製其面務須爲光滑之球面其二球面中心之聯綫稱爲透明鏡之主軸

透光鏡可分爲二種一爲收歛或稱薄邊透光鏡一爲分散透光鏡或稱原邊透光鏡收歛透光鏡之中部較兩邊爲厚此種之最普通者係雙凸透光鏡分散透光鏡之中部較兩邊爲薄此類之最普通者係雙凹透光鏡光經過透光鏡其折射係折向透光鏡較厚之部分

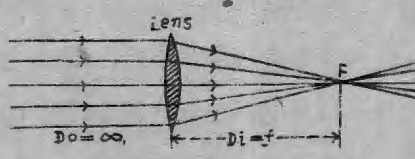
第九十七款　凸面透光鏡之作用　使一平行於主軸之日光射於雙凸鏡面透光鏡上則因折射之故光即集成一點若取紙置於此處有亮而細之日影照於其上且不一刻紙即能焦鏡愈厚此點離鏡愈近是點即稱爲透光鏡之主焦點透光鏡與主焦點之距離稱爲主焦點距

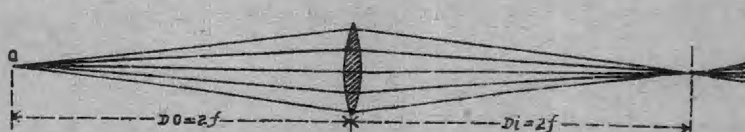
第九十八款　凸面透光鏡之浪面變化　光自日或距離較遠之物體傳來實際上均爲平行其浪面之位置係與鏡之主軸垂直於是浪之中部最先觸及鏡面而其速度即減少但同時在空氣中部分之速度不變結果浪面成凹形而得集於一點稱之爲主焦點浪面過此點後即由凹面改成凸面

第九十九款　凸面透光鏡所成之影　發光體如電燈等置於凸面透光鏡一方之主焦點外時其光綫當聚於鏡他方之一點若置一屏風於此處其上即現一倒影且較原物體爲大設互換燈影之位置則影雖仍爲倒影但較原物體爲小如是燈置於凸面透光鏡某一面之任何點時（須於主焦點之外）則於鏡之他面某點可得一影若互換位置影亦可得如此二點稱曰相對焦點

第一百款　透光鏡之公式　物體與其影關於凸面透光鏡之位置係以主焦點距決定至其中之關係與前節所論凸鏡與其影之關係相同

第一百〇一款　凸面透光鏡公式之討論　光自遠距離來其光線可視爲互相平行則其影當在F點蓋Do頗大 $\frac{1}{Do}$ 幾等於零於是 $D_1=f$ 若物體趨近於鏡則影離鏡漸遠如 $Do=2f$ 則 $D_1=2f$ 但當物體在主焦點之位置時其影即在無窮遠處而光線經過透光鏡平行傳出今更將物體向鏡移近（即在主焦點距內）則光綫經過鏡即發散而各射線之方向猶各於主焦點處所發出者在此情形之下 D_1 爲負即影在透光鏡之後面

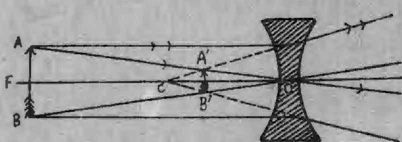




第一百〇二款　影之求法　用幾何方法可求得影關於透光鏡之位置及其對於原物體之大小至其作法與前論及曲鏡影之作法相同故其結果亦爲影與鏡之距離與物與鏡之距離之比等於影之長與物體之長之比

第一百〇三款　凹面透光鏡之影　平行光線經凹面透光鏡後卽行發散而其各射線發射之方向猶如於C點發出故此點名曰虛焦點其用幾何學之求影法與前求凹曲鏡之影相同由上圖可知此鏡之影及物體係在鏡之同方向影爲虛影且係正置惟較原物體爲小

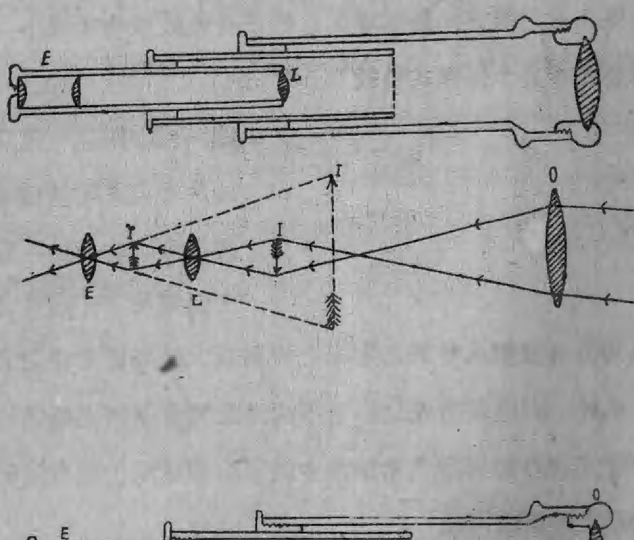
應用公式時其ｆ係作爲負數

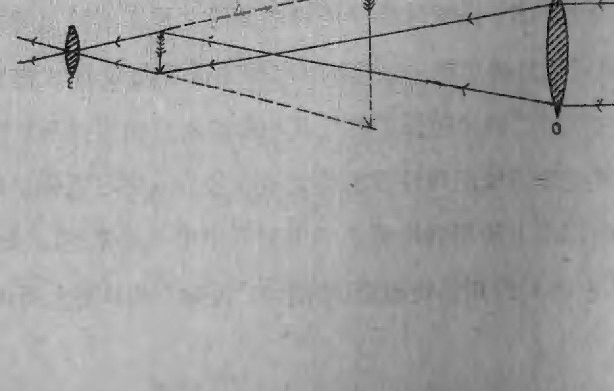


第一百〇四款　光錯　以前論及光自某物體傳來經透光鏡後假定均集於一點但實際上因觸及透光鏡外部周圍之光線其折射較觸及中部之光線之折射爲大結果折射後之光線恆難準確集於一點以致所成之影常不清楚此等現象曰光錯其補救之法常使透光鏡外部周圍之光線減少故望遠鏡鏡頭上備有隔膜環俾鏡外物體之影得較清楚

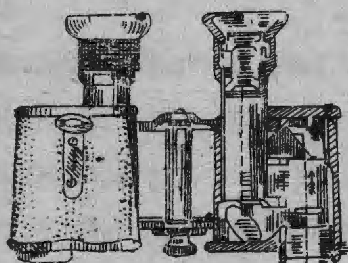
第一百〇五款　望遠鏡　望遠鏡係用以鑒別距離頗遠之物體其最簡單之一種爲天文望遠鏡鏡有二個或二組透光鏡其大者O係照外界之物體小者E係便目視O所成之倒置之眞影雖較原物體爲小但離E頗近故目視之能一一鑒別E之作用係放大O所成之影不致過小及欠清楚二透光鏡係裝置於互相套置之二筒內於是E及O之間距離可變俾得校正與外界物體之距離含有一定之關係但此鏡中之影係倒影市上所用者均係小千里鏡其中多一透光鏡L（如圖）置於O及E之間其作用係使倒影I顚倒成I'再將I'由E擴大而成I''適合

於吾人目光而係正影此種千里鏡之鏡筒當較天文望遠鏡之鏡筒略長其應用於測量器及水平機者頗多





第一百〇六款 雙眼望遠鏡 近年發明雙眼望遠鏡者亦係小千里鏡之一種此鏡能使兩眼並用而無差異所以能如此者係因二射三稜鏡反射之中此鏡之絕大佳處即其鏡筒較別者可短三分之二而其焦點距仍不變故現用之者頗多蓋因其攜帶便利故也



第十章 音

第一百〇七款 鐘發音必須用錘或他法激動後始可但當發音時用鉛筆輕輕觸及鐘邊手即覺有振動且振動甚快再當敲琴時琴上銅絲於受擊之後即開始發音同時見銅絲之闊度較未擊前增大但當音停止時銅絲之闊度仍復原狀此種現狀即表示在發音時銅絲振動甚速致吾人目力難以辨別其單純之闊

從此二項事實可知音係由於某種物體受相當激動後發生振動而生

第一百〇八款 音之傳播 在普通情形中空氣充塞宇宙故空氣之能傳音已不言可知但若在眞空內或他項氣體之間音是否能傳播此種問題可用下列實驗解決之

取一鬧鐘置於抽空器具內於是將空氣抽去如是當鐘上之錘振動時而鈴聲全無若將空氣漸漸放入則鈴聲亦漸起由此可知在眞空中不能傳音設將鈴放入氣體（空氣除外）知其結果與在空氣同

是音故須賴氣體方能傳播遠方非若光或熱在眞空亦能通過再進而實驗音亦可賴液體與固體傳播

取一音叉叉柄之尾裝一軟木塞然後擊動之初其發音甚微頗難聽覺但若放入一玻璃杯時（杯中盛水置於一增音匣上）音卽擴大雖其音之增高係增音匣之作用但若玻杯中之水不能傳音增音匣卽失其效用而音亦不能擴大由是液體之能傳音已顯明矣至於固體其最易見而最普通之實驗卽於火車由遠而來時輪軌相擊之聲雖空氣間尙未聽得而鐵軌上已能覺得故固體亦能傳音

總而言之無論固體液體氣體三者均能傳音

第一百〇九款　音速　音既須憑物質而傳達則傳達時必須費時間在單位時間內所傳之距離名曰速率

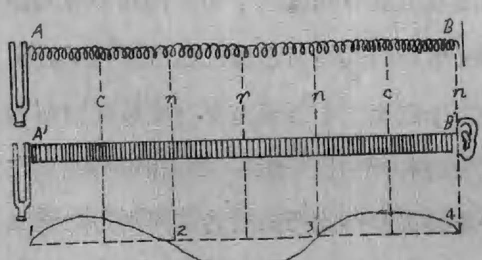
音之速率較光之速率爲小由閃電及雷聲卽可證明閃電及雷聲本係同時發生惟因光行較速故吾人先見光而後聞聲而發雷處愈遠光聲之時間相差愈長

今設人及發雷處間之距離已知光聲時間之差亦已知則音之速率可計算取得結果於理論上雖有錯誤但實際上已頗準確蓋因光每秒速爲一八六〇〇〇英里其自發雷處傳至人處所費之時間與之比較儘可略去不計由是藉此推論德國之科學家得音每秒間在空氣中速爲三三一公尺（約一〇八七英尺）而空氣溫度均在標準境遇之下至於音在水中之速率係爲空氣中十五倍且溫度每增攝氏一度音速卽增二英尺在平常溫度音在空氣中之速率係以每秒一一〇〇英尺

計算

第一一〇款 音波 音由發音點發出時並無物質傳出而吾人所得者惟有干殼之知覺是以音之非爲一物質已至明顯經諸科學家討論其結果爲「音係一種能力憑物質而傳播其傳播方式係波浪」此項浪波名曰音波

音波既不能見波之情形當難確定總各種波狀可分二種一爲橫波一爲縱波前者係與繩索振動之狀况相似後者係彈簧振動之情形至於音波則係縱波因當物體發音時其四周空氣因其振動而受壓縮及放寬作用故成爲密薄相間之空氣層繼續向四周傳出尤如彈簧受一張力後其振動係伸張而縮緊由縮緊而伸張如是繼續進行直至停止



第二圖中之最黑處表示空氣最密之層名曰最高點其淡白處表示空氣最疏處名曰最低點相隣二最高點或最低點之距離稱爲波長

第一一一款 音速波長及振動數之關係 音速及波長之定義前節已論及振動數則爲每秒鐘內音波之最高點或最低點經過一定點之數目通常以V表音速n表振動數l表波長則V＝nl

第一一二款 音之强度 音强度之定義爲在單位空間體積內所存音波之能力數例如離鈴十尺之處所聞得之音較離鈴五尺處低四倍離十五尺則低九倍故音之强度係與離發音點之距離之平方成反比

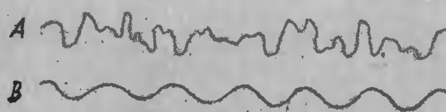
因音係憑藉物體而傳播故物體之變更音即受到直接影響而三態之間以氣體之變更爲尤甚譬如空氣在近地球處其空氣密度較離地球遠處之空氣密度爲大因密度不等致傳音之功效亦有差異由實驗知傳音之高低與導物體之密度成正比

第一一三款 音之回射 在峻壁峭巖之山谷間以及空曠之園亭內每呼一聲餘音嫋嫋繼續不斷且或竟有同樣之字句聞得此種現象即由於音波與巖壁發生擊撞反射而回其回射之音波名曰回音至於反射面之距離必須離發音點二十碼至二十五碼方能有效且反射面離發音點愈遠回音聽得愈遲更有音回射恆不祗一次如在兩旁高牆之長衖內一次呼喊後其回音能疊次聽得此乃由於音波與兩旁之壁反復擊撞所致

第一一四款 樂聲與嘈雜聲 音樂音波之高低長短均依一定規則故聽之悅耳嘈雜聲之音波湊雜無序如用曲線表之則如圖

B.係音樂之音波

A.係嘈雜聲之音波



第一一五款　音强音調音色　音樂有三種重要性質卽爲音强音調音色音强係因振幅之大小而變音調係依振動數之多少而變音色則依音波之性質而言

第一一六款　低音及高音　琴之銅絲時有全部振動者時有部分振動者其全部振動時發出之音調稱爲低音部分振動時發生之音調曰高音但高音之間更有階級之別如將銅絲分成二等分而振動則其音爲第一級高音因其振動數較底音者適高一倍當銅絲分成三等分時其音爲第二級高音而其振動數三倍於低音者如是類推更可得較高級之音

第一一七款　Helmholtz之實驗　氏從實驗證明音色之區別係賴各級高音與低音如何混合而生因在樂器吹奏時其弦絲雖全部振動但其間亦能有部分之振動故所發之音非單純爲低音或某級高音但爲各級高音及低音之混合物氏在彼實驗中所用之器械係直徑不等之空球增音器器之相對二端備有大小二洞口大者係音波之進口小者係聽聞處在此增音器內祗能有一種音調聽出故在奏樂時渠卽以直徑不等之諸增音器試聽結果將音內各音調分拆而出再照所得結果用各種之單純音調混合而仍得出原音如是音色之區別卽有憑依且任何音母亦可決定矣

第一一八款　音波之攝影　Dayton.c. miller 氏爲研究音波之情狀特製一攝影器械藉照相之功用得將音波情狀出示於衆是器之專名曰 Phonodeik 其製造頗簡而用之所得結果頗準其原理則如之於下

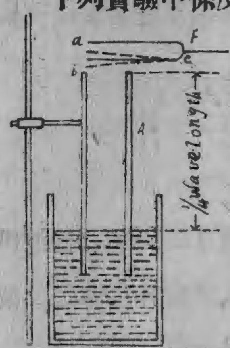
在上圖中h係受音筒d係薄層玻璃隔膜在膜之後放一軸心軸之一端係滑車軸則固定於寶石質之軸承座上軸心上則固定一小鏡如圖中之m經過滑車繫有絲線其一端固定於膜之中心他端則縛於一彈簧上再射一光綫用透光鏡集在m上於是反射至ｆｆ爲照相片筒當音自受音筒而來時音波觸及薄膜使之振動以致小鏡m亦旋轉其所轉之角度當與波之音强成正比如是於相片上可得其結果矣

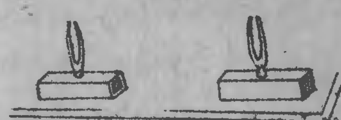
第一一九款　共振　當銅絲兩端結緊而使之振動後若再加一擊有時其振動更烈但有時其振動減少或竟至停止所以故者因不同二次施擊後所生之振動有互相增加或抵消之能力其互相增加之振動定名曰共振

第一二〇款　反音器　音波自一振動物體發出常能使鄰近之有等波振動數之物亦起振動如是二物名曰反音如下圖中之二木匣各有一端係開口者且其上各置一等波之音叉其開口面互相對置如是擊

動音叉後將任何一匣緩緩前後移動直至某時其聲急高而同時餘一音叉亦在振動矣如圖中二匣之安置其間則成一空氣柱是柱卽所謂反音器也

下列實驗中係反音器之一但恆用以求音叉之波長其理如下

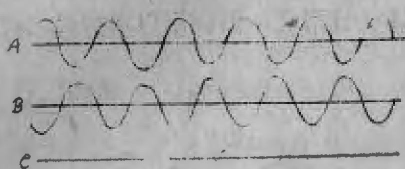




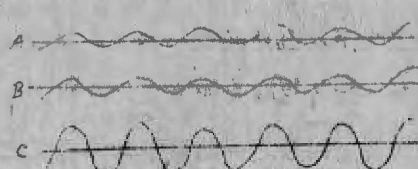
B係一量杯中盛以水另取一玻管其兩端均係開口放於杯中而縛於鉄架上務使能上下移動然後取一音叉F擊後放於玻管口上然後將玻管移動迄至一點音忽增大卽停止動作如是在水面外一段玻管之長適等於音叉波長四分之一如圖中ac係音叉之一脚當其下降至中點之處隣近空氣開始被壓凝縮而入玻管卽爲音波之始點及至bc音波必因與水面相撞反射而出由是及音叉脚上升而再及中心時其反射之音波方得與再生之音波相合而致音卽增大故玻管高出水面之長定爲$\frac{1}{4}$之波長

第一二十一款　音波之相阻　音波之互相增加前節已論及之但既能增加則減少或抵消當亦爲可能其由二音互相抵消而得之片刻靜止或低弱時名曰拍節

設有二同調之音叉用輭木錘先後輕輕擊之則有一種平順之音發出但若用兩不同調之音叉以同法擊之則所發之音忽高忽低此種現象係由於音波互相阻礙而生



第一百二十二款　拍節之解釋　如A圖所示AB爲同調之音波但其相適反卽兩者各波長之半互相抵消故在空氣間如有是等之二波發生則全無聲息如圖中所示之C若如此者名曰相阻



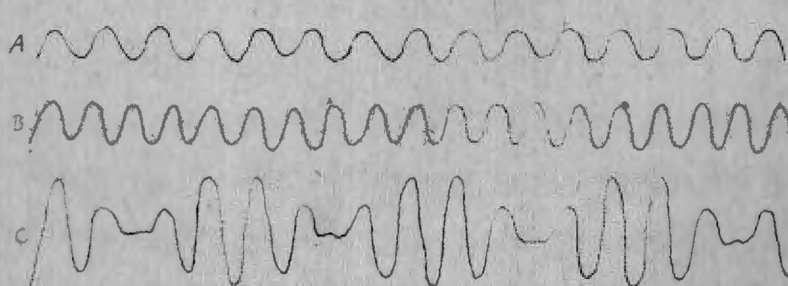
但若二波音調相同而其相亦同如B圖所示之A及B則結果成另一同調之音調C其音之強度係爲AB各有強度之和若如此者名曰相助

更有二波其相差至微如C圖中之A及B則相合而成之波當如C有幾點係相助有幾點係相阻

從C圖可知每秒振動二百五十五次之音波與每秒振動二百五十六次之音波相合則每秒有一點係相助另一點係相阻故總言之每秒

拍節之數目等於二音調之差

第一百二十三款　不諧拍節　音樂之不和諧是由於拍節所致若每秒間有五次或六次之拍節其音卽不悅耳再而至每秒有三十次乃起最不和諧之音調但及七十次以上如c音及E音又能入於調之態



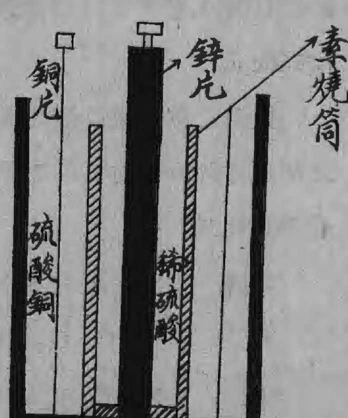
物理附錄

附錄 電池

達氏電池（Daniell's cell）該電池以銅片爲陽極鋅片爲陰極其構造爲於瓷瓶內立一素燒筒筒有底無蓋中盛稀硫酸（或硫酸鋅）插入漬録鋅片瓷瓶內盛硫酸銅液以圓筒形銅片插入之稱瓷瓶爲外瓶素燒筒爲內瓶以導線聯此兩極則鋅溶解爲硫酸鋅發生氫氫遇硫酸銅則銅置換生硫酸而遊離之銅則附着於銅板其化變如下：

陰極 $Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2$

陽極 $H_2 + CuSO_4 \rightarrow H_2SO_4 + Cu$



銅之厚漸增硫酸銅液漸稀補充之法只須加若干之固體硫酸銅可矣該電池之電動力隨液之濃度

而殊用硫酸一分與水十二分相和所成之稀硫酸時其電動力爲1.178勳內電阻頗大故不適求强電流

彭生電池（Bunsen's cell）該電氣之內瓶爲素燒筒盛硝酸中立碳棒爲陽極外瓶盛稀硫酸中立鋅片爲陰極距碳棒上端一寸許宜融石臘糊之藉防硝酸沿棒上升致侵金屬螺旋此電池之化變如下：

陰極　$Zn+H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4+H_2$

陽極　$\begin{cases} H_2+2HNO_3 \rightarrow 2NO_2+H_2O \\ H_2+HNO_3 \rightarrow HNO_2+H_2O \end{cases}$

彭生電池之電動力頗大爲1.8至1.86勳其內電阻頗小

重鉻酸電池（Bichromate cell）此由改良彭生電池所成於稀硫酸中混重鉻酸鉀（$K_2Cr_2O_7$）或重鉻酸鈉（$Na_2Cr_2O_7$）插入碳板及鋅板製作此液可於水一研中溶重鉻酸鉀150克再加濃硫酸110c.c.若用重鉻酸鈉則水一研中溶重鉻酸鈉200克再加濃硫酸150c.c.

通常之重鉻酸電池其構造爲玻璃瓶中盛液內插碳板二枚碳板之間更插鋅板電池不用時舉起鋅板以防無益之消化電池內所起之化學變化爲

陰極　$3Zn+3H_2SO_4 \rightarrow 3ZnSO_4+3H_2$

$Na_2Cr_2O_7+H_2SO_4+H_2O \rightarrow 2H_2CrO_4+Na_2SO_4$

$2H_2CrO_4+H_2SO_4+3H_2 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3+8H_2O$

$$Cr_2(SO_4)_3+Na_2SO_4+24H_2O \rightarrow 2[NaCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$$

雷氏電池（Leclanche' cell）取玻璃瓶一內盛濃氯化錏液其中豎鋅棒一方插碳棒於素燒筒內碳棒之周圍填二氧化錳及碳粉之混合物電池內之化變如下：

陰極　$Zn+2NH_4Cl \rightarrow ZnCl_2+2NH_3+H_2$

陽極　$H_2+2MnO_2 \rightarrow Mn_2O_3+H_2O$

即鋅與氯化錏作用生氯化鋅錏及氫氣化鋅溶於液中錏散逸氫進向碳棒遇二氧化錳還原之如稍久繼續用之 MnO_2 幾均還原爲 Mn_2O_3 遂失氧之機能但暫休置之又與空氣中之氧化合而爲 MnO_2 再復舊狀

$$2Mn_2O_3+O_2 \rightarrow 4MnO_2$$

A.若干導體串聯時之抵抗:設將AB,CD,EF,……各導體串聯之(如圖)若 r_1, r_2, r_3,……爲AB,CD,EF……各導體之抵抗電

流 i 由 A 流入經過各導體 E_{AB}, E_{CD}, E_{EF}……爲各導體之電動力從歐姆定律得

$$E_{AB}=r_1 i$$
$$E_{CD}=r_2 i$$
$$E_{EF}=r_3 i$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

各式相加得　$E_{AF}=(r_1+r_2+r_2+\cdots\cdots)i$

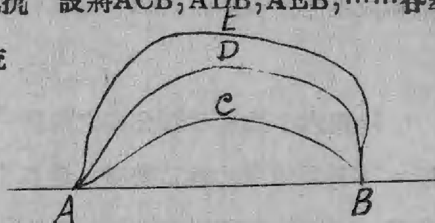
設令 R 爲 A 及 F 中之總抵抗則

$$E_{AF}=R\,i.$$

由此二式得　$R=r_1+r_2+r_3+\cdots\cdots$

若 $r_1=r_2=r_3=\cdots\cdots=r$ 則　$R=nr.$

B.若干導體排聯時之抵抗　設將ACB,ADB,AEB,……各導體排聯(如圖),i爲自A流入之電流經過導體 ACB,ADB,AEB,……分成 i_1,i_2,i_3,……各導體之抵抗



爲 r_1, r_2 r_2 ……A及B兩點之電勢差(卽電動力)爲E則

$$E=r_1\,i_1$$

$$E = r_2 i_2$$

$$E = r_3 i_3$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

但 $i = i_1 + i_2 + i_3 + \cdots\cdots$

$$= E\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \cdots\cdots\right)$$

設R爲各導體之總抵抗則

$$Ri = E.$$

即 $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \cdots\cdots\cdots\cdots$

若 $r_1 = r_2 = r_3 = \cdots\cdots = r$, 則 $\frac{1}{R} = \frac{n}{r}$, 即 $R = \frac{1}{n} r$.

C.第五十八款比抵抗公式之解釋　設有一導體其長爲 l 其斷面爲S.今將其長分爲若干等分每一等分之長爲一單位串聯之再將其斷面分爲若干平面排聯之令 ρ 爲此單位物質之抵抗（比抵抗）從上之二節得其單位斷面之總抵抗爲 $\frac{\rho}{S}$ 因斷面分爲若干等分平面排聯故也而此各斷面串聯而得長 l,故知此導線之總抵抗爲

$$\frac{l\rho}{S}.$$

D.第六十款熱效應公式之解釋　設A及B爲一導體聯結之二點、E爲其電動力即電勢差、從其定義知一單位電荷在單位時期內自一點至他點所須之功謂之電動力今有電荷 i（即電流）則在單位時間內自A至B所須之功爲 Ei 而 E＝Ri故在單位時間所須之功爲 Ri^2 由能不生不之滅定律知此功決不能失去、惟在電流通

過一導體卽生熱熱之能來係由功而生、因此之故在電流通過之時間(t)所生之熱量卽 t 時間所做的功、故得、

$$H=Ri^2t.$$

$$\because R=\frac{l\rho}{S} \quad \therefore \quad H=\frac{\rho l}{S}i^2t.$$

$$\because E=Ri \quad \therefore \quad H=Eit.$$

-無　線　電　學

電磁波學說（Electromagnetie Wave）：1853年Lord Kelvin 氏以數學推論來頓瓶（Lydeujar）之放電，在某種條件之下，應有振盪現象， 及 1865 年馬克思威爾（James Clerk maxwell）更以數學得進--步之論斷曰振盪式之放電，必能產生--種有放射性之電波，名曰電磁波或曰無線電波 （Wireless Wave)但彼雖創是說而未能以實驗證明之，及1886年德國郝支教授（Professor, Heiurich Hertz），以精巧簡易之試驗，證實馬氏之電磁波學說，並指示此波，可以發射，可以檢收、

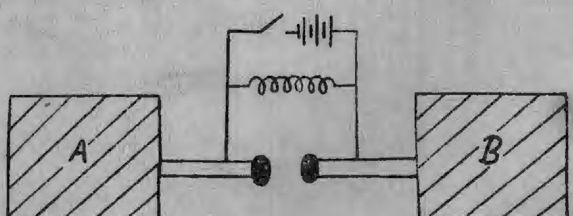
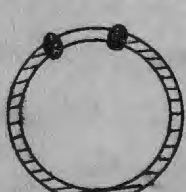


圖　一　(a)

郝氏之試驗方法，係用金屬板兩片，各以銅棒連一小球，使兩小球對立於甚近之距離，再以感應圈（iuduction Coil）跨接兩金屬棒，用電池通電，使兩球間生強烈之火花，（圖1a）即生電波其檢波方法，更為簡單，手持有缺口之金屬環（圖1b）來去室中，則見有火花跳動於環上兩球之間，偶至室外，環上仍有火花，郝氏即加研究，乃知電磁波遇絕緣體可通行



圖一（b）

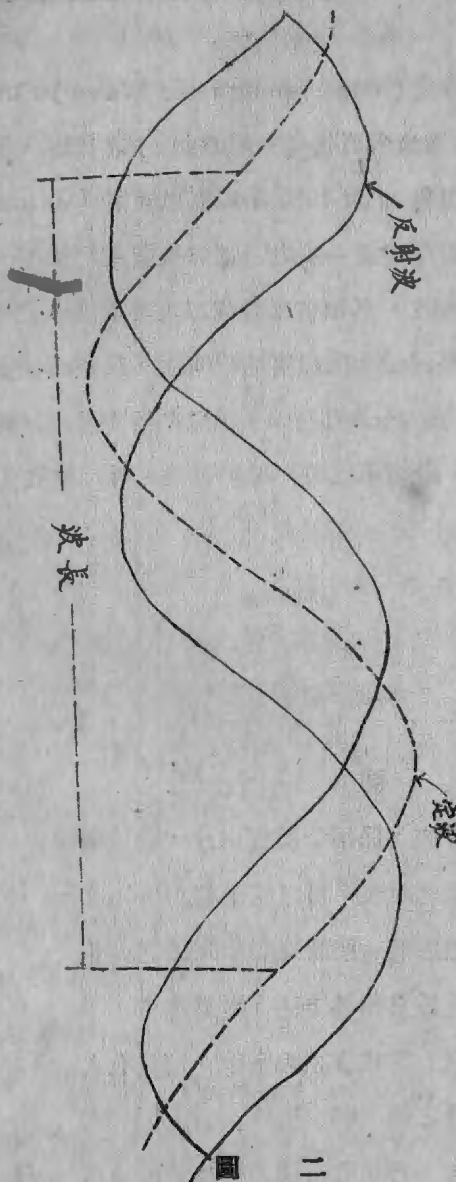


圖 二

，遇金屬面則反射，郝氏遂用一8英寸方之鋅板，使電波反射波與其投射波，合成定波如圖二所示，環示相當距離，火花忽消滅，過此則火花又生，郝氏斷定火花消滅之處，必爲定波之節，乃量其火花消滅之鄰近兩點距離，作爲波長之二分之一，是則除已證實電磁波之生存外，又能測知其波長矣，

電磁波之解說： 二個金屬導體，受有不同號之電以後，則以二導體爲核，一靜電磁場(Electrostatic, field)由其發射至四周，充實完全之空間，磁力線由一個金屬體發出而至另一個金屬體，當二導體間電勢，因吸受發電器之電量而至一限度時即開始放電，其時靜電磁場，磁綫之二端，沿放電路線，相對緊縮，猶如彈性繩索之二端，而至消滅，但是時因有電流通過空隙，動電磁場(Electromagnetic, Field)即起而代之，

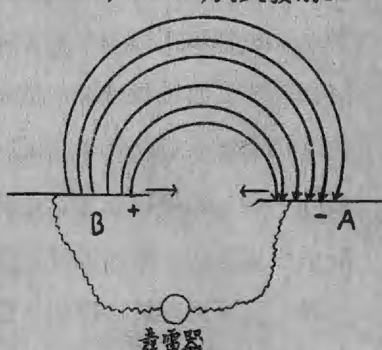


圖 三

在低週期或中週期之振盪時，二種磁場，有足夠之時間，互相起伏，故無能的損失(Loss of Energy) 惟週期漸高，每週期之時間漸短，及振盪已在某一週期數之上、其磁場之變換，因時間之限制，不能完全，是即電能既爲磁線散佈在空間，而不能全量返歸電路，因此一部分之電能、存留空間，形成磁波，是即所

稱之電磁波也，茲假定放電之振動週期頗高，乃靜電磁場磁線之兩端、以高速相向而馳，是時磁綫之各部亦在收縮，但及兩端相遇且互易其原位後，磁綫尙未能消滅如圖四中之A.卽示所述之情形也，於是此磁線，之一部分成爲封口圈，餘則留於金屬間，惟其方向相反，如圖四之I，I'及II，II'然，是以當放發時，磁線所成之環圈組繼續傳入隣近之空間，而每個環圈卽帶有定量之能，但磁線之收縮性未減，故每環圈，仍繼續收縮，迄至消滅，然靜電磁場消滅後，卽有動電磁場發生，例如來頓瓶在未放電時，靜電磁場存在空間，當放電時，靜電磁場隱伏，而因電流通過，動電磁場隨之崛起，及放電停止，靜電磁場再起於二極間，動電磁場卽消滅，設無阻耗，二種磁場將交互起伏於二極間，如是同理，磁線圈環之能力，在無阻力時，將恆在動電與靜電二磁場間變換，於是空間有電磁波之存在矣，

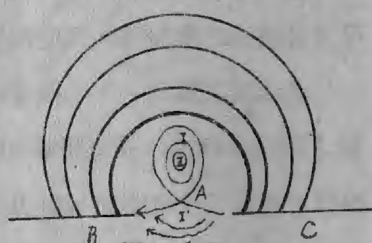


圖　四

檢波器：　前節所述之郝氏檢波器發現之後，卽有Hughes氏所創製之凝聚器(Coherer) 問世，其功效亦以之檢波，惟功效小、旋得 Sir Olives改進後，更由馬可尼氏(morconi)改製而應用於無綫電報上，器爲一封閉之眞空玻管，二端以鍍汞之銀棒兩條

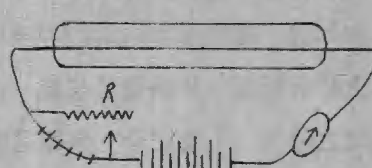


圖　五

插入，相隔三十二份之一英寸，其間夾以金屬屑（Hichel 96%, Silur 40%）將其置於一電氣及一電流器(galvanometor)之電路中，(圖五)然後變更電阻R.使電流器間之斜向（Lebhetion)極小則當隣近振盪器(Oscillator)或發電器上有火花時，電流器中之斜向突增，是因電磁波與玻管內金屬屑相遇，使其間電流阻變更，以致電路中之電流亦變化故也，但此斜向，須將玻管擊動後，始復原狀，設此電流器換以敏銳之轉遞器(Relay).則當電磁波觸及凝聚器，轉遞器卽工作，若再加解凝器（Decoheret)及摩爾斯墨水紀錄器等，卽成一收訊台矣，

電波器之種類繁多，其中以佛蘭明檢波器功效較著，雖現在各無線電收訊台，因有多極眞空管發明後，鮮於應用，但多極管之原理，卽根據其所得，故其價值仍在也，器係一燈泡，內有一圓屏P圍繞燈絲F，燈絲係以一電池熱之，卽有電子向四周射出，達於屏極故電流之方向一定，而可用作檢波矣，其理於後節述之，

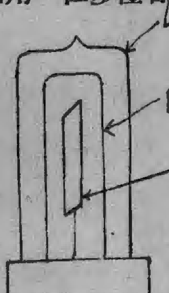


圖 六

無線電報(Wireless Telegraph): 普通發電台中所用之馬可尼(mrconi)式，示如圖七，A爲一很長之金屬綫卽現稱之天線(arieal or autexna)，其上端與絕緣體相接，下端經一可較正之感應圈及變壓器 T之次級圈而接於地，天綫之作用，猶如一容電

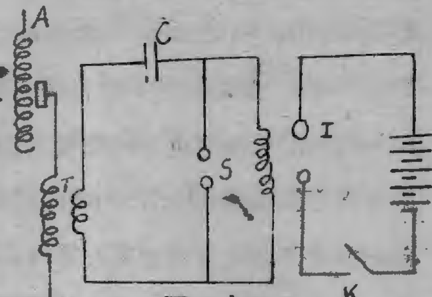


圖　七

量(Capacitance)與感應圈之感應量(Iuductance)組成發射電波之要件，至其電力，乃由T供給之，因B爲電源，K爲開關以控制感應圈I初級圈之電流，其次級圈則與火花式振盪器平接而直聯於容電器C及變壓器之初級圈，容電器係可較正者，使火花式機之振盪，得與天線之振盪相配諧(June)於是當K工作時，天線上卽起反應而發射電波入空間矣，

接電台之佈置，以檢波爲原則故發電台之發射部分，在收電台內換以檢波部份，圖八中之C卽檢波器，天線A之作用係收空中之電磁波，由感應於天綫電路中產生高週率電流通過變壓器T之次級圈，於是初級圈中起感應電流使檢波器B起作用，檢波器與聽筒或收音器(Telephone)及一電池相接，於是當天線收得電波，檢波器中電流常値變更因此聽筒中之電流亦變化而起聲息矣天線電路之感應圈，係用以與發電台天線電路之振盪作配諧而巳，

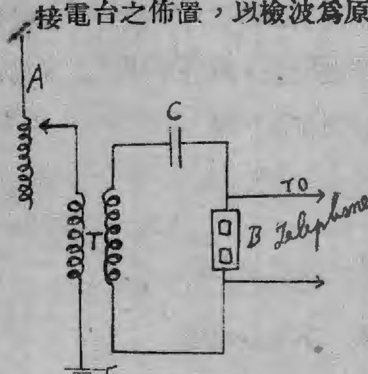
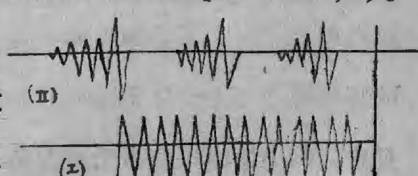


圖　八

上二節所述者，爲馬可尼式電台及發電台最簡單之佈置，各

電台之機件雖有種種不同，然原理則一，自馬可尼氏在 1895 年初次試驗無線電報成功之後，關於發報器，及檢波器，有多種發明及改良，如馬可尼之轉式隙發報器，德人費音之瞬滅式隙(Qnenchedgap) 發報器，及磁性檢波器，電化檢波器等等，然鮮見效果，及三極眞空管成功後，以前之難題，解決多多，而無線電之應用，亦漸廣矣，是因三極管能產生高週之等幅電波，且其成效，較以前任何種之機件爲佳也，

減幅電波及等幅電波(Damped Wave undtamped Wave)：火花式發報機，所發之電波其振幅係漸次減少如圖九所示之Ⅱ故名減幅電波，及 1900 年狄突兒(Duddell)弧光發現，於是等幅電波得產生（圖九之Ⅰ）其法係將由定電壓電池所供給之電流通過二炭精柱，與一電阻R串聯(in Series)，再用一電容器C及感應圈L與之排聯於是供給炭精之電流，一部分流入容電器，結果炭精柱之相隣點A處溫度減低，而電阻增加，亦卽柱間之電壓遞增也其時電流仍繼續入容電器，迄至容電器二片



圖九

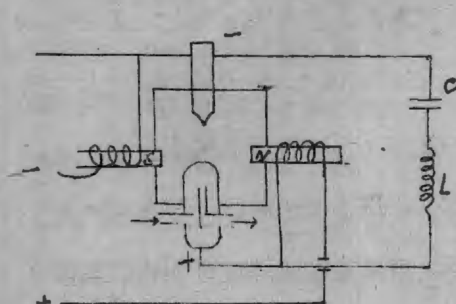
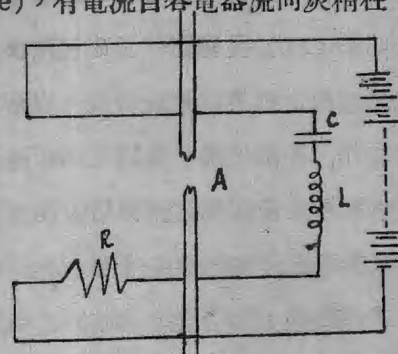


圖 十

間之電壓與柱間之電壓相等始停止，因此柱間電流恢復原值，而A處溫度加高，電阻減低，電壓亦降落，故容電器與炭柱之間有電位差(Potential Differeuce)，有電流自容電器流向炭精柱，其方向與前適相反，如是反復行之，電路間電流則生振盪矣但其振盪率不高，後普爾生(V.Poulsou)氏，依此原理加以改良，其二極係炭精柱與銅管，裝於輕氣之內

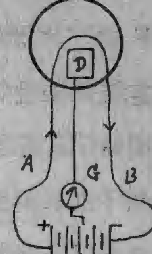


圖十一

且置一强力之磁場與弧光成直角，得一振盪電流其週率每秒有三萬之多，普氏於此實驗中之負極係炭精，正極係銅管，其熱以冷水發散之，

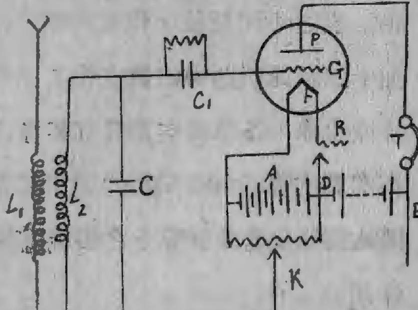
除上述之弧光之外，尚有利用普通交流機所製成之高週率發電機如古爾許密機(goldschmidt's Altermater)及亞歷山大生機(Alexanderson Altermator)等等，係由電機直接產生高週率之電流，發射電波，但效率不高，使用不便，及三極管發明，用作振盪器生高週電流效力與施用，兩見益增此外尚可用作調幅器，使音樂或人語能寄存在無線電波，於是播音之術，始得竭盡其能事也，

愛迪生現象(Adison Effect)：直空管之發明，起因於熱體在眞空間放射電子之現象，圖十二示一金屬片D，位於燈炮燈絲AB之間，而與電流器相接，燈絲電流，由一電池供給，當D與燈絲之正極聯接時，則電流表中顯示有電流通過，但與負極相接時，電流表中卽無影響，由是可知，AB與D之間，有電流可通，且AB所發之電係負號，故爲燈絲之負極所拒，D上電位降低，故AD間之電位較DB間之電位低矣，此項現象，愛迪生於試驗白熱電時發現，但愛氏未曾進究，及1905年，佛蘭明推擴此理而製成二極管，用作檢波及整流，是於前節已論及矣，



圖十二

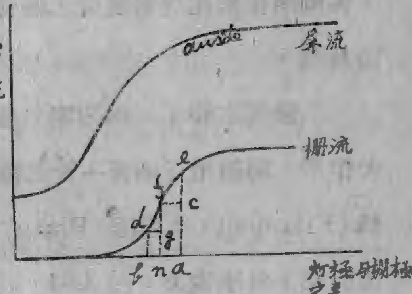
三極眞空管：佛蘭明二極管，祗能用作正流及檢波，至放大作用，則須用三極管，管間較二極管多一柵極(grid)，位於燈絲(Filament)及屏極(Plate)之間，其燈絲爲一組電池A之電流所熱，外來電波，流入柵極，管內溫度極高，故燈絲無電流流向柵極，但有反向電流，其故因燈絲燃熱後，卽放射電子，經柵極而達屏極，但當柵極爲負時，電子則留於燈絲上，在電路PT



圖十三

EDF中，電池DE之電壓，有50至150伏脫，使電流自P流向F.而P,F電路間電阻之大小，爲G,F間之電磁場所控制，因外來電波係振盪者，設其電壓較F爲低時，F上之電子，不能放射，同時G,F間之電阻爲無限大，但若G上之電壓較F爲高時，F上之電子卽放射而出，經柵極以達屏極，因此自屏極至絲極之電流，與柵極及絲極間之電位差成比例，故眞空管之特性曲線(Characteristic Wave)係以柵極與絲極間電位差與屏流之曲綫，及柵流曲線表示之，

求此曲線，可將圖十三中之T，換以千分安培之電流表(microammeter)再接一電壓表於BG之間，另一千分安培表於BCG電路間，然後將電勢計(Potentiometer)上之接鈕(Contct)移動，使G,F,間電位差變更由三表之不同數值，作成曲線如十四圖此項曲線曰眞空管之特性曲線，各種眞空管自有其特性，故特性曲線，當亦不同，但高空眞空管(hard Tube)之曲線形態相同，屏流較柵流大得多，因此自L,C電路中所受之振盪電流，經柵極而電能加大，使T起作用，



圖十四

圖十三所示之線路中，K點直接接於D點時，則此三極管用

作整流器，c,爲小量之容電器，與高電阻耗R(其值約1megohm)串聯於柵極電路中，是時柵極之電壓爲 n (圖12)，故自G有電流nf流向絲極，而其值一定，但當電磁波爲天線收得時，G電路中之電位卽起振盪，設其値在 b,a 之間，則由圖知 a 點時之電流爲ae,h點時之電流爲db,由圖得ae—nf＝ec, nf—bd＝fg而ec>fg,故在收得電波時，F上之電子放射量增加，以致柵極電位降低，同時屏極電流減少，直至電波停止，始再復原，結果，屏極電路間之電流平均值變化，而使聽筒間起聲息，故三極管能使高週期電波之電信，變成低週而能工作聽筒，

三極管除可用作放大，檢波，整流之外，倘能用爲振盪器(oscillator)，產生等幅電磁波以發報或廣播，圖十五中之屏極綫路及柵極線路，均與天線路成交連(Conpling), 於是在G 路中有變化時，P路中亦有變化，因此感應天線路之感應圖 L，再由 L感應 G 電路中之 L_1 ，如是進行，振盪卽生，至其週率及電能，各種眞空管，均各不同，但所發之電波，均爲等幅波也，目下所稱之電力管，卽發電台用作振盪之眞空管，其電力最大者輸出電能，有 200KW, 云

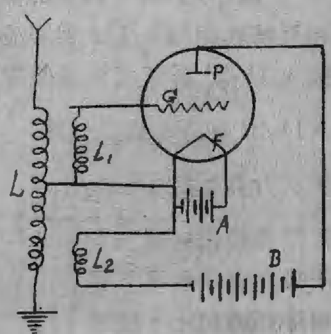
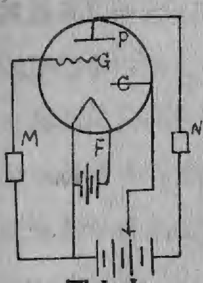


圖 十 五

四極眞空管，四極眞空管，卽較三極管多一電極故名，此類

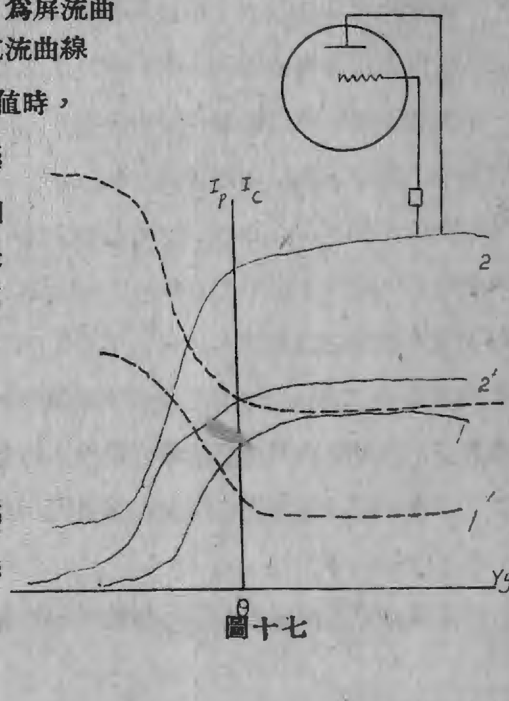
約可分爲三種說明之，如電場柵極眞空管，簾柵極眞空管，互用柵極眞空管等．茲分述之，

(一)電場柵極眞空管：電場柵極，位於絲極與主柵極之間，此極之作用，在減少管中由絲極所產生之電子，在各極間之充電



圖十六

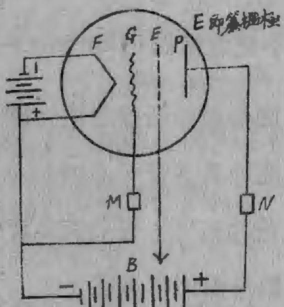
，因此種充電，能阻止新電子之產生而使屏流降低，故於管中添置電場柵極 C以增加電子量及有用之屏流强度，蓋電場磁極與絲極之極間甚小由燈絲所發之電子受其吸引，而使速達屏極，因此屏極壓減低而屏流加强而其特性曲綫斜度加高矣如圖十七所示，爲電場柵極眞空管相互特性曲線，$1_1 2$ 爲屏流曲線，$1^1,2^1$ 爲電場電流曲線，$1^1,2^1$ 在 Vg 爲負值時，漸次升高，故主柵極電壓愈負化，電場柵所吸之電子愈多，是與屏極適相反，故電場柵極之特性曲線，與屏極之特性曲線，互爲對稱；而兩種曲線所示電流之和幾等於一常值，是管中絲極所產之電子成飽和



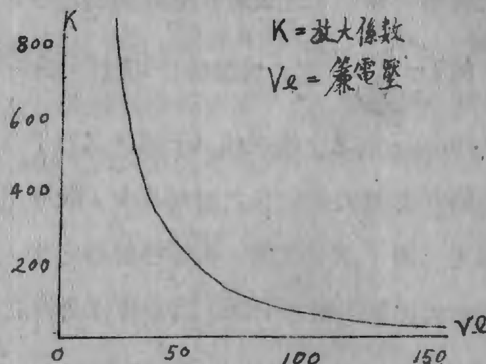
圖十七

狀態主柵極僅用以調配屏極與電場柵極所受之電子而已，此項眞空管因其屏壓頗低，特性曲綫斜度高大故常應用於發報機及收音機之放大級，蓋利用其電壓可減低而屏流反增之特性也．

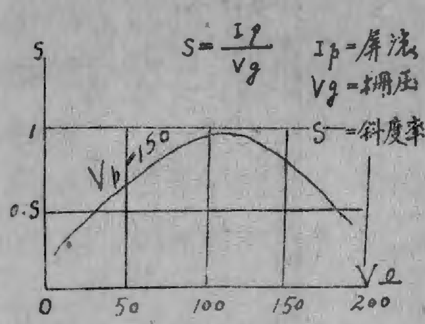
(二)簾柵極眞空管：簾柵極位於屏極與主柵極之間，其作用使管中之混擾聲除去，並將屏柵二極之電容量減小，電子由絲極



圖十八



圖十九

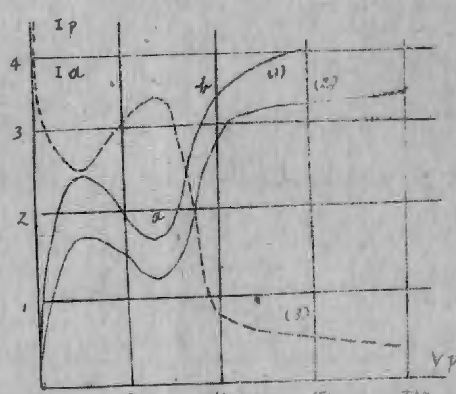


圖二十

產生，經過簾極之網格，方能達於屏極故屏極所受之電子，由簾極之作用，而得適當之程度蓋簾極所受之電壓爲正電壓，其值約爲屏壓之半，故能吸收屏柵兩極間之過剩電子，而使空間之電場消滅，是以眞空管之應用，更由此得一美滿之效果，

簾極之特性曲線其斜度率之值最大時，當在簾壓等於屏壓三分之二之值時，而謂所斜度率，卽屏流與主柵壓之比也，故$S=\frac{Ib}{Vg}$，玆設屏壓係150伏打，爲一不變之常值（Constant-Value），則S之值示如二十圖，又自十九圖知簾極所受之電壓較低時，其放大係數K之值則甚大，故應用此種眞空管，必須參考以上二圖，採一簾壓，使等於屏壓之半，按此結果，可令眞空管之放大係數，增至千倍，而其特性曲線之斜度能仍保常態，

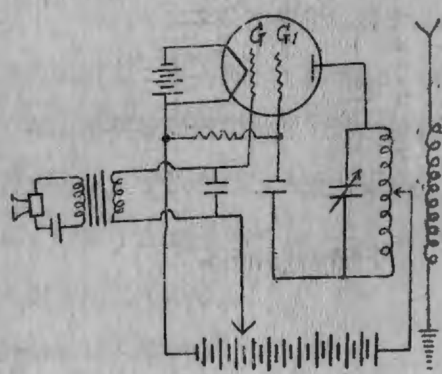
普通三極管之屏流曲線甚爲整齊，但簾柵極眞空管之屏流曲線，取一特別形狀，當屏壓幾與簾壓相等時，屏流曲綫成一凹缺，然簾流曲線係與之對稱，故反增高



圖一十二

，兩曲綫之和，等於一常值，是因絲極所發之電子量一定，同時爲兩極所吸收故也，圖二十一中之(1)爲屏流Ｉp曲線其柵壓爲零(2)爲柵壓等於－3伏脫時屏流曲綫(3)爲簾極流曲線(Vg＝o)，當屏壓較簾壓低時屏極所產之副電子，受正電子衝排，達于簾極，是以簾流升高屏流降低矣，曲線之有用部分爲 ab 段，其阻度甚短，屏壓亦微，此種眞空管，多用於高週電流之接收，能不失眞，並可利用其放大係數之强大，

(三)互用複柵極眞空管：此種眞空管，係于三極管中加一副柵極，應用時或以其爲主柵極，或以其爲電場柵極均可，其特性曲線與電場柵極管相仿，至其應用，常可代替二個三極管之功效，且實現方法較易，如發報之振盪及調幅，若用三極管，務須有兩個，始克奏效惟若用複柵極管則一個眞空管足矣如圖



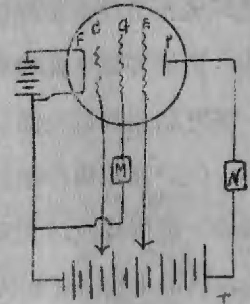
圖二十二

二十二中之管內一柵極 G' 爲維持振盪之用，調幅電壓，則加諸其他一柵極 G 上，如是複柵管旣用作振盪器，同時又爲調幅器矣，

五極眞空管：此類眞空管，亦可分爲三類言之，卽電場柵極

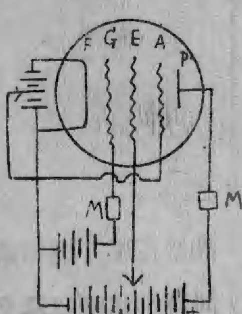
三柵眞空管，遮柵極三極眞空管及互用三柵眞空管，前二種均具有簾柵極並一副柵極，

(一)電場柵極三極眞空管：簾柵E至絲極抵抗(Resistance)甚大，欲將此抵抗降低，須於主柵極G與絲極之間，另加一正量柵極，即如圖二十三所示之柵極C此柵極適如電場柵極，其作用亦頗相同，此種眞空管特性曲綫之斜度較尋常眞空管爲大，故可採用較低之電壓而得同樣放大之結果，管中各極與尋常眞空管所具者無大異，惟其放大係數則增高多多矣，



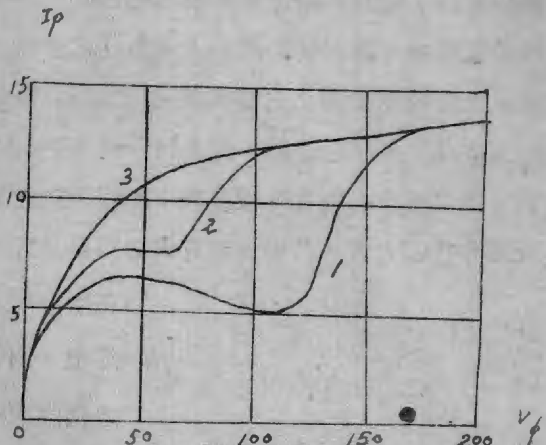
圖二十三

(二)遮柵極三柵眞空管：簾柵極眞空管之特性曲綫，於屏壓幾與簾壓相等時，其曲線成一凹缺部分故其高度有限，放大之功能乃受其影響故於簾極與屏極間再設一遮柵極A(圖24)其所受電壓，小於屏壓或簾壓，是以屏極與簾極間，之副電子，即被隔斷，屏極特性曲線之凹缺部分，完全消滅故名此極爲遮柵極，其作用之眞相，可藉二十五圖說明之曲線（1）係遮壓與簾壓相等故其情狀與簾柵極管相同，曲綫(2)遮柵壓爲簾壓之三分之一，曲線（3）遮壓爲2伏脫故遮壓愈小，其屏流曲綫之凹缺部分愈小，當遮壓



圖二十四

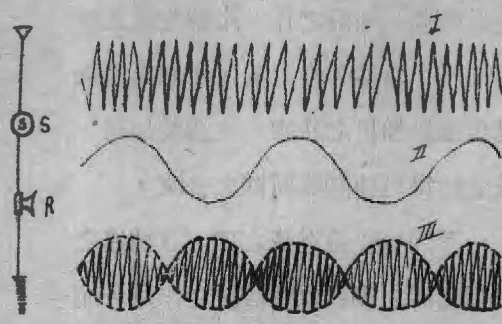
幾等於絲壓時，則凹缺部完全消滅矣，故此種真空管，常用於高電壓及高電能之放大也，



圖二十五

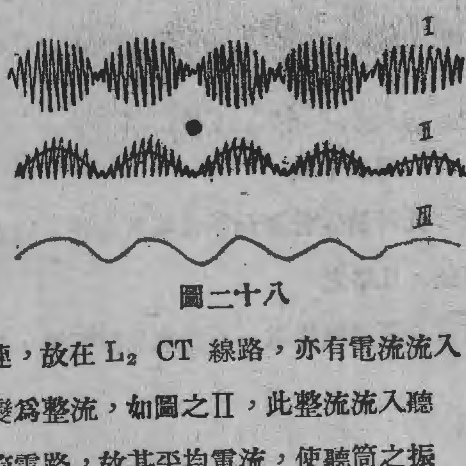
(三)互用三柵真空管：此種真空管亦如兩柵極真空管，同在一管內互用之茲爲省篇幅故，且略之，

廣播原理：以前曾言及廣播無線電，不能應用減幅波，是因減幅波不能寄載音波也，廣播電台之發射原理，係使人語或音樂之音波，由放大器放大後，經調幅真空管，即寄載在高週率真空管電波振盪器



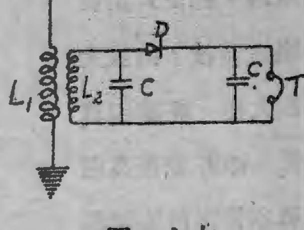
圖二十六

所發之電波上，播射空間，圖二十六中之Ⅰ卽由振盪器S所得數萬週以上之等幅振盪電波，於是由天線傳播至四方，此電波行程漸遠，則變漸弱，宛如人語之近者則所聞爲高，遠則所聞爲低，設今在振盪電路中，置一傳話器R，使如Ⅱ之音波，作用於傳話器，而傳入天線電路中則Ⅰ之等幅波變成如Ⅲ之振盪，此卽所稱調幅振盪電流也，人類之音波，乃由每秒間300—2000之多數振盪所成者，由其組合而變爲種種音調，而振盪數之大者，音調爲高，又所謂聲音之大者，乃振盪幅寬大之謂也是宜注意焉，



圖二十八

在所發射之電波之傳播途中，倘有如圖二十七之接收天線，則天線必生感應電動力，而流入如圖二十八中Ⅰ之電流，因感應線圈與L_2相連，故在L_2 CT線路，亦有電流流入，且由檢波器、將此電流變爲整流，如圖之Ⅱ，此整流流入聽筒電路，故其平均電流，使聽筒之振動板振動加Ⅲ之狀態，與音波相同，故能聽得與傳話器同樣之音波，



圖二十七

至調幅振盪電流之理，茲稍述之，傳話器之振動板因音波之作用，而生振動，其振動遞及內部之炭粒，使

炭粒受不同之壓力，於是由壓力之大小，使炭粒之電耗阻發生變化，當阻耗減少，則電流增多，當耗阻增多，則電流遞減因此振盪電流之振幅亦起相當之變化，當此種振盪電流流入天線時，則可發射相當之電波於四方矣，