

14



A214928

國立政治大學圖書館典藏
由國家圖書館數位化

學校家庭適用

理化普及儀器實驗法

第二組：光學

中華書局有限公司發行
中華教育用具製造廠製

學
義
第

目次

序 言.....1

儀器零件說明.....4

第一部.....6

 物體向光時的情形.....6

 鏡的反光作用.....8

 光的折射.....13

 透鏡的折射作用.....17

 透鏡的造像.....18

 光學器具.....21

 幻燈.....28

 顯微鏡.....31

 望遠鏡.....34

 光和色.....38

 實體鏡.....45

第二部.....47

 光源的測量.....47

 鏡.....51

 光的折射.....59

 光學器具.....64

 照相器用的透鏡.....68

77.2.11

關於視覺的測驗.....	78
顯微鏡和望遠鏡的倍率.....	80
光和色.....	84
偏光干涉和繞射.....	87

部 02756

育部圖書室藏書

學校家庭適用

理化普及儀器實驗法

(第二組)

導言

在自然界中，其影響於一切有機體，如此的深長而密切的，殆無有過於「光」者；所以自古以來，他一直就深印在人們的心目中。「光」看起來，有如獨立存在於任何光源中的一些什麼東西；他的偉大的作用，雖然到處可以看到，但是他既不能捉摸，也不能像別的東西那樣可以貯藏起來。因此一直到現在，科學家 and 一切學者，始終努力着，想解答「什麼叫做光？」這個重要的問題。

一個聲音達到我們的耳中時，我們知道是起於一種振動物體的騷動空氣，然後散佈開來，而達到我們的耳內。凡遇到一種光線接觸我們的眼簾時，一定會發生一種類似的設想。由於科學上的查考，證明發光體所含的最小的粒子，是在非常迅速的運動着。這些最小的粒子，化學家謂之原子。現今我們已確悉每個原子，代表一小星系（略似我們的太陽系），其中有着許多更微小的粒子，在大小不一的軌道上，像行星一般，繞着一個公共中心而運動。這些小微粒，在各方面，和沿導體而運動着的

極小的粒子，便是所謂電者，是屬於同一性質的。這些微粒，稱為「電子」。這些電子，因他們自己的迴轉運動，使其周圍發生一種騷亂，即一種震顫、波動的運動。不過這種騷亂，在空氣中，並不像聲音那樣，顯示其作用；因空氣對於這種微妙的運動，嫌過於粗糙笨重。關於這一種運動的傳佈，却另有一種假說，即：組成物體的一切微粒，仍有間隙存在其間，這些狹小得難以想像的間隙，以一種極精微的物質，即所謂「能媒」或「以太」者，充滿着。這能媒因電子的迴轉運動而發生振動，這種波動運動，以每秒鐘 186000 哩的不可思議的速力，向各方面散佈開去。無論何時，這些能媒的振動，一經和我們眼球內視網膜上分布着的神經末梢相接觸，即使神經感受刺戟，而把「光」的消息，報告到我們的腦中。

在極小的軌道上迅速運動着的電子，在每秒間發出無數的波動。我們的眼所感到的光，具有極高的波動數，每秒間達³⁹⁵至 756 萬億之多。這種光波，按照電子迴轉的時間，以一定的間隔，互相繼續着。這裏我們可以淺顯的來講，波峯的距離（即波長）較大的光線，在我們的眼中就產生紅色的印象。但連續的光波，其距離（即波長）變小時，則依次產生橙、黃、綠、青、藍、紫等色的感覺。紅色光表示能媒一種緩慢的運動，可比擬海洋中的巨浪；青色光表示一種迅速的振動，類似湖面上的小皺波。

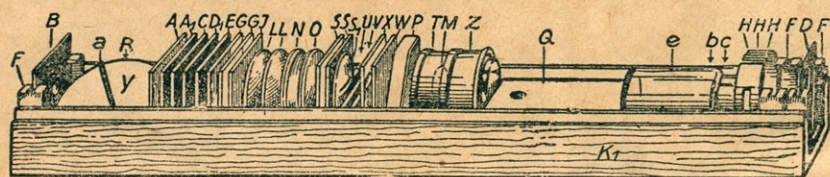
所以無論那裏，我們凡感覺到光，他總是從一種物體發射出來，而這物體裏面的電子，是在活潑運動的狀態中。他們因此

變成發光的泉源。光源中最重要的是「太陽」。其他像光明而固定的星體的光、北極光、打雷時的電光，都微末不足道，月亮則自身並不發光。可是人類有若干人工的光源，如火焰、熾熱的物體等，可任意使用，以驅除夜間的黑暗。

現在準備利用我們的儀器，對於光逐步的來研究一下。

儀器零件說明

在開始實驗以前，對於本儀器內所包含的零件，我們非熟悉不可。所有的零件，都開列在下面的表內；使用後，應如何收藏在箱內，則如圖一所示（燈 Z 在灌油後，要直立放着）。



圖一

A	白紙屏	Q	臺板
A ₁	方孔隔簾	R	刻度圓板
B	小圓孔隔簾	SS	平面鏡
C	單線隔簾	S ₁	球面鏡
DD	三線隔簾	T	圓木塊(透鏡 M 的支架)
D ₁	側線隔簾	U	紅玻璃
E	大圓孔隔簾	V	綠玻璃
FFF	隔簾架	W	毛玻璃
GG	玻璃片	X	透明畫片
HHH	透鏡夾	Y	色紙(四種)
J	發光屏	Z	燈
K ₁ K ₂ K ₃ K ₄	箱底和箱蓋	a	膠皮帶
LL	凸透鏡	bb	支持針
M	顯微鏡用透鏡	c	燈芯
N	凹透鏡	d	槽架
O	接物透鏡	e	石蠟油瓶
P	稜鏡		

【附註】 以上所開零件，共計三十三種四十五件。

因箱底時常要撤空，用做管子，所以有些零件，已裝好在槽架裏面，他們在用過以後，要隨即裝入架中。

顯微鏡用透鏡 M 是一徑在他的支架裏面放着的，色紙則放在刻度圓板 R 上，用膠皮帶縛住，斜置於箱內，二隔簾架 F ，連上面插着的隔簾 B 和 D ，用來充作箱底的兩端。在臺板 Q 上空着的地位，可放火柴一匣，因為火柴是時常要用到的，其他額外的材料，如木塞、蠟燭、針之類，家庭或學校中大概可以供給，不要放在箱子裏，以免混亂。平面鏡和透鏡要留意處理，透鏡使用時，從側面漸漸壓入夾子 H 內，至其邊緣落入夾子裏面的支持槽內為止。夾子要略帶橢圓，以便藉其彈力，嵌定在管子裏面。如屬必要，可把他引開些（圖二），把夾子迴轉時，透鏡可隨意在管子裏面移動和定着。開箱以後，小的石蠟油燈，盛冷而流動的石蠟油（不是熔融的石蠟）至半滿，燈芯的上端，祇令其透出燈芯管少許，以防火焰冒煙。平常祇用中央的火焰，但需要三條平行光線時，則三個火焰一齊點起。燈用過後，照舊蓋好；放起來，始終要直立放着，收藏在箱內時，也是如此。書後圖版上的圖畫，要剪下來，以備應用。因這些圖畫一再要用到，所以應裝在硬紙上，保存起來。額外的零件或代用物品，可隨時取得。

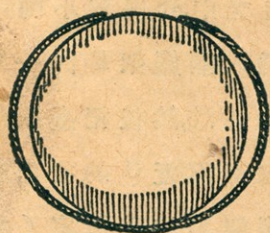


圖 二

第 一 部

全部實驗，共計 285 個，分爲第一、第二兩大部。實驗 1 至 147 爲第一部，備初學者應用，使其循序而進，得略窺光學的門徑。實驗 148 至 285 爲第二部，包含許多新的材料，備學生作進一步的研究。

物體向光時的情形

1. 把本儀器拿到陽光裏面，先構成一器具，用來從許多日光中，分出狹小的一部，即一條單獨的光線。其法，取隔簾 C，插入隔簾架 F 內，一同裝在箱蓋 K₃。

的前端，然後把臺板 Q，以白色的一面，向上，靠近 C 的後面放着，並以另一隔簾架 F，使其固定（圖三）。現在如把器具對向日光，使臺板 Q 適爲隔簾所

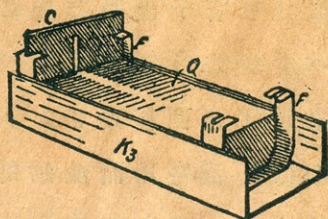


圖 三

遮蔽，而從隔簾的縫內射入的光線，便成一條光亮的直線，而出現在臺板上。因此我們認識光的一個性質，即：光是常成一直線的。所以稱他做光線。

2. 取紙板一片，插入光線的徑路內（圖四），而在紙板後面覓取光線。此時光線不再看見。紙板並不讓光線通過，

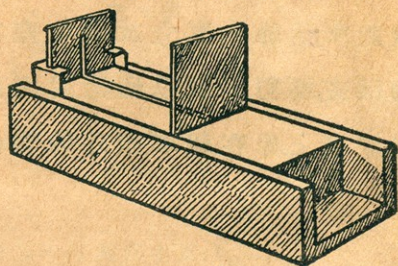


圖 四

因為紙板是不透光或不透明的,所以如紙板一類的東西,叫做不透光體或不透明體。

3. 我們用玻璃片G,來代替紙板,現在因玻璃片能令光線通過,所以在玻片後面,也看得見,即玻璃是透明的,所以像玻璃一類的東西,叫做透明體。

4. 其次,把毛玻璃片放入同一地位,他祇讓一部分的光通過去,因此我們隔了一層毛玻璃看起來,便不甚清晰,例如把手指放在他的後面,我們祇能看到一個模糊的形跡,所以毛玻璃祇是半透明,這一類東西,就叫做半透明體。

5. 把白紙屏A插在圖三後面的一個隔簾架內,前面的一個架內,則插一玻璃片,我們見到紙屏上通過玻片而照着的部分,比日光直射着的部分,要暗淡些,因為物體是沒有絕對透明的,所以光要損失一些。

6. 倘使在毛玻璃W的後面,這光的損失,更是顯著,那一部分的光線,在毛玻璃後面顯然不再存在,他消失到那裏去了呢?把毛玻璃放在紙屏背蔭的一側(圖五),見紙屏面上現出一種光輝,很是明顯,這一部分的光,是毛玻璃所反射來的(其餘的部分仍舊通過毛玻璃)。因為一切物體,對於射來的光,都具有反射的作用,不過有的多,有的少罷了。

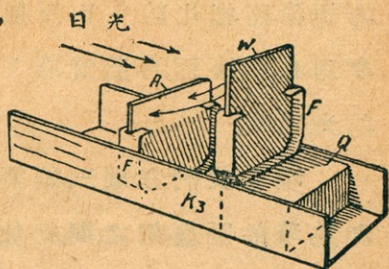


圖 五

7. 反射出去的光,其多少隨

物體的性質而異。試把毛玻璃光滑的一面和粗糙的一面，轉向紙屏，而比較紙屏上光亮的程度。凡光滑的物體，反射的光較多（圖五）。

8. 同樣用白紙和黑紙（隔簾 B）代替毛玻璃來試驗，比較其所引起的光亮程度。白色的物體，反射的光極多；黑色的物體，則幾乎沒有，因為光線極易被黑色的物體吸收的緣故。

9. 暗而粗糙的物體，吸收光線，亮而光滑的物體，則反射光線，這事實既確定後，我們用一片錫紙（包糖菓、紙烟等用的），來試驗他的反光能力。果然，反射光極亮。

10. 把錫紙鋪在玻璃片 G 上面刮平，則結果更好。此時，在屏上，我們可以認明反射面的形狀，足證所有的光，已一律反射出來。

凡物體把射來的光，一律反射出來的，叫做「鏡」。

鏡的反光作用

11. 我們已查知鏡是一種反光的物體，他是依照了一定的規律而把光線完全反射。要研究反射的定律，把我們的儀器拿到日光裏面，再照實驗 1 的方法，從日光裏面分出一條單獨的光線來。

現在我們在圖三的裝置裏面，插入一平面鏡 S 於臺板 Q 和空着的隔簾架之間，把他反射的一側，轉向隔簾。此時如令光線，像實驗 1 那樣，在臺板上掠過，並注意其入射於鏡面，並不恰

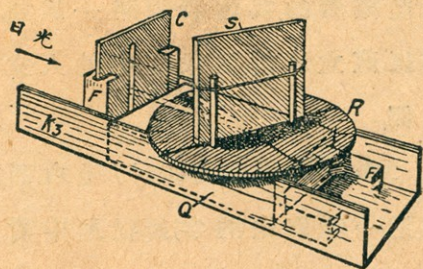
正在鏡的中央時，則我們不難發見從第一次光線接觸鏡面的地方，發出一條第二次的光線。這就是經過鏡反射而現出的光線。

12. 入射光線恰正和鏡面直角交接時，反射光線的方向若何？此時光線是向自身反射出去。

13. 我們故意使光線斜射於鏡面時，發生何種情形？反射出來的光線，也是斜的。

14. 我們利用隔籬D，使發生三條平行光線，而觀察其反射。如取不到日光，我們照實驗46的方法，來作出三條平行的光線。

15. 因為要把這現象作一種澈底的研究，我們照圖六的裝置，構成一器具取火柴二根，插入刻度圓板R的小孔中，把平面鏡靠火柴放着，使其背面（即塗銀的一面）和圓板上劃着的直徑相一致（如屬必要，中間可襯入



圖六

些紙片)鏡和火柴，用一膠皮帶固定在一起。圓板上垂直於第一直徑的那條線，現在代表反射面上的垂直線。另取火柴一段，令其透出臺板Q的小孔約2毫米，用作刻度圓板的迴轉點。我們先令圓板連着鏡片迴轉，至透過隔籬的那條光線，沿着垂直線過來，直達鏡面而止。正如我們所預料的，那光線反射在自身

上面，現在把圓板轉過 10° ，令入射的光線，恰正和 10° 上面的劃線相一致。觀察反射光線和垂直線中間所成的角度。圓板每次轉過 10° ，而繼續迴轉時，把入射的角度，和相應的反射角度相比較。以上的觀察，證明下面的一個定律，是確實的。

光的反射角，和他的入射角相等。

16. 如反射光線所取的徑路，和入射光線成一直角，則鏡要轉過多少角度。據實驗所示，反射光所轉變的角度，二倍於鏡片迴轉的角度。

17. 利用平面鏡來照見自己的影像，比以上的實驗更屬普通。試用鏡照着自己，鏡中見些什麼？閉着右眼，看鏡中那一隻眼是閉着，或用粉筆塗擦右頰，看鏡中的人，那一面的頰上是如此塗擦着的。我們祇須略一思索，便可明瞭：鏡中的影像，是左右相反直立着的。根據鏡中的人立論，原來的右側，反射後，已變成左側。

18. 小孩的字，有時從右面寫起，寫成一種反體字，頗難認識。這一種寫法的字，如從鏡中看起來怎樣？

19. 用吸墨水紙印在剛正寫就的鋼筆字上，在吸墨水紙上，也可以作出一種反體字來。

20. 以前我們曾注意到，當我們把實物從鏡面移開去時，鏡中的像，似乎向後退回去。這現象須進一步來探究。取紙條一，劃成一種厘米的尺度，放在長箱蓋 K_2 的底面上，恰正在10厘米的地方，插入一玻璃片 G 。紙尺的後半，最好用短箱蓋 K_1 ，在玻

璃片後面的部分上蓋着,把光線遮去些.如把鉛筆的尖端放在紙尺上,從玻片中看過去,可窺見紙尺的後半,而鉛筆的像,則見於玻片中.我們在玻片前面,把鉛筆依次放在 2, 3, 4,……厘米線上時,這鉛筆的像,出現在何種劃度上?(圖七).

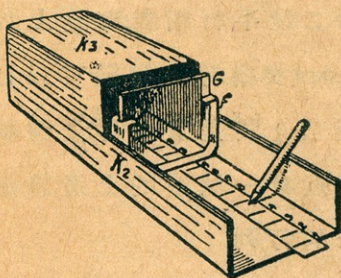


圖 七

據實驗的結果,像出現在鏡後的距離,和實物在鏡前的距離一樣.

角 度 鏡

21. 以刻度圓板 R 作底盤,在上面安放平面鏡 S 二塊,使湊成 90° 的角度,而其接合緣,則恰正立在圓板的中心上面.在他們角度中間的平面上,放入一錢幣(圖八).我們把鏡片照下列數值,湊成種種角度,觀察鏡中所能看到的錢幣數目.

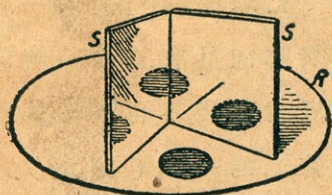


圖 八

角度..... 90° 60° 45° 120° 72° 30°

像的數目..... ..

22. 一方是鏡片所成的角度和全圓周 360° , 他方是成像的數目,誰能求出一個規則來,可以表明其間的關係? 10° 和 20° 時,可以預料的成像數目,有多少?

23. 角度愈小,則見到的像必愈多.不過原物如果是一支

燭火，他們勉強還能觀察，否則像便變成凌亂模糊，難以辨認了。如二鏡平行相對，理論上我們一定得到一無限大的數目 $\left(\frac{360^\circ}{\theta} = \infty\right)$ 。要察看時，我們可以把二鏡對立在臺板Q的兩側（類似圖三），於是放一件最耀眼的東西（例如粉筆）在他們中間，從近身一塊鏡的上邊望過去。果然，我們望見一排無限延長出去的行列！

球 面 鏡

24. 除了上面的幾種鏡以外，還有具備一種曲面（普通是球面）的鏡，由其反射面的凹進和凸出，區分為凹鏡、凸鏡兩種。

把球面鏡 S_1 插入一透鏡夾內，就圖四的裝置，代替紙屏。凹面須轉向具有三條線縫的隔簾。三條光反射以後，不再平行，却相交於中央一條光的一點（圖九）。

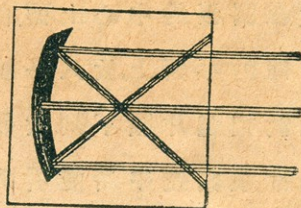


圖 九

25. 把隔簾除去時，所有的入射光，集合於一點。這交點不單極亮，而且很熱，用手指放入這一點，即可證明。這一點稱為焦點。

26. 從鏡的中心到焦點的距離，稱為焦點距離。我們的鏡，其焦點距離有多少厘米？

27. 光線由鏡的凸面反射時，怎樣？他們有如從鏡後的一點，放散而分離開去。

28. 凸鏡所造成的像，極有趣味。我們的眼，離開鏡面不論

是遠是近，像總是縮小而直立的。

29. 凹鏡所造成的像，是怎樣？他也是比實體小，不過非直立而係倒立。

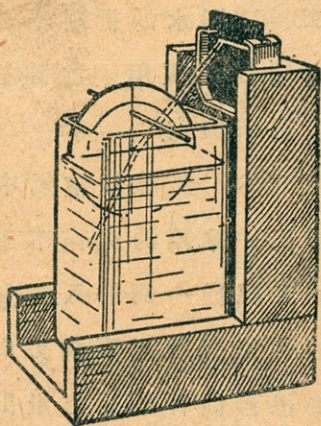
30. 把球面鏡放在桌上，以手指接近其凹面，至相距約 1 厘米，此時其像即擴大。

31. 如持鏡切近眼前，現出的像即直立而擴大。

32. 從直立的像變為倒立，其間必有一轉移點，這一點，祇須把鏡片從眼前漸漸的移開去，即易尋得。

光的折射

33. 鏡子在玻璃尚未發明以前，即已存在，這時候都用擦得十分光亮的銅板或銀板，來照見自己的影像，但最早而最天然的鏡子，一定是平靜的水面無疑。所以我們要來查考一種水面，對於傾斜射來的光，作如何的反射。取短箱蓋 K，二，互成直角放在一起，把隔簾架連着單線隔簾 C，插入直立的一塊箱蓋內（圖一〇），因為要使光線看得見，用刻度圓板套在支持針上，掛在一邊，令水平線和他的一條直徑相一致，因此另一條直徑，便垂直在水平面上。圖中



圖一〇

是用一電池的玻槽（第三組的零件）作受器，不過像燒杯之

類,也可以用。

現在我們一定見到一部分的光,像我們所預料的,反射出來,其大部分却進入水中,而且從側面向玻璃槽內看進去,可以窺見那光線,已從他的原方向折轉過去,即已發生一種「折射」。

34. 我們從圓板的刻度上,讀出垂直線和光線中間的角度,詳言之,即入射角和水中的折射角是,我們再用更低落的日光,把以上的實驗,復習一遍,此時光線的折向垂直線,很是顯著。

35. 我們可以測量光線的兩點和垂線間的距離,來代替角度(度數)的比較,這 B 和 C 兩點(圖一一),其距離折射點(即光線投射於水面之點)均相等。

例如從觀察上求得 $AB=16$,
 $CD=12$,則水的折射率等於 $\frac{16}{12}=1.33$ 。
 這個數值,須用刻度圓板上讀出的數目來決定。

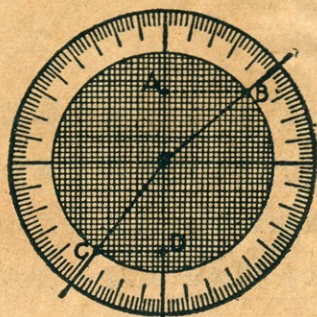


圖 一 一

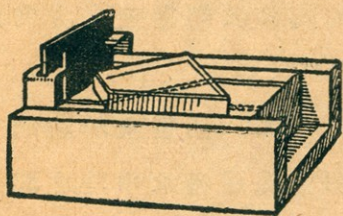
36. 光線從空氣中進入玻璃,其折射更甚,我們再照圖三,作出一單獨的光線,不過此時是用側線隔簾 D_1 ,來代單線隔簾,使光線從一側射入,再在光線的徑路中,放入厚玻璃板 P,使光線以直角方向,進入其最短的一個側面,光線再從什麼地方走出?很奇怪,光線成一直線通過去,而並不屈折(圖一二)。



圖 一 二

37. 現在把玻璃板迴轉,如圖一三所示,此時光線是在那裏

出來？（僅指玻璃後面直接發出的光線而言，並非在玻璃上經過的一部分光線）。光線不再成爲入射光線的延長光線而出現，却已變爲他的平行光線。光線在玻板內的徑路，如圖中點線所示，即光線會經過兩次的折射。光線從密度較小的媒質進入密度較大的媒質，則向垂線折射；從密度大的玻璃進入密度小的空氣，則從垂線折射開去。



圖一三

38. 依照後面實驗 168，我們看到一件東西，其方向總是和最後進入我們眼中的光線相一致的。試從實驗 37 透過玻璃板而第二次發出的光線方向，對着隔簾內的縫隙望去（此時器具全體自然不必對向日光）。我們見縫隙在玻璃以內的，和直接從玻璃上面可以望見的部分相較，確已移向一旁。

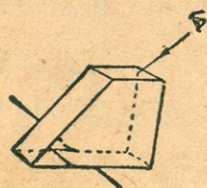
39. 先令玻板直立，照以前轉過同一的角度，而從廣闊的平面中望去時，縫線地位的轉移，大小如何？玻璃愈厚，則地位的轉換愈大。

40. 我們用一片平常的玻璃，把以上的實驗復習一次，此時其轉位極微。不過仍可斷定，我們看玻璃窗外面的東西時，並不能在他們實際所佔據的地位上看到。如像由於玻璃的厚薄不均而起歪曲，則此項現象，尤爲顯著。

41. 轉位的現象，還可以用下法來證明。在紙上作粗黑線一條，放厚玻板於其上（圖一四）。這黑線如從箭頭的方向望

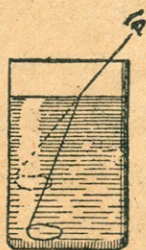
去,和突出在側面的兩端相較,即可見其位置的轉移。我們從垂直方向望去時,現出的線怎樣?

42. 用盛水的玻璃受器,作同一實驗,證明光線通過水中時,亦起折射。



圖一四

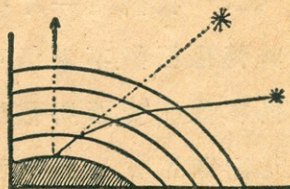
43. 下面的實驗,是誰都知道的。取一玻璃受器,外面用紙來包裹,在受器內的一側,放一錢幣。我們從受器的上緣,向錢幣望去,使其邊緣僅能望見;如不改變我們的視向,而以水注入器中,則錢幣像上昇一樣,變為全體可以看見(圖一五)。



圖一五

44. 我們還可以用一編織針,照準盛水的玻璃受器內放着的碎石來試驗。當照準後,再從玻璃器的側面看進去,我們便發見以前的照準,差得很遠。所以像水中的魚,照準他的所在,用叉等來射擊,是絕不會打中的,因為在水中所看到的地位,並非他們實在的地位。

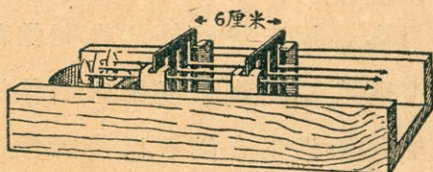
45. 當光線通過密度不同的空氣層(由於受熱不均而起)時,亦即引起折射。窗上的格子,如通過燈火上面的熱空氣看起來,呈何形狀?太陽因為他的光,從空氣的上層(密度較小)通到下層(密度較大)時,發生折射,所以看起來,比實際的地位來得高,在早晨和晚上尤甚(圖一六)。



圖一六

46. 以後有若干實驗,要用到平行光線,最好是用日光,如日光取不到時,我們可以用三焰的石蠟油燈Z,來作出三條平行光。這些光線,須令其通過

兩重隔簾,其裝置如圖一七所示,二隔簾之間,保持6厘米的距離,此時我們的實驗



圖一七

室,要設法把外面的光線遮斷,儘量使其黑暗。

透鏡的折射作用

47. 有許多光學器械,他的主要部分都是從透鏡組成,所謂透鏡者,是一種玻璃做的透明體,至少在一面,具有圓形的表面,所以透鏡可以有種種形式,略如圖一八所示。

讀者試決定本儀器內的各種透鏡,屬於何種形式。



- | | |
|-----------|----------|
| I. 雙凸透鏡 | II. 平凸透鏡 |
| III. 凹凸透鏡 | IV. 雙凹透鏡 |
| V. 平凹透鏡 | VI. 凸凹透鏡 |

圖一八

48. 我們到日光裏面來考察光線通過我們的厚凸透鏡時,現出什麼形狀,把透鏡裝入透鏡夾H內,透鏡前面,放一單線隔簾C,臺板Q則以白色的一面向前,植立在他的後面,令光線以直角方向,通過透鏡的中心,此時光線並不折射。

49. 現在我們用側線隔簾D₁,作出一條平行於前者(中央光線)的光線,插入透鏡,此時光線即折向中央光線。

50. 我們把隔簾反轉來試驗，證明一種側面的光線，在透鏡的他側也向中央折射。

51. 用三線隔簾D，作同樣的試驗，表示平行光線被透鏡集合而成一點，變更臺板Q的位置，並加以適當的遮蓋時，可察見光線經過集合以後，又復放散，即此等光線，概交叉於一點。

52. 如果把隔簾移去，全體的平行日光，即集合於一點，因而這一點不但變為極亮，並且很熱，謂之焦點。

53. 取火柴一根，把他的頭移入焦點，不久即着火而燃燒。此外，如紙吹和顏色深暗的吸墨水紙等，也可以用同一方法，把他點着。

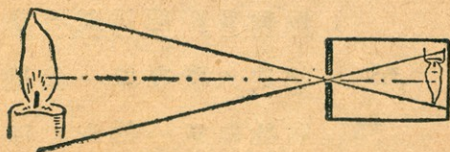
54. 透鏡的中心到焦點的距離，稱為焦點距離。我們的透鏡，其焦點距離是多少？（在焦點上插入一針，則測量較易）。

55. 三條平行的日光，在通過我們的凹透鏡N以後，進行於何種徑路？他們有分離、放散的傾向，有如從透鏡後面的一點，發射出來的一般。

透 鏡 的 造 像

56. 取短箱蓋二，互相對合，即成一小箱（二三），在小箱的前端，裝一隔簾，後端則裝一毛玻片W，這隔簾的中央，有一2毫米大小的開孔（用編織針開成），可用黑色包被紙，令學生自己製作，以供暫時應用。把小孔向距離1米以外的燭焰對着，毛玻片上即現出一燭焰的倒像。因開孔細小的原故，來自燭焰

底部的光線，祇能達到毛玻璃的上部，來自燭焰頂部的那些光線，則祇能達到毛玻璃的下部（圖一九）。



圖一九

57. 我們在前方的隔簾上，作三個開孔，各孔相距約 1 厘米，此時便有三個像，造成在玻片上。

58. 把透鏡 L，放在實驗 57 的隔簾後面，無論隔簾上的孔有三個或三個以上，因透鏡把所有的光線集合於一焦點，所以祇有一個像現出。

59. 所以遠處的燭焰，雖沒有什麼隔簾，也能由透鏡造出一個像來，從像到透鏡的距離，等於焦點距離。

60. 要研究透鏡的造像，把透鏡 L 放在長箱蓋的中部，透鏡兩側單一的和二倍的焦點距離，用針在箱蓋的側面記出，在一間明暗適中的室內，把燈火 Z 放在透鏡前面，其距離愈遠愈好（2 至 1 米），在透鏡的他側，靠近單一焦點距離的地方，把紙屏 A（插在隔簾架上）前後移動，至屏上造成一明晰的火焰形像而止，其結果：

(1) 實物和透鏡距離頗遠，在焦點距離上，造成一縮小的倒像。

61. 把燈火放在二倍的焦點距離上，此時紙屏須放在何處？造成的像怎樣？

(2) 實物在二倍的焦點距離上，透鏡造成一同樣大小的

倒像,其距離透鏡,也是焦點距離的兩倍。

62. 把燈火放在單一焦點距離和二倍焦點距離之間。

(3) 實物在單一的和二倍的焦點距離之間,透鏡在二倍焦點距離以外,造成一擴大的倒像。

63. 燈火恰正在單一的焦點距離上,無論何處都沒有一定的像。因為要取得一極小的光源,我們把隔簾 C 恰正放在焦點上,而把燈火放在他的近傍。隔簾 D, 則放在透鏡前面。現在我們把紙屏 A, 依次放在 10, 20, 30 厘米的距離上, 來接受三條縫線的像。雖則外面兩條縫線所成的像, 或許要模糊些, 可是和中央一條縫線的像隔開的距離, 始

終一樣。此時光線無論到那裏, 距離總歸相等, 即互相平行(圖二〇)。

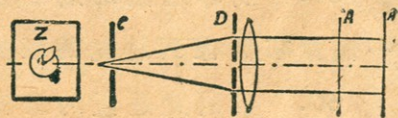


圖 二 〇

(4) 實物在單一的焦點距離上,透鏡不再造成什麼像。從焦點上發出的光線,在通過透鏡以後,平行進行。

64. 燈火在焦點和透鏡之間,紙屏上得不到像。我們如從紙屏地方,通過透鏡觀望燭火,他的形狀如何?

(5) 實物在透鏡和焦點之間,透鏡並不造成可以現出在紙

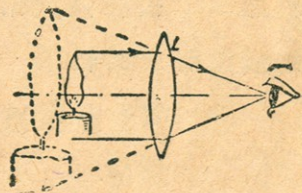


圖 二 一

屏上的像,但通過透鏡望去,實物的形狀,直立而擴大。上項實驗的說明,和實驗 168 相似。我們以折射光線的方

向,望燭火的頂部,當他是比原來的地位上昇,同樣望燭火的底部,也好像降下一般,所以燭火全體看起來,比實物擴大(圖二一)。

光 學 器 具

我們在上面研究過的透鏡,幾乎在一切的光學器具中,都是用他們來做主要部分,以下將就這類光學器具來研究。

擴 大 鏡

65. 凸透鏡最普通的用途,是用來做一種擴大鏡(圖二二),我們用透鏡L來考察寫成或印成的字,透鏡和實物保持7厘米的距離,此時字體即被擴大。



圖 二 二

66. 字體用一種凹透鏡來觀察時,現出的形狀怎樣?取方格紙一張,或刻度圓板R,用透鏡L觀察,此時見到的方格,和透鏡一傍未曾擴大的方格比較起來,擴大多少?

67. 用小透鏡M觀察,擴大的倍數是多少?這透鏡用8毫米闊的一條紙板,固定在圓木塊內,焦點距離短的透鏡,其擴大力較大。

68. 把擴大鏡從實物移開去,而超過他的焦點距離時,現出的像是怎樣?

映 畫 箱

69. 所謂映畫箱(一名暗箱)者,係根據透鏡造像的第

一條定律（實驗60）製成的一種器具，現在的照相器，即由此發達而來。

在短箱蓋K₁的前端，裝入一凸透鏡L，令其凸面向外；他端裝一毛玻片，把磨毛的一面向外，調節其對於L的距離，至遠處的景物，如房屋等類，在玻片上造成明晰的像而止。

次以另一短箱蓋蓋上，二箱壁用紙板一條，插入側面接合地方的槽內，互相連接（圖二三）。此時的像怎樣？因為映出的像，非常鮮明，使我們興起描畫的意念，我們可以用一支尖銳的鉛筆，把映出的像，描在玻片磨毛的面上；或用透明紙貼着玻片，描在紙上，亦可。玻片上的畫，用濕布揩擦，極易除去。

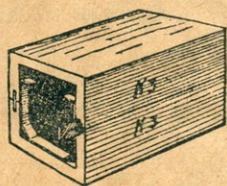


圖 二 三

照 相 器

20. 上面的映畫箱，因照相器的發明，已歸廢棄，其實照相器也是根據同一原理構成的，不過構造較為完備。因近處的實物和遠處的實物，他們的造像點不同，所以照相器每次要加以調節（即對準焦點）。我們把遠處的樹，在毛玻片上照取一鮮明的像；再就近處的另一物件（如在室內，用窗格等），如前照取。透鏡和毛玻片中間的距離，在上面的那一種情形下，則必須增大？

21. 令讀者去嘗試，近處的實物和遠處的風景，在同一時候，能否取得同等鮮明的像。這是不可能的，遠近的兩種物像，一

定祇能選擇其一種。

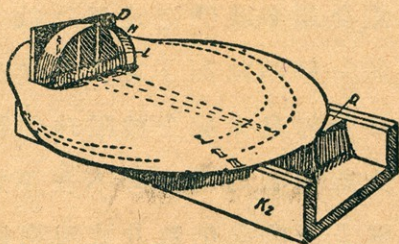
72. 把隔簾 E 放在透鏡後面,使光線祇通過透鏡的中央,而進入暗箱;像因此變為明晰得多,因來自透鏡邊緣的光線,都是足以損害像的界限的(參看實驗 225)。

73. 我們採用開孔僅 5 毫米大的一種隔簾(光闌)時,那造像的銳敏程度,即大為改進;即近處和遠處的實物,雖則在實驗 70 是不能同時現出清晰的像的,此時却同等的鮮明,不過像,已變得暗淡些。

在照相器未發明以前,一種照相器的模型,却早已存在於人類的眼球裏面,他雖則具有若干光學上的缺點,在他的構造上和作用上,仍然是一種奇妙的器具,他像照相器一樣,也有一種透鏡,是具備着可以調節的隔簾的,這透鏡放射出一種縮小的倒像,在一個圓室的後壁上,這圓室的內面,也和照相器一樣是黑暗的。

可視為一種光學器具的眼球

74. 我們借本書後面圖版內的眼球橫截面,來構成一眼球模型,圖要剪下來,把透鏡 L 插入長箱蓋 K₂, 距離一端約 4 厘米,然後把圖在註明的地方挖空,放在透鏡上,透鏡的一半,須穿過圖上挖空的地方,透出在圖的上面,隔簾 E 可放在



1. 太短 2. 適當 3. 太長
圖 二 四

透鏡前面,和眼球的虹膜(虹彩)相當;不過在以下的實驗,須重新除去。今切近眼球的前面,插入三線隔簾D,把模型向日光,或相距至少2米以外的一個燈對着,光線即集成一點,落在眼球後壁註明II的線上(圖二四)。

75. 所以我們如果把模型,從室內向對面陽光充分照着的一所房屋對準,則實物的像,必投射在這II的線上。我們把毛玻片放在我們所預期的成像地方,用隔簾E(不用也可以)插在透鏡前面,所成的像,即格外鮮明。圖的下面,最好用臺板Q墊着,則全體的裝置,可以分外穩固。

近 視 和 遠 視

76. 眼球有時也會過於短淺(靠裏面的一圈點線I)。如果相當於視網膜(眼球內感光的部分)的毛玻片,放在這裏面的一圈線上,因光線尙未完全集合,像不再如前清晰。不用玻片,而用整束的日光來試驗。此時光線要再向後過去,到II的上面,纔行集合。

77. 凸度稍大的一種透鏡,能把光線在較短的焦點距離上集合起來。我們把透鏡O,放在眼球模型前面,(和眼球內的透鏡L稍稍離開),以代更換凸度較大的一種透鏡。把全體向着日光,即見光線先被眼球前面放着的「眼鏡」收小些,而此時光線集合的地方,却不在平常II的線上,已移到較短的焦點距離I上。映像的玻片或視網膜距離雖近,遠處實物的像,仍能清晰現出。至於眼鏡的作用,可把眼鏡返覆「戴上」「除下」,

來仔細考驗。

78. 如讀書或縫紉時，頭部過於前傾，會引起眼球的延長。結果，眼球即變為過長（圖中註明 III 的最外一圈）。遠處實物（如房屋、燈火）的像，便又模糊。試實驗之。

79. 據實驗 61 和 70 的定律，距離較近的實物所成的像，比距離較遠的實物，離透鏡較遠。要位在 III 上面的毛玻片上，形成一明晰的像，須把他向燈火移近到怎樣的程度？由實驗上知道一種延長的眼球，祇有對於離眼不甚遠的實物，能產生明晰的像。這一種眼，謂之近視；實驗 76 的眼球，過於短淺的，則稱為遠視。

80. 在實驗 76，我們曾利用一種凸度淺的透鏡，幫助眼的折射力，來消除他的缺陷。在近視眼，要使光線的集合點移後，應該用一種凹度淺的透鏡，把他稍稍分散。可惜我們取不到這一種凹度淺的透鏡。不過如用第二個透鏡 L（尚未用過），和透鏡 N 連合，這合成的透鏡，便會具有一種薄弱的分散力，因為 N 的凹度，比 L 的凸度來得強些。試實驗之。

81. 把以上 L 和 N 二透鏡，各裝入透鏡夾 H 內，併在一起。然後把這粗陋的「眼鏡」，放在眼球模型的前面。

果然，整束的日光，現在是集合於 III 的一點。同樣，遠處之物像，也能在 III 的距離上（在正常的眼球，這距離是太大）放着的毛玻片上，鮮明的現出。試實驗之。

近視的人戴凹眼鏡，遠視的人則戴凸眼鏡。

發生近視和遠視的原因，其由於水晶體在曲度和折射力上，隨時日的經過，發生變化而起者，比較上述眼球的形狀上發生缺陷所起者，尤為常見。

82. 我們就近處的實物，對準焦點時，須把透鏡的焦點距離改短，即增加其曲率。取一個凸度淺的透鏡，加入眼球模型透鏡的同一框中，即得合成一透鏡，其作用和曲率較大的一種透鏡相等。現在把眼球模型，對準近處的一支燭火，在眼球後壁正常位置上放着的毛玻片上，即見到一明晰的像。

83. 正常的眼，對於近處和遠處的實物，能藉水晶體曲率的變更，而自行調節適應。試隨實物的遠近而行調節。例如先對準放在眼睛前面15厘米地方的手指看着，於是再對手指後面遠處的牆壁看着；如果很快的這樣繼續三、四次，就會因水晶體的肌肉疲勞，而感知其運動。實驗的次數不要過多，以防眼睛的過勞。手指和牆壁二者，同時看得很清楚，是否可能？

黃 點 和 盲 點

84. 取一張顏色深暗的紙，用針穿一小孔於其上，持此隔簾，放在離眼1.5厘米的地方，向明淨的天空望去，如圓孔規定的直徑，約為4毫米，則在視網膜上遇到微細的靜脈或動脈通過的地方，驟然現出灰色的天空。我們在這一種視網膜的映像裏面，可以感知有一粒斑點，是沒有血管通過的。這就是所謂黃點，是神經末梢會集的地方，在那一點，我們的視覺，最為銳敏。

85. 視神經進入眼球的那一點，並不感光，即所謂盲點是。

我們從下面的實驗，可以證明我們靠近桌子前面坐着；箱蓋 K_2 ，以其黑色的內面向上，預先橫放在桌上。箱蓋上，放一件直徑不及1厘米、白色或耀眼的東西（例如襯衫上的小鈕扣）；其位置，須離開箱壁的左緣約7厘米。把箱蓋 K_2 豎起，放在頤下撑着，使眼保持適當的距離，用右眼（左眼閉緊或掩沒）注視箱蓋黑色面邊緣上的一點，一側的白色物體，即忽然消失，其周圍却都看得很清楚。他的像是恰正被眼球的水晶體投射在視網膜的盲點上。

電 影

86. 在下列實驗和以後的若干實驗中，要用到一種陀螺。我們可以用刻度圓板來改做；其法，取木栓（長4厘米，比火柴粗些）一根，緊緊地插入圓板的中心孔中，令其透出圓板下面1厘米。透出一端，用小刀削尖。圓板以黑色的一面向上，在其邊緣附近，用粉筆作一小斑點。當陀螺在旋轉時，這斑點作何形狀？我們祇見一白圈。因為光線印在我們眼中，常較視神經實際的激刺時間，要延長一秒的 $\frac{1}{10}$ ，在激刺的作用尚未消滅以前，旋轉着的白點，又會給以一新的印像，致互相連合而現出一白圈。

87. 下列實驗，便是根據這原理來的。把書末有小鳥和籠子的兩張圓圖，從圖版上剪下，在畫出的圓圈上穿孔，分別貼在刻度圓板的兩面，令穿孔和圓板上的孔相一致。照圖上所表明的，用細繩二段，分別穿過各孔，連結成圈。把繩圈引張於兩手間，令一人迴轉圓板，至繩圈絞合極緊而止。手離去時，圓板即開始

迴轉，此時見小鳥如在籠中一般，這是何故？

88. 魔術圓板（或驚盤），也是根據這印像延續的理製成的。書末有跳狗圓圖，須從圖版上仔細剪下，並照着畫出的放射形粗黑線（共九條），剪成隙裂。現在把圖畫和刻度圓板，一同固定在一支中心釘上，再把釘插入臺板Q前面的小孔內，臺板放在短箱蓋K裏面。圖畫向平面鏡S，平面鏡則用隔簾架F，插在臺板Q的他端。如我們從畫圖紙的隙裂間望進去，在平面鏡中，便見到個別的圖畫。如圓板迅速旋轉，狗如在跳動一般。這便是電影的起源。用一支針插在圖及圓板上，可用作搖手（圖二五）。

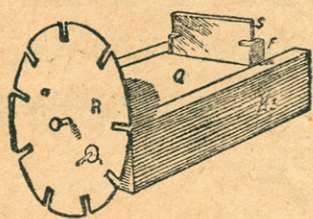


圖 二 五

幻 燈

89. 用照相器取得的像，通例較原物為小；但我們也時常需要再從像片翻出和原物一樣大小的像來。這並不是不可能的，我們祇須查考透鏡造像的第二條定律，便能明曉（實驗61）。把透鏡L插入箱底K₁的中部，其前方，相距 $16\frac{1}{2}$ 厘米，插一透明畫片X；在後方，以同等距離，再插一毛玻璃。箱底的後半蓋好，在毛玻璃面上，即見一像，其大小和原來的一樣。根據實驗62第三條定律，如果把透明畫片和毛玻璃裝在箱底的兩端，令透鏡距離畫片約14厘米，即得一擴大的像。這便是放大照相的原理。

90. 照相器中映像的毛玻璃,不能照上面那樣的辦法,很遠的引開去.但我們如有一暗室,就能把他作為一種巨大的鏡箱看待.用木板等把箱蓋 K ,撑起,一端放透鏡 L ,他端放燈 Z ,距離透鏡約19厘米,放透明畫片 X .現在試用白紙一張,在距離約18厘米的地方張着,來接受透鏡所投射出來的像.這放映出來的畫像,不免歸於失敗,因為實際放映出來的,祇有畫片中央一部分,其範圍恰正和射出

去的燈光一樣.這是什麼緣故呢?因為從細小的光源發出來的光線,通過畫

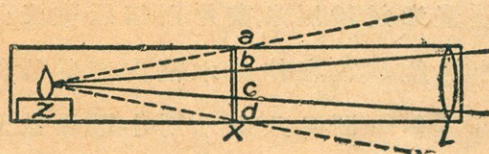
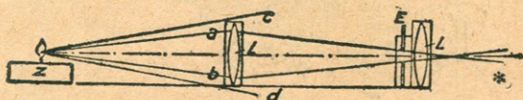


圖 二 六

片的邊緣的,並不和透鏡 L 接觸,因而對於像的造成,毫未參與.這像僅從圖二六裏面 b 和 c 中間的內部光線所產生(圖二六).

91. 如前方的透鏡,照通常的辦法一樣,加一個光闌(隔簾 E),則畫片放映出來的部分,變為更小.我們照理可以把沿邊的光線,折向內方,使

他們也從隔簾的開孔中通過.如圖二七所示,另用一透鏡插入其間,



* 射 向 屏 上

圖 二 七

便能達此目的.此時,光線在屏上照着的圓面內,全體都一樣的明亮.要求出這聚光鏡最適宜的地位,可以把他前後移動,迨其在前方透鏡的光闌上,投射一明晰的光源的像時,即得.

92. 現在把透明畫片,在聚光鏡和折射透鏡(或物鏡)之間前後移動,至映在紙屏上的像,極其明晰而止.要使映像明晰,須把畫片移向物鏡.

93. 焦點距離短的一種聚光鏡,可離開光源近些放着,而光線 $c-d$ (圖二七),也能包括進去.兩塊透鏡 L ,以凸面相向合併起來,則恰正和大型幻燈的聚光鏡相當.把燈火移上,令距離聚光鏡 10 厘米,畫片則切近聚光鏡其他一側放着,此時須用小透鏡 M ,放在他的木框內,作為物鏡

94. 圖二八表示用小電燈做光源的一種幻燈構成的情形.臺板 Q 放在箱底 K_1 的一端,以二釘固定.把電燈照圖二九的

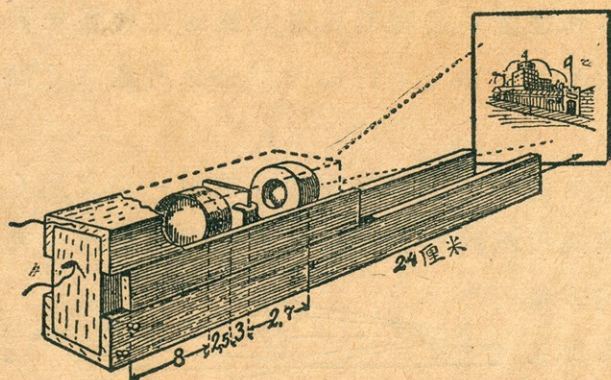


圖 二 八

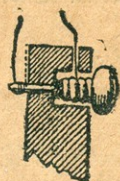


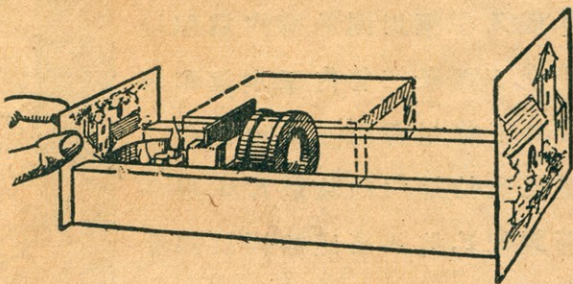
圖 二 九

方法,裝在臺板的孔內.這箱底用作長箱蓋 K_2 的支架,把 K_2 靠近臺板,放在他的上面.在箱蓋 K_2 裏面,把二聚光鏡 L ,透明畫片 X 和物鏡 M 裝起來,其間的距離,照圖二八來支配.待焦點對準後,用兩塊短箱蓋 K_3 蓋好,使光線歸一.

95. 這器具自然也可以用燈 Z 來照射,但此時燈的上面,要仍舊開放着,以免 K, 損壞. 幻燈能使多數的人,同時看到擴大而明晰的畫像,因此這一種器具,在學校裏面,時常有得備着.

96. 不透明的實物,用一種實體幻燈放映. 紙上的圖畫文字,用一盞或幾盞光度極強的燈,雪亮的照耀着. 從紙上向各方反射出來的光線,落到透鏡上,於是在屏上集成一像. 屏不能距離太遠造成的像,不及從透明畫片用透過光線所取得的明亮,所以必須在一種絕

對黑暗的室內放映,以期明晰. 這種器具的原理,可以用圖三〇那樣的裝置來說明. 把燈,方孔隔簾,和



圖三〇

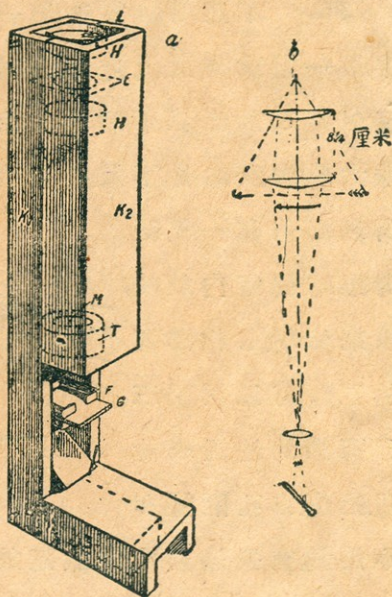
小透鏡,在長箱蓋 K, 內靠近放在一起. 箱蓋一端的白紙板,用作映像的屏. 我們的燈,祇外面的兩盞火點起,照着後面的一張黑白印刷品. 如印刷品和燈火頗接近,在屏上便現出一放大的畫像. 把印刷品前後移動,由此使成像明晰.

顯 微 鏡

97. 擴大鏡和幻燈二者,都是藉擴大作用,使實物看起來更容易,更明瞭. 把這兩種構造合併起來,以求擴大作用的繼續增進,是一種自然的進步. 或者是這樣:把投射出來的擴大的像,

一再用擴大鏡擴大，如第一次的擴大是十倍，擴大鏡把他擴大三倍，則最後得到的擴大是30倍，這便是顯微鏡。

把臺板Q用二木針或釘，附着於箱底 K_1 的一端，以作底盤（圖三一），使箱底得以直立。透鏡L，以凸面向下，嵌入上端。上部用長箱蓋蓋上，使成一管。透鏡M放入他的木框內，並用一透鏡夾H，嵌入木框周圍的溝內。這個透鏡從下面嵌進管內，至木框和箱蓋的下緣相齊而止，其地位藉透鏡夾支持。透明的玻璃片G，用一隔簾架F，裝入箱底的開放部分裏面，作為安放觀察物用的平臺。其下方斜置一平面鏡，令窗口來的光，向上投射在（或通過）實



圖三一

物上。全體須對着窗，把平面鏡迴轉，使窺視目鏡（接近眼睛的上部的透鏡）時，得見光線所照出的圓面，即視野，全體一樣的明亮。平面鏡的地位，用針固定。現在撒佈幾粒鹽在玻璃片G上，把他上下移動，至目鏡內見一十分擴大的像而止。他們的形狀，宛如小的冰山一般。

98. 這高度的擴大，也如幻燈一般，是從下方的物鏡來的。這擴大的像，可以在顯微鏡上緣的下面，用毛玻片（裝在顯微

鏡上緣以下 8 厘米的地方) 來接受。試實驗之。實際並不應用這方法，我們聽憑像浮起而隱藏在空氣中，用目鏡當作擴大鏡來把他觀察。觀察時，頗覺困難，因眼睛要是不恰對透鏡的中心，像便看不見。

99. 現在如用一複合透鏡的目鏡來代單獨的透鏡，因視野變為較大，觀察起來便容易得多，所以我們在原來的單獨透鏡下面 $8\frac{1}{4}$ 厘米的地方，用另一透鏡，以凸面向下，插入，一同用短箱蓋 K。蓋好。長箱蓋連接在短箱蓋的下面，裝在木框內的物鏡，再從這管子的下口嵌進去。把玻璃片上下移動，對於玻片上放着的實物，便能取得一鮮明的像在 E 的地方 (圖三一)，最好裝一大圓孔隔簾。複式的目鏡，其功效極著，視野現在全體一樣的明亮，界限非常鮮明。複式目鏡下方的 (聚光的) 透鏡，其作用情形，和幻燈中的聚光鏡相類似。

100. 現在我們用顯微鏡來考察各種細微的物件，例如蠅的翅或腳等；因形狀放得極大，頗足驚異。

101. 如果用焦點距離更短的透鏡，做目鏡和物鏡，擴大還可以增加上去。可是這一種顯微鏡，因為得不到明晰的像，依舊不能使我們認識得更為精細。這大抵是由於色行差增加極大的關係；我們就顯微鏡中，窺見像緣微行着色，就是這一種跡像。要使擴大力增高，而同時細微的部分，也隨擴大而更見明晰，則唯有應用圖三二那樣的物鏡，纔

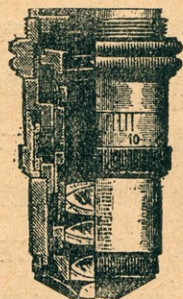


圖 三 二

能辦到；這一種物鏡，由種類不同的玻璃所製成的透鏡 6 個至 8 個合成，能供給一種消色差的光線。顯微鏡所以如此昂貴，就在這些複式的物鏡上面。反是，目鏡則大多和我們的一樣，祇從兩個透鏡組成。

102. 在觀察上富於趣味的物件，是各種織物的線條或纖維，如羊毛、棉、毛髮之類；還有麵粉和澱粉的粉粒，腐水中的小動物，蝴蝶翅上的鱗片，昆蟲的脚、翅和觸角，以及整個的蚤蝨等，都是很好的材料。此外植物體上的若干部分，如切成極薄的半透明薄片，看起來或許也是很有趣的。

望 遠 鏡

從前所看不見的一切細微的東西，已被顯微鏡暴露了出來。一方面，一切巨大而遼遠的物體，也已由類似的光學器械，令其向我們移近，而變成親切可見。透鏡所組成的折射望遠鏡，和凹鏡所組成的反射望遠鏡，便是依照上述的目的而製成的。

103. 我們看一件極遠的東西，形狀十分微細，以致不能再把他認明。我們想把他的像擴大，使我們看起來可以更精細。像利用透鏡來擴大，祇有照造像的第三、第五定律，纔能得到（實驗 62, 64）。但這二條定律中的第一條，擴大的物體，是假定位於單獨的和二倍的焦點距離中間；而第五條定律，且假定實物是在單獨的焦點距離以內，所以這兩種情形，都不能適用。因為焦點距離，祇及到幾個厘米，而遠處的物體，其距離可達到 100 米和

100米以上遠處的物體，因為不能接近，我們不能不照下面的計劃來進行。

遠處的實物，用照相器攝取，即得一像；我們可以把這個像，任意來處理。據實驗60的第一條定律，像較原物為小；不過我們儘可用一種擴大鏡，把這縮小的像來擴大。如擴大鏡擴大後的像，比未縮小以前還大，則看到的實物，比直接在遠處看到的來得大，是很明顯的。我們用不到實地來攝影，祇須在毛玻片上，取得遠處實物的像，用擴大鏡放在焦點距離上，來把他觀察就夠了。我們所需要的，顯然祇有毛玻片上一個儘量減少縮小的像，和一個倍率極高的擴大鏡就好了。

天 文 望 遠 鏡

104. 我們從以前的實驗（實驗67），知道焦點距離短的透鏡M，擴大力最強；此外祇須查出扁平透鏡O（焦點距離33厘米）和透鏡L（焦點距離 $8\frac{1}{4}$ 厘米），那一個在毛玻片上產生的像較大。我們把毛玻片放在箱底K₁內，離後緣5厘米的地方，在其前面調節透鏡L，至求得一鮮明的像（例如一個煙囪的，其距離不要太遠）而止。用毫米估計煙囪（在像上）的高度。現在把扁平透鏡O，插在箱底的別一端相近，來代透鏡L，用長箱蓋遮蓋箱底中部，再估計毛玻片上煙囪的高度。

105. 結果，我們採用焦點距離長的透鏡O，投像於毛玻片上；更把透鏡M（連

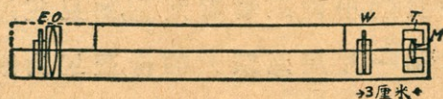


圖 三 三

木框)放在毛玻片後面 3 厘米的地方,由 M 來考察玻片上的像 (圖三三)。

106. 毛玻片上的細粒,也被擴大鏡 M 擴大,所以我們把毛玻片除去,把像 (此時隱藏空中) 觀察如前。用箱蓋把望遠鏡蓋沒後,對着別的物件來試驗;把物鏡前後移動,來對準焦點。

107. 用我們的望遠鏡來觀察,也像顯微鏡一樣,視野非常狹小,因此不免感覺困難。在 M 前面 $8\frac{1}{4}$ 厘米的地方,插入透鏡 L (以平面向 M), 視野即變為全體一樣明亮。在 O 前面 4 厘米地方,還可以裝一隔簾 E, 但並非絕對需要。聚光的透鏡 L 加入後,須把物鏡 O 移動,使其焦點和 L 相適應。

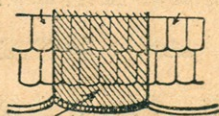
108. 觀察照得很亮的實物,像上的色緣,發生一種擾亂作用。隔簾 E 加入後,這些色緣即略見暗淡;但像的明亮程度,要減退些,所以光線薄弱時,應當採用沒有隔簾的。在倍率較高的望遠鏡,因除去這些色緣,備有兩個透鏡所組成的一種物鏡。

我們在這種望遠鏡裏面所看到的像,是倒立的,所以這一種器具,僅用於天體的觀察,稱為天文望遠鏡。

望 遠 鏡 的 倍 率

109. 要求出一個望遠鏡擴大的倍數,我們可以觀察一實物,例如屋瓦等 (不要離得太遠), 同時我們用肉眼看着瓦列,如見望遠鏡內單獨一片屋瓦擴大的像,蓋罩肉眼所看到的屋瓦 6 片至 8 片,其倍率即為 6 倍

直接看到的屋瓦



望遠鏡中看到的屋瓦,放大 6 倍。

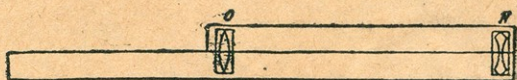
圖 三 四

至 8 倍。我們的望遠鏡，照實驗 107，擴大的倍數有多少？又照實驗 108，是多少？（圖三四）。

110. 用同一方法，測定觀劇鏡的倍率。

伽利略氏望遠鏡

111. 意大利的自然哲學家伽利略 (Galileo Galilei)，當聽到（約西曆 1609 年）荷蘭地方的休琴斯 (Huygens)，用兩塊透鏡組合起來，發明了一種望遠鏡以後，他也用幾塊透鏡合起來實驗，不過他用作目鏡的，是一種凹透鏡。我們用下面的方法，來構成這一種伽利略氏望遠鏡：就是把凹透



圖三五

鏡 N 放在箱底的後端，以物鏡 O 放在他的前面，使二者保持約 25 厘米的距離（圖三五）。

112. 我們照實驗 109，求出他的倍率。這種望遠鏡，倍率較低；不過也有他的特點，就是形狀較短，且能產生直立的像。觀劇鏡即由兩個同等的伽利略氏望遠鏡組合而成。

地上望遠鏡

113. 可惜用伽利略氏望遠鏡觀察時，所能達到的擴大程度，遠不及天文望遠鏡。不過用天文望遠鏡觀察地上的實物，因像係倒立，殊覺不便。如我們在物鏡和目鏡中間，加入一第三凸透鏡，照實驗 61 第二條定律，從毛玻片上，可取得一大小相同而再度倒轉的像。這倒轉後，變成直立的像，再用擴大鏡來觀察

其裝置如圖三六 a 所示箱底用箱蓋接長,此時須用一折曲的紙板,把全體蓋沒,這種地上望遠鏡,因像係直立,觀察地上的實物,最為適宜。



圖 三 六

114. 地上望遠鏡的

缺點,是形狀極長,用二個凸透鏡 L, 以凸面相向, 互相隔開一個焦點距離 ($8 \frac{1}{4}$ 厘米), 來代替原來單一的透鏡時, 器具即變為略短, 作用亦較良 (圖三六 b)。

光 和 色

在決定透鏡的焦點時, 我們見到光線的圓錐, 有各種顏色鑲在周緣, 這些色緣, 往往成為我們實驗上的障礙, 我們從這個誘因入手, 來作進一步的考察, 並順便對於「各種東西為何有顏色?」這個問題, 求一個解答。

115. 我們把實驗 52 復習一遍。

116. 我們用一塊厚玻璃 (稜鏡 P), 插入光線的徑路內, 令光線不經過二平行面, 却從互相像楔一般斜交的二平面內通過, 此時也可以得到邊緣着色的一種光線 (圖三七)。這光線此時從他原來的方向, 向楔形玻璃的鈍端一方偏斜, 因為光線進入玻璃時, 向垂線折射, 走出玻璃時, 再行折射, 惟此時則離開垂線。

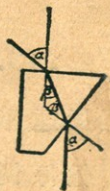


圖 三 七

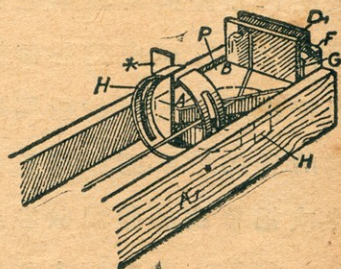
117. 我們把厚玻璃旋向鈍側時, 有何現象發生? 此時光

線的偏斜更甚。

118. 我們試以反對方向,把厚玻璃旋轉,使偏斜儘量減小。這是值得注意的,偏斜減小到某一點以後,如玻璃繼續旋過去,偏斜又復增大。這偏斜最小的時候,對於我們以後的實驗,最爲相宜。

119. 我們採用具有側線的隔簾 D_1 ,靠近他的支架 F ,放一玻璃片 G 。在玻璃片後面,木箱的底部,放一透鏡夾 H ,夾上則安放稜鏡 P 。稜鏡的兩條長邊,一條靠着玻璃片,一條靠着箱的側壁。靠着稜鏡的短邊,插入一紙板條(闊2厘米),用第二個透鏡夾 H 壓緊,以保持稜鏡的位置(圖三八)。假使把入射光線的方向適當調節,稜鏡可以沿着木箱的縱軸方向,發生折射的光線;而此時的偏斜,也可以變成一種最小或最適宜的偏斜。我們先用短的和長的兩個箱蓋,祇把稜鏡和箱的中部蓋沒,現在把這個管子,在戶外向太陽對着。

要使對準的方向容易求得,我們在箱蓋上,適當稜鏡鈍角 A (參看圖三八)的上方,固定一針;另取一針,在對角 B 的上方固定。這條針到針的 AB 線,和木箱的長邊成一 40° 的角度(刻度圓板 R)。如移動箱的方向,



圖三八

至 B 針的影子,落向 A 針時,我們所要描準的光線通過稜鏡的徑路,便已取得恰好的地位。在木箱的底部,我們看到一條彩

色的光帶，便是日光經過稜鏡的分離後所形成的。

120. 在木箱的末端，插一毛玻片，用最後的一個短箱蓋蓋上後，這些顏色在毛玻片上觀察起來，很是美麗。我們看到的顏色，和虹所現出的相似。這玻片上的光帶，稱為「光譜」。

121. 日光的分離為若干種顏色不同的成分，是由這些不同的光線，各具有不同的折射率之故。這些光線，都離開他們原來的方向，而向一側偏斜，那一種光線偏斜最大？那一種偏斜最小？

122. 我們在離開隔簾隙 1 米以外的地方，放一盞燈火（從燈火射向隔簾的光線，必須和木箱的長邊，約成 40° 的角度），令其光通過稜鏡而被分散時，也能取得同樣的光譜。我們的燈光，和其他一切白色的光源一樣，也分解為紅、橙、黃、綠、青、藍、紫七種顏色。各種白色光，都是從這些分開的顏色光線合成的。當這些顏色，全體同時投射在我們視網膜的一點時，我們不能把他們區別開來，祇感到一個籠統的印象，即所謂白色者是。同樣，我們把鋼琴上的幾個鍵同時掀動時，我們也不能把裏面各個單獨的音聽出來，而祇能聽得一個合成的音。祇有把鍵逐一掀動時，或把單獨的顏色放在我們眼前時，纔能把他們辨認。

123. 在我們未能把稜鏡所分成的顏色光線，重新集合，來取得白色光線以前，我們自然不能就承認一種白色光線，確為一切分開的顏色光線集合作用的結果。我們在稜鏡和毛玻片之間，插入一透鏡 L，由此可把所有這些顏色光線，重新集合

而成一點，透鏡和毛玻片的距離，須和他的焦點距離相應，所有的光線，都聚集而成一點，這一點，至少在他的中心，是白的。

124. 取玻璃管一段或鹼一小塊，持入酒精燈的火焰內，火焰所發出的光，即呈黃色，如我們把這個黃色的光源，在毛玻片上作成一光譜，我們所見的光帶，並非預期的那種彩色光帶，祇是一狹小的黃色橫條，黃色的火焰，發出的祇有黃色光線，所以祇能現出黃色，紅色的火焰（例如硝酸鋇的火焰），發出的祇有紅色光線。

物 體 的 顏 色

各種光源的顏色既查明後，我們再來查考「其他不發光的物體，為何有顏色？」的問題，此時第一就要把我們自己的「物體自身有顏色」那種成見捐除掉，就是說，顏色雖是物體的一種性質，不過他們祇有在光線照着的時候存在；在夜間沒有光的時候，就是最美麗的玫瑰花，雖則其形狀、重量、香氣等性質，依然不變，而其燦爛的顏色，即完全消失，由此足見顏色並非物體的一種性質，而是屬於照射他們的光線的作用。

125. 我們且先就透明的物體來考察，我們的玻璃片V，為何是綠的？我們把綠玻璃放在毛玻片前面，投射日光的光譜於片上，令其下半先經過綠玻璃，上半則照舊直接射在毛玻片上（圖三九），於是把上下二半部互相比較，上半部雖現出一切顏色，下半部却祇見一條狹小的綠色帶。

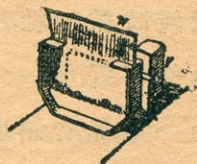


圖 三 九

126. 紅玻璃在同樣的實驗中，作何情形？此時在下半部祇見到一狹小的紅色斑點，紅色斑點出現的地位，和整個光譜內紅色部分所占的地位相一致，同樣，在前面的實驗，綠色所占據的地位，也就是原來光譜內現出綠色的地方；因此我們斷定：紅玻璃阻止一切的顏色，而祇許紅色通過，綠玻璃所以現出綠色，是因為光譜的七色中，他祇許綠色通過，而達到我們的眼中。

127. 我們聽憑光譜直接射在毛玻片上，而從色玻璃中觀察時，也得到同樣的結果，此時顏色光線，在毛玻片和眼之間，被色玻璃隔斷。

128. 我們石蠟油燈的火焰，從紅玻璃中望去，作何情形？從綠玻璃中望去，又是怎樣？

129. 現在把兩片色玻璃併在一起，對火焰望去，二玻璃雖各自完全透明，但併在一起，便全然不透明，綠色的一片玻璃，除了綠色外，把所有顏色，如數吸收；但這些綠色，又為紅玻璃所吸收，以致達到我們眼中的光線，一些也沒有。

130. 現在要論到我們第二個問題，就是不透明的物體，為什麼看起來有顏色？照實驗顯微鏡時候一樣，用臺板Q，把長箱底豎起，在箱底中部相近，用一木塞，把稜鏡軋緊固定，使其最短的一邊，靠着箱底的底部，斜邊則向下。現在我們以垂直方向，向稜鏡裏面望去，而橫放一光亮的

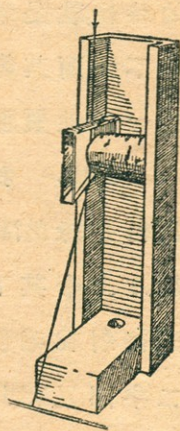


圖 四 〇

編織針在臺板前面的桌上，編織針須從臺板（即觀察者）徐徐移開去，至在稜鏡內可以望見為止。假使從前方把編織針很亮的照耀着，針緣的「光譜」色，便立即引起我們的注意（圖四〇）。極亮的針，把全部白色的日光都反射出去，稜鏡再把他們分散開來。

131. 現在我們用一張白紙來代替針，紙上放黑色隔簾二，令二者十分接近，中間祇留出一條極狹的白色帶（闊 $\frac{1}{2}$ 毫米），仍可看見。我們把這條白色帶，照前法從稜鏡中來觀察，又見一自紅至青的完全的光譜。所有的顏色，都呈現紙上。白紙能反射一切的光線。

132. 現在我們用一張紅紙，來代替白紙，照前法觀察。那光譜祇現出一種紅色。紅紙所反射的光線中，祇有一種紅色光線；其他光線，他並不反射，而把他們吸收了進去。

133. 用綠紙來觀察，表示祇反射綠色光線，別的光線，全行吸收。

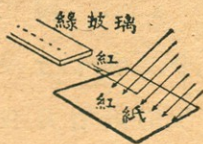
134. 下面那種比較法，是很有趣的。把紅、白、綠三種色紙，疊在一起，使實驗 131 兩個隔簾中間的狹帶，在紅綠二線間，含一白線。

這種選擇的吸收作用，使物體現出各種顏色。透明的物體現出的顏色，即其所透過的光線的顏色，不透明的物體現出的顏色，即其所反射的，即物體呈現的顏色，通例是他所不吸收的那些光線的顏色。一種黑色的表面，吸收一切的光線，而絕不反

射,就爲了這緣故,所以他無光而黑暗。

135. 我們從紅玻璃中觀察一種白色的表面(紙屏A)時,作何情形?他現作紅色,因爲他雖則把所有的顏色光線反射出來,而從玻璃中透過的,祇有紅色的一種。用綠玻璃作同樣的實驗,其解說亦相同。

136. 如我們用一張紅紙放在隔簾E的圓孔下面,先從紅玻璃中觀察紅色圓面,次從綠玻璃中觀察;在後者,圓面消失,而祇見全面呈黑色(圖四一)。



圖四一

137. 用綠紙也可以作同樣的實驗,其說明和實驗 129 相似。

138. 衣服穿着得花花綠綠的人,從顏色相反的玻璃中看起來,是很好玩的,他們有如穿着黑色的衣服一般。

139. 試把一束鮮花,從色玻璃中來觀察。

140. 下面帶些魔術性質的那種虛幻現象,應如何說明?用鮮紅墨水在白紙上畫一個圖,再用綠色或黑色墨水在同一張紙上寫字,從紅玻璃中看去,紅色的畫,全部消失,但綠色或黑色的字,則並未消失。

141. 我們既知道紅紙在光線下,除紅色光線外,不能發出別的任何顏色以後,我們可以把牠來玩一下,就是在照射的光線中,沒有紅色光線給他,看是怎樣。爲了這緣故,我們把紅紙帶到一暗室裏面,而單用實驗 124 酒精燈火焰的黃色光線來

照着那紅紙有如黑的一般。

142. 在一種暗室內，就酒精燈的黃色光線下，從鏡子裏面看到自己紅色的嘴唇和頰，以及舌時，使一個人的面相看起來很怪異而可怖。

實 體 鏡

143. 我們周圍的一切物體，映入我們眼中的像，祇是一個面，可是我們看起來，會覺得他們完全是一種突起的物體。這種實體的印像，是由於我們用左眼，更看到物體的右側，用右眼，



圖 四 二

自然更看到物體的左側的緣故（看圖四二）。

144. 根據這種意想，就用一種平面的畫，也能產生實體的印像，祇須左右二眼，各給與一不同的畫像，宛如實際上物體分別呈現在兩眼中的一般。圖四二表示一立方體的這樣的兩個圖。這圖視察起來，須令二眼祇看到所要給與他的畫像。最簡便的方法，是照圖四三，兩眼各戴一擴大鏡，即可。如

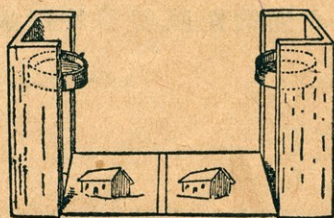


圖 四 三

同時從二透鏡中望去,注意視察時,可見一部分重疊着的兩張畫,把一方的擴大鏡向側面移動,即能使二畫相一致,而立即產生實體一般突出的印像。

145. 如二畫對調,則幻視而成一立方的空腔(圖四四)。



圖 四 四

146. 像本書後面圖版上圖四五的一類照相圖,產生的突起作用更強。

147. 我們的實體鏡,有一個便利的地方,是尋常的實體鏡所沒有的,就是可使透鏡間的距離,和兩眼的距離相適應。因眼的距離,不免有關狹;平均為64毫米。要測量自己眼的距離,可取平面鏡二,放在短箱蓋的內側,向鏡中望去,見其中各有一眼鏡子的中心,先用一小點墨水,作一記號。此時頭部定着不動,而把鏡子移動,直至二中心點各與一反射的眼(像)中心相一致。二中心點的距離,即等於兩眼的距離。

第 二 部

光 源 的 測 量

148. 電燈和煤氣燈,我們的小燈Z和一支蠟燭,照起來那一種來得亮?這個要看那時的狀況,纔能決定。要得到一種正確的比較,我們照圖四六構成一裝置。把隔簾架F放在箱底 K_1 的中部,架內插入紙屏A,在他的左右兩側,各距離3厘米,平放透鏡夾各一,夾上各斜靠一平面鏡。我們從上方鏡中看去,紙屏的兩面

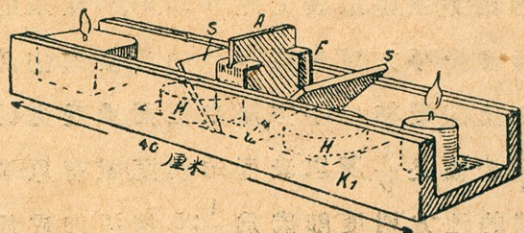


圖 四 六

(二平面鏡中各有一個),同時望見。如我們把蠟燭放在木箱或桌子的一端,燈放在他端,紙屏的一面,看起來要比別一面暗些。我們所用的兩種光源,投射在紙屏較暗的一面的,其光較弱。

149. 現在我們把較弱的光,向紙屏移近,至其兩面同等明亮而止。在那一種距離,會見到這樣的情形?發光較弱的燈,在較近的距離,能和距離較遠而發光較強的燈,發出一樣的光來。

150. 我們把較強的燈光移開時,作何情形?其照明的能力,隨距離的增加而遞減。

151. 下面的實驗,說明這照明力減低的原因(圖四七)。

我們把一個隔簾架和隔簾 B, 插在燈的一傍, 以取得一小的(一點)光源, 方孔隔簾 A, 其開孔適為一平方厘米, 放在距離 12 厘米

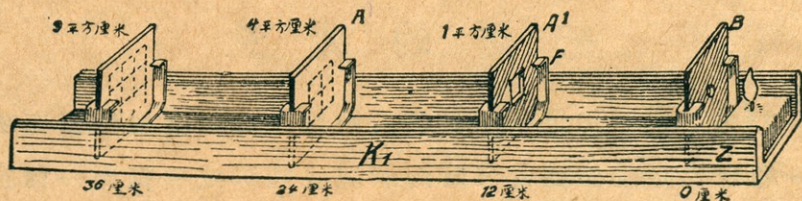


圖 四 七

的地方, 在距離發光點 B 12, 24, 36 厘米的地方, 被燈光照着的, 各有多少平方厘米, 經過 B 的光, 全體佈滿在 1, 4 和 9 平方厘米上面; 即最初一平方厘米上面, 承受光的全體 1; 其次是全體的 $\frac{1}{4}$, 最後是 $\frac{1}{9}$. 所以表面的明度, 祇有原來的 $\frac{1}{4}$ 和 $\frac{1}{9}$. 在一個 4 倍遠的地方, 明度即成為 $\frac{1}{16}$; 5 倍遠即成為 $\frac{1}{25}$, 亦不難推知, 因此我們可以說, 明度常以距離的平方數遞減, 4, 9, 16, 25 即 2, 3, 4, 5 的平方數, 最好把 4 平方厘米、9 平方厘米的面積, 立即畫在紙屏 A 和同大的紙片上, 這定律在物理學課本上是這樣的: 明度和光源距離的平方成反比。

152. 在實驗 151 求得的定律, 也可以如此解說: 如二倍距離上的一個光源, 其明度和單一距離上的另一光源相等, 則其發出的光, 必為後者的四倍, 這個可用圖四八那樣的裝置來說明。

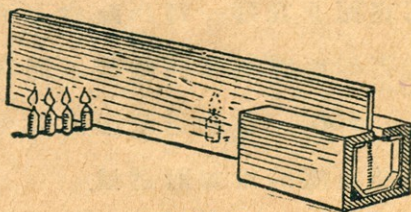


圖 四 八

在距離40厘米的地方,把四支小燭放在一起,見他們照在毛玻片上,確實和距離20厘米地方一支同樣的小燭,一樣明亮。

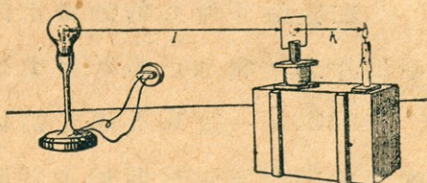
153. 一盞10支燭光的電燈,在我們桌子上方距離50厘米的地方,恰正供給我們工作時一種適當的亮光。假使天花板上的一盞燈,離開桌面是 $1\frac{1}{2}$ 米,要以同樣的明度照在桌上,則須選用那種燭光?要在距離3倍的地方,取得同等的明度,我們需要 $3 \times 3 \times 10 = 90$ 支燭光的一種燈,所以用於狹小的地方,桌燈比較經濟得多。

154. 電燈和別種燈,其照明能力常用燭光計算。要測定我們石蠟油燈的照明力,可用粉筆在桌上畫一直線,長1米(即100厘米)。這線的一端放燈,他端放燭。現在我們把紙屏和平面鏡,照圖四六那樣,放在短箱蓋內,並沿粉筆線把他前後移動,至屏的兩面一樣明亮為止。假定我們現在求得燈距離紙屏為70厘米,燭距離紙屏為20厘米,則燈和紙屏間的距離,為燭的 $70 \div 20 = 3.5$ 倍,所以他的照明力,等於 $3.5 \times 3.5 = 12.25$ 燭光。

155. 本生氏(Bunsen)(二「光譜分析術」發明者之一)提出的光度計,較上述的器具,更為靈敏。在一張洋信箋上,滴下所燭油一點,用小刀把蠟刮去,令遺留的油點位於中心,而把他放入圖四六紙屏的地位,把他在我們所要比較的兩個光源間,沿粉筆線移動,同時觀察油滴。當求得一適當的位置,油點在兩面都不易看清時,紙屏兩面所受到的光,即屬相等。測定兩側的距離,照實驗154的方法來計算。

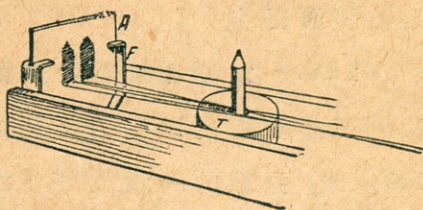
圖四九表示測量一電燈的照明力所用的裝置。

156. 自然,二平面鏡不用也可以;不過用了平面鏡,同時觀察油點的兩面,可以非常便利。



圖四九

157. 「有強烈的光線,即有強烈的陰影。」極簡單的陰影光度計,即根據這原理製成的。在圖五〇的裝置裏面,較強的光源,投射出來的陰影亦較暗,所以把他從紙屏一方漸漸移開去,直至兩個陰影相等而



圖五〇

止。把二火焰離開紙屏的距離測定,照實驗 154 的方法來計算二陰影的位置,須互相接近。

158. 熟悉算學的讀者,可列一比例式來解決這問題。

設 L = 燈的照明力; C = 燭的照明力;

D = 燈的距離; d = 燭的距離;

則為 $L : C = D^2 : d^2$; 故 $L = \frac{C \times D^2}{d^2}$

假定 $D=30$; $d=12$; $C=1.2$ 燭光; 則得

$$L = \frac{1.2 \times 30^2}{12^2} = \frac{0.1 \times 900}{12} = 0.1 \times 75 = 7.5 \text{ 燭光.}$$

159. 用實驗 155 或 157 的光度計,試測定一手電筒的照明力。

160. 用陰影光度計實驗時，觀察的人當已見到二陰影因顏色往往不同，要使其相等，頗屬不易。有時二陰影中，一個帶紅，一個帶青。電火比略帶黃色的燭火白些。在實驗 159，照出的陰影帶青的，是那一種火焰？帶黃的是那一種火焰？這種奇異的現象，其解釋可在實驗 266 中查得。油畫匠在一種雪景中，他們看到這現象，而把陰影畫成青色，由此可得一左證。

絕對黑色的物體

161. 在實驗 8，我們知道就是顏色極黑的物體，仍有些微的光，不絕反射出來，所以不是一種絕對的黑色。可是我們仍能做出一種絕對黑色的物體，其法如下（圖二三）。取二短箱蓋 K_1 ，對合而成一箱，接合處的二槽中，用堅固的紙板條插入，不令漏光。用隔簾 B 做前壁，隔簾 E 和黑色紙做後壁。通過 B 的開孔，而進入木箱黑色的內部的的光，祇有極微的光線，為黑色的內壁所反射，而這些反射光，在轉輾反射，再通過隔簾孔，回到出口以前，還會被吸收。所以不再有任何光線從這開孔發出，因此他呈現絕對的黑色，比任何黑色的紙或織物還黑。

162. 試把各種黑色物體，持近孔口。黑色的絲絨，近於絕對的黑色。

鏡

鏡的製作法

163. 一塊玻璃片 G ，很容易把他變成一面鏡子。用純酒

精把玻璃充分洗清後，蓋上一層錫紙，散佈水銀數滴於其上，使錫溶解而成汞齊，把錫紙在玻片上略行壓實，放在戶外，令過剩的水銀蒸發，因水銀的蒸氣吸入，能傷害呼吸器官，故上述的手續及乾燥，應在戶外舉行，手的洗滌，切勿忘記。

164. 現時製造鏡子，並不用錫的汞齊，而用沉着在玻片上的一層銀質來代替，手續並不煩難，取針頭大的一粒硝酸銀，放在一個很潔淨的小瓶或試管內，溶解於4立方厘米的蒸餾水中，再取兩倍於硝酸銀的洛瑟爾氏鹽（酒石酸鉀鈉），溶於4立方厘米的水中，製成第二種溶液，這兩種溶液，混合一起，把稀薄的硝酸精溶液，逐漸滴入，至乳白色的沉澱物重新消散為止，現在把玻片放在一隻碟子內，將配好的溶液注在玻璃面上，再將碟子浮在極熱的熱水上面，溶液不久即變黑暗，銀質沉積在玻片上，而成爲一種光亮的鏡子。（福柯氏法），一種錶面玻璃，可用來製成一種凹鏡。

165. 因光線的偏斜（利用一鏡子），比鏡子迴轉的角度，有兩倍大，而光線自身代表着一種不佔重量的指示物，且能任意延長，所以微細的運動，每用鏡子來擴大，使其顯然可觀，例如把鏡子的一邊，擱在箱上，對側則用手指支持，而前臂放在水平位置，當日光投射在鏡子上時，我們見到反射光的斑點，在天花板上作一種動搖不定的運動，把手自然發生的細微而不能覺察到的震顫擴大，重新顯示出來。

166. 我們利用鏡子，能投射光線於各種方向，如果要我

們的實驗桌上,有日光照着,我們祇須應用日光反射器或回光鏡,其裝置如圖五一所示,把他放在日光充足的窗檻上面,因太陽的方向,每天變動,鏡子的傾斜度和地位(或方向),必須時時變換和調節,使與桌子相符合。

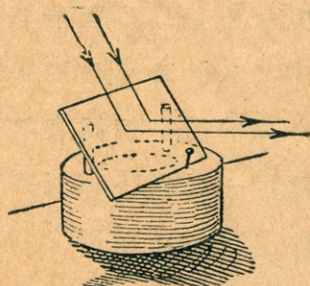


圖 五 一

回 光 信 號

167. 假使要一束光線,向一定的方向反射出去,可用大圓孔隔簾E,從上面插入箱底的一端,插入的深度,以1厘米為度,再用小圓孔隔簾B,以同一方法,插入箱底的他端(圖五二).把箱底支起,以變更其方向,至所要照射的那點(例如遠處的一株樹幹),可以通過兩端的圓孔而看到為止,現在把回光鏡(實驗166)放在小孔隔簾B的前面,加以調節,使反射光投射在隔簾上,恰正通過中心的圓孔,樹幹上以前所望到的那點,此時可以被回光射着,如我們在太陽未曾顯著改變其方向以前,急速趕到那一點,我們可以在遠處望見我們的鏡子,燦爛奪目,如一明星,這種光

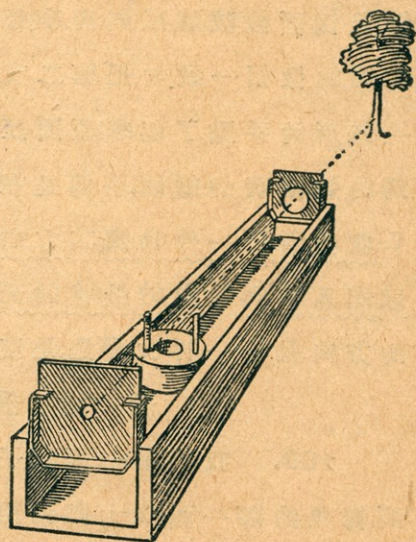


圖 五 二

點，在幾里以外，還能望見，尤其是在我們把隔簾E，時而除去，時而插入的時候，如用手放在本器的前面，光即遮斷而消失。現在可以和另一個觀察的人約好，一種持續較長的光，代表電報號碼的一長劃，一種短暫的閃光，代表一點，如斯即成立無線電報的一種，即所謂回光信號是，鏡子須時加調節，不可忘記。

168. 一片玻璃，雖則透明，也略能反射，我們借這一點，來做一個很好玩的實驗。把箱底 K_1 翻轉，底面向上，在近身一端的箱底上面，安放小圓孔隔簾B，他端則放一蠟燭（不點着），中央植立一玻璃片，令其與箱底的縱軸，成一 45° 的角度。在箱底的一側，離開玻璃片20厘米的地方，另取一蠟燭放着。我們從隔簾內向玻璃望去時，透過玻璃而望見第一支蠟燭，同時第二支蠟燭，從側面被玻璃反射出來，把第二支蠟燭移動而支起，即能使二燭的像相一致。如把第二支蠟燭點着，則有如第一支蠟燭，被一無形的手點了起來；蓋因反射的結果，我們看到的燃燒着的蠟燭，以為是在第一支蠟燭那邊。
「我們看到一件物體，其方向（即地位）總是以進入我們眼內的最後的光線為準的，以前他的方向是否一再改變過，是沒有關係的。」

潛 望 鏡

169. 我們用一面鏡子，在某程度內，能看到轉角的那一面。兵士們利用壕溝鏡來望見敵人。圖五三表示壕溝鏡的構造，及使用此鏡，能越

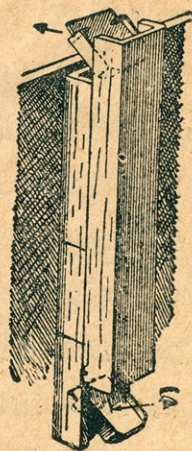


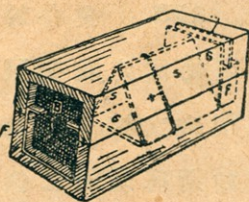
圖 五 三

過一牆壁而望見的情形，如站在樹後，橫持此鏡，則有如能透過樹身而望見的一般。潛水艇內的潛望鏡，其構造亦相似。

萬花鏡

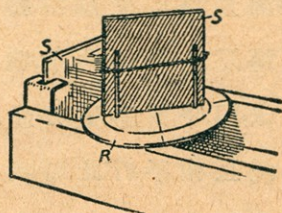
170. 萬花鏡是一件極通俗的玩具。這一種鏡望進去時，便見到各種六出形的圖案花樣。我們可以仿照他的構造，用二平面鏡及一玻璃片，來組成一三角錐形的筒，外面用膠皮帶縛緊。在他的一角，放入顏色紙的細片，而從上方看進去。

171. 這器具照圖五四裝置，則更覺得奇妙而有趣。三角錐形的鏡子，放在短箱蓋 K_3 內。小圓孔隔簾 B 和玻璃片 G ，分別放在前後兩方的開口內，各用一隔簾架 F 固定。毛玻片則插在鏡底和前方的隔簾架中間，而與玻璃片相接近。二玻片的間隙中，一部分用色玻璃的小粒和碎片充滿。全體另用一短箱蓋蓋好。把筒沿其縱軸轉動時，碎片即變更其地位，而形成各種變化無定的圖案花樣。



圖五四

172. 在實驗 168，表明平面鏡轉過 45° 時，鏡中現出的物體，其地位與視線適成一直角。在測量上，往往要把一根標尺設立起來，以便和其他二標尺構成一直角。尋常用於此項目的器具，即根據一種傾斜平面鏡的反射作用製成，稱為直角鏡。第



圖五五

一面鏡，照圖五五固定，而轉過 45° ，鏡前預留地位若干，以備插入其他一鏡（裝在隔簾架F內），後者突出的高度，如僅及前鏡的中部，則較為便利，因為我們掠過迴轉鏡而在固定鏡上向遠處的樹望去時，在固定鏡中，就在樹的下面，看到另一目標的反射像，這目標和我們立腳的地點及樹幹，必構成一直角，其理由表明於圖五六中。

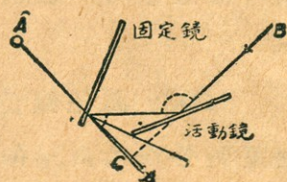


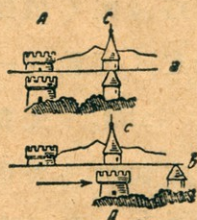
圖 五 六

173. 要合於實用，二鏡相對的位置，須絕對以 45° 的一種傾斜度固定，我們照下面的方法，來測驗我們的直角鏡，是否正確，用四支棒，三支連成一直線，第四支和中央的一支成直角放着，如斯構成的二個直角，在我們的直角鏡內看起來，必恰正相等。

反 射 六 分 儀

174. 要得到 90° 的角度，鏡子必須轉過 45° ，轉過 30° ，則可以得到一個 60° 的角度，是很顯然的。要之，鏡子迴轉的角度，常達測定的角度之半，因此利用我們的器具，外界的任何角度，都能測量，測量時，即使懸空持在手中，也可以，例如要測量二塔和我們立腳點中間的角度，我們掠過鏡子而向右方的塔（圖五七C）望去，同時，觀察下方鏡子（固定鏡）中的物像，開始時，最好使二鏡互相平行；此時我們在下方鏡子中見到塔的像，那個塔，就是我們直接在鏡子上面所望見的，把固定鏡徐徐向前傾斜，至

二塔將疊接爲止（圖五七 a），此時的度分，應指在零度，用粉筆在支持的臺板 Q 上作一記號，對於這零度的一點有何偏差，把他記下，以備訂正後來的示度之用。現在我們把鏡子徐徐迴轉，注意下方的像，如何向一側移動。當鏡中的 A 塔，恰正現出在 C 的下面時，在刻度上把角度記下。所要求的角度，恰正是這角度的兩倍。因器具的



圖五七

運動，對於測量並無妨害，所以航海的人，測量星體的角度距離時用之。這一種器具的刻度，祇到 60° 爲止，所以稱爲「六分儀」。

175. 一個三角形的三個角，總計是 180° ，因此我們可以測量一三角地的三個角，來測驗我們的六分儀是否正確。

176. 熟悉三角法的讀者，或者可以把不可接近的一點，例如在一片水面以外的，設法測定其距離。這種測量法，在原理上當與天文學家測定天體上的距離所用的方法相類似。

球 面 鏡

177. 凹鏡並不能把平行光線會集在確切的一點。在實驗 24，我們如果把隔簾除去，可窺見一特殊的光亮曲線。

178. 用大圓孔隔簾 E 放在凹鏡前面，以減小其反射面，由此可取得較近於焦點的一點。

179. 凹鏡係圓球的一部，其焦點距離，常等於其圓球半徑之半。直徑等於四倍焦點距離的一種硬紙圓板，必切合於凹鏡的曲面。

180. 彎成圓弧形的洋鐵片，也能像凹鏡一般反射。在一個透鏡夾（須擦亮）的內側，可以看到

181. 先把擦亮的透鏡夾豎直拿着，在他的外表面（凸面）內現出的反射像，是怎樣的？再放平拿着，又是怎樣？一

種圓柱形的表面，在直面方向，像平面鏡一樣，產生自然大小的像，在曲面方向則短縮；在透鏡夾側緣一方所見到的歪曲，即由於此事實所致。

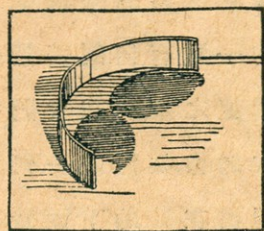


圖 五 八

182. 玻瓶內藏着顏色深暗的內容物時，他的作用也和圓柱鏡相似。

183. 尋常的平面鏡，其表面非絕對平正的，也能反射歪曲的像，所以優良的鏡子，應當用磨平擦光的玻璃做成。試就家用的鏡子，測驗其光學上的優劣。

184. 凹鏡能投射像於屏上，宛如一透鏡，支配其造像的幾多定律，也和透鏡的那些定律，確切相應。

把球面鏡 S_1 放在長箱蓋的一端，臺板 Q 則放在鏡前距離幾厘米的地方，於是把箱蓋側轉，以一側向下放着，使鏡子的一半，向側面突出於箱外，燈靠近箱蓋，放在他端。此時經臺板 Q 而達到鏡子的光線被鏡子所反射，在臺板上向鏡子的一面，產生一縮小而倒立的焰像。臺板須前後移動，至反射的像十分明晰而止。

185. 燈和屏(臺板)在離開鏡子約8厘米的地方,靠近一起放着,像有何變化?像和原物,大小必相等。

186. 燈再向鏡子移近,而臺板Q隨着退回時,即得擴大的像,要使像繼續投射在Q上,則須將鏡子依垂直軸繞轉些。

187. 因此我們知道光學器具中的透鏡,得以凹鏡來代替,這辦法在反射望遠鏡中,已經採用凹鏡比較透鏡,有一個便利的地方,即使用凹鏡,則透鏡中所極難除去の色行差,便無從發生把實驗52和220中光線圓錐的邊緣,和實驗25相比較。

光的折射

188. 折射角 α 和入射角 β 之間,保有下列的關係:

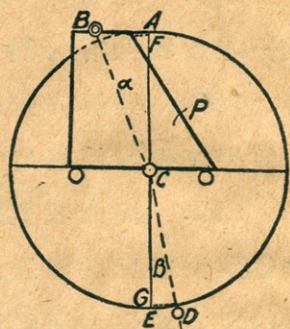
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = c$$

c 是一種定數,即折射率,從實驗33中的角度,計算其實際的折射率。

189. 其他液體,具有更強的折射作用,試用石蠟油做一實驗,但刻度圓板則省去。

190. 照下法決定折射率,更為精確,在一張紙上,以5厘米作半徑,畫一圓圈,並作出互相垂直的直徑二條(圖五九)。取一小針C,插入中心,另一小針B則靠緊稜鏡的短邊插着, B針和半徑AC,約表示 3° 的角度,稜鏡照圖上地位放好後,我們從D向稜鏡中望去,使C, B二針相一致,於是用第三支針,插入圓周的D點,則通過稜鏡看起來, D針好像和其他二針,站在一直

線上，把稜鏡移去後，作 BC 和 CD 二線，此時即得入射角 α 和折射角 β 。實驗時最緊要的，是稜鏡須始終靠直徑放着。如我們從 B, D 二點，各引一垂線到直徑 ACE 上，而把他們的長度 BF 和 DG 精確測定，則此二線即代表 α, β 二角的正弦。所以得數 $\frac{BF}{DG}$ 代表玻璃的折射率。



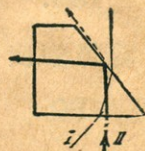
圖五九

用較大的入射角來實驗，一定歸到同樣的結果。

191. 液體中折射的差異，也能由下法顯出。在玻璃器內盛水，水面注油一層，持編織針一，放在玻璃器後面，而斜向望去

全 反 射

192. 我們先令一光線 I，如圖六〇所示，通過稜鏡（利用圖三的裝置），而照平常那樣，觀察相應的折射光線。現在我們如果徐徐迴轉稜鏡，使入射光線幾成一直角（圖六〇光線 II），折射光線便只管向稜鏡的斜邊接近。最後，他不再通過傾斜表面而射出，却在稜鏡的側面出現。此時稜鏡的斜邊一面，作用像鏡子一般，把所有的光線，完全反射出去，稱為「全反射」。



圖六〇

193. 我們如果用紙片把稜鏡最短的一側貼沒，放在長箱的中部，當我們從圖六〇 II 的方向望過去時，本來透明的稜鏡，會像不透明的一樣。因為全反射的緣故，我們祇看到木箱黑

色的內壁。

194. 如我們盛水於玻璃器（例如電池的發槽）中，比我們的頭高些，從上方用手指移近水面，則從下面望去，手指不見實際，水的表面，呈不透明狀；容器底下放着的東西，却可以在其中看到他反射的像。

透 鏡

195. 我們的透鏡，知道他的焦點距離以後，我們便能用來做下面的一件有趣的玩藝。取鈕扣一，用黑色線懸掛在一個密塞的瓶中。我們既不把瓶塞拔出，也不將瓶弄破，而能保證將鈕扣截去。我們拿着雙凸透鏡 L ，在瓶的外面照着，使焦點射在線上，線即燒斷（圖六一）。



圖六一

196. 用白色線做同樣的實驗，便不易成功，因為顏色淺淡的物質，吸收熱線的能力，比較薄弱。

197. 在日光因經過的雲而間歇照着的那種日子，我們用下法來說明一種日照記錄器（記錄一日中日光的照射時期用的）的原理。我們把實驗⁵²的器具對向太陽，用一條彎成弧形的紙板，放在焦點上，太陽在紙上燒成一焦黑的線，這線祇有在太陽被雲遮斷的期間，現出間斷。在實用的日照記錄器，係一玻璃球，在各方向都具備一種透鏡的作用，其燒出的跡線，記錄在近似半圓形的一種彎曲紙板上。這種器具，稱為康倍爾氏日照記錄器（Campbell's sunshine-recorder）。

198. 通過凹透鏡的光線,宛如從一點放散出來的一般;這一點和透鏡自身中間的距離,稱為負焦點距離。我們把隔簾 E, 靠近透鏡的前面放着,用一紙片作屏,紙上則先畫一圓圈,其直徑為隔簾圓孔的二倍,將此屏向後移動,至光線的圓面(自然隨距離而增大),在屏上恰正佈滿在圓圈中為止,從透鏡到屏的距離,便是焦點距離,何故?

199. 試決定其他透鏡 L, O 和 M 的焦點距離,扁平透鏡的焦點距離,和曲度高的透鏡比起來,怎樣?

200. 焦點距離是透鏡最重要的特性,因此在說明一透鏡時,一定要把焦點距離和透鏡的大小,一同舉出。通常都用光學透鏡「第」數 (dioptric numbers) 來表示,把焦點距離 1 米長的一種透鏡,認作單位,而稱為 1「第」。因此一個透鏡的「第」數,可依下式求得,即 $\frac{100 \text{ 厘米}}{\text{焦點距離}} = \dots\dots\dots$ 「第」。例如焦點距離 20 厘米的一種透鏡,為 $\frac{100}{20} = 5$ 「第」。試依上法決定我們透鏡的「第」數。

如將二透鏡 LL 靠近放着,其具備的焦點距離和「第」數若何?

201. 試將透鏡 L 和 N 合併,決定其焦點距離和「第」數。因凹透鏡的曲度,比凸透鏡更強,所以合成的透鏡,仍具放散作用,而為負的「第」。

$$+ 12 \text{「第」} - 15 \text{「第」} = -3 \text{「第」}$$

202. 我們把透鏡 O, 加入以上的透鏡組中,合成的透鏡,其作用類似一平面玻璃,他既不集合,也不放散。

$$+ 12 \text{ [第]} - 15 \text{ [第]} + 3 \text{ [第]} = 0$$

203. 據實驗60,映像的屏放在焦點上,遠處的景物在屏上造成極鮮明的像,此時透鏡的焦點距離,便能根據屏的距離來推定.

204. 實驗61,也能够把焦點距離決定.我們在映像的屏上劃線二條,二線的距離,和隔簾D外側的二縫線恰相等.現在我們且把隔簾和毛玻片前後移動,由此使縫線的像,恰正和屏上的二線相一致.焦點距離便是屏和透鏡距離的一半.

205. 屏的距離,和燈的各種位置相應,而有一定.今假定 g = 實物(燈)到透鏡的距離; b = 像到透鏡的距離; f = 透鏡的焦點距離;則其關係可以下式表示:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

試就實驗62,定出距離的數值,來考驗以上的定律.

206. 像的大小(B)對於實物的大小(G),和像的距離(b)對於實物的距離(g),具同一比例.

$$B : G = b : g$$

這定律,由測量火焰及其相應的像來考驗.

207. 從焦點發出的光線,經過一種凹鏡的反射或凸透鏡的折射後,變成平行光線而前進;探海燈便是根據這種觀察造成的.把火焰或小電燈放在我們透鏡的焦點上,用來照射,能將暗室內遠處的物體,照耀得很清楚.

208. 探海燈的裝置,已廣行採用於汽車上;不過在車上,

並不用凸透鏡而專用凹鏡。備有本儀器第三組（電磁學）的，可裝置一小電燈，令燈光投射在球面鏡 S_1 ，再從球面鏡反射出來，其裝置如圖六二所示。支持電燈的釘，先把他直角彎曲。

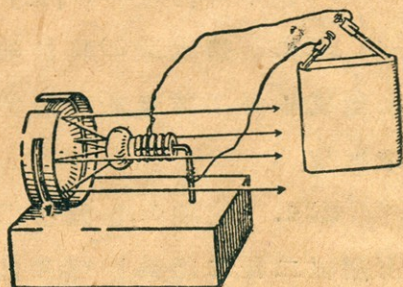


圖 六 二

209. 我們的球面鏡，祇能把入射光線極小的一部分，收集而使其平行發射。所以有些人，便想到把鏡子擴大成一半球形，以增加這反射的部分。但如圖六三 a 所示，利用這一種鏡子，邊緣部分的光線，不再成爲平行。要光線全部平行，祇有用一種拋物線式的凹鏡（其通過頂點和焦點的截面爲一拋物線），纔能辦到。汽車上面的探海燈，常裝配這一種凹鏡（圖六三 b）。

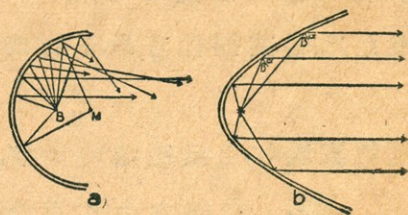


圖 六 三

光 學 器 具

擴 大 鏡

210. 擴大鏡的放大作用，實際是在於其使我們能不妨害視覺的鮮明，而和物體十分接近。不用擴大鏡時，眼和物體間

最適宜的距離，即明視距離，當為 25 厘米。如我們取一具備針孔的隔簾，放在眼的前面，我們眼的明視範圍（參看實驗 241），即大為增加，使我們能接近物體至 10 厘米。這一種針孔，並不用什麼透鏡，也具有一種擴大作用。

211. 所以一種擴大鏡的放大倍數或倍率，可從下式求得：

$$\text{倍率} = \frac{25 \text{ 厘米}}{\text{透鏡的焦點距離}}$$

我們的透鏡 L 和 M，放大的倍數是多少？

212. 放大的倍數，得以下法精確測定。把箱蓋直立，上端裝透鏡 L，在 L 以下 8 厘米的地方，裝一毛玻片。毛玻片上，預先劃鉛筆線兩條，其距離適為 10 毫米。在距離箱蓋上緣 25 厘米地方，放一毫米尺，用一隔簾架 F 支持。以一眼從透鏡中觀察毛玻片上的鉛筆線，同時以他眼觀尺。這種觀察法，經幾次試驗以後，即易成功。現在計算二線間的毫米數，如我們數得 35，則放大倍數便是 $3\frac{1}{2}$ 。

213. 用擴大鏡 M 和方格紙來觀察，還看到凹陷式和膨凸式的歪曲（參看圖七〇）。

214. 我們在圖二〇的裝置裏面，把三線隔簾 D 省去，並在透鏡的他側，裝一平面鏡，代替紙屏 A。此時平行光線被鏡子反射回去，重新集合在焦點上。如隔簾的縫隙恰正放在焦點上，則此等光線，在縫隙自身的一傍，形成一縫隙的像，很是清晰。這也是決定焦點距離的一個方法。

映 畫 箱

215. 映畫箱的名稱,本來是指另一種構造略有不同而也供模寫用的器具而言。本節所述的映畫箱,可照圖六四來構成。箱底 K_1 用臺板 Q 做底盤,並用重物壓住。再取二短箱蓋 K_2 ,合成一短管,用繩連結在柱 K_1 上。管內固定一透鏡 O ,管口則裝一平面鏡,令與垂直線成 45° 的傾斜。透鏡和桌子中間的地位,須用黑色的幕遮蓋,而令畫圖的人,圍在幕中,不過頂部的平面鏡,必須露出。最好是把幕繫於柱上。要使映出的像十分鮮明,則紙面的高低,或者還要加以相當的調節。

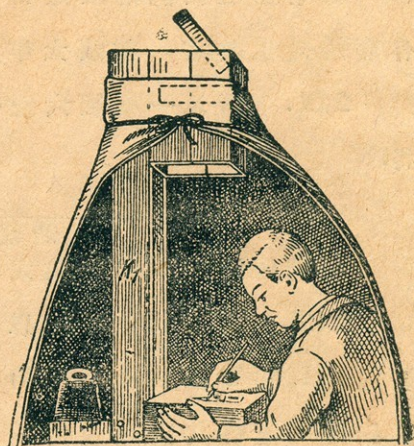


圖 六 四

照 相 器

216. 照相時,投射在毛玻璃(及乾片)上的像,用化學方法,使其永久保存。詳言之,即許多物質,在光線的影響下,進行化學變化。這種物質,如檸檬酸鐵銨。是取檸檬酸鐵銨2.5克,溶於10立方厘米的水中。把溶液塗在白紙片上,放在暗處(密閉箱中)乾燥。把他取出時,祇許在暗淡的光線下,或者可以在離窗頗遠的一個屋角子裏。溶液因極善感光,也要保存在暗處。我們用一片植物的葉子,放在這一種塗着感光藥液的紙(長闊各

4 厘米)上,輕輕的夾在兩塊玻片 G 中間,外面用膠皮帶繞緊。現在把感光的一面(有葉片放着的)向上,在日光中曬幾分鐘。然後把感光紙從玻片間取出,便見一美麗的像,顯現在紙上。顏色較淡(即較為透明)的葉脈,呈暗色,就是像片上的顏色,其明暗與實際適相反,在照相術上,稱為底片。

要使像加強,則必須加以顯像的手續。其法,取鐵氰化鉀(俗名赤血鹽)1 克,溶於 10 立方厘米的水中,然後把像片放溶液裏面。像片的各部,以前祇稍見深暗的,現在則變成一種美麗的青色。

假使此時把像片攜入光線下,淺淡的部分,也會變成青色。所以像片上殘留着的感光藥液,必須在水中把他洗去。水須時常更換,水中如加入鹽酸數滴,則更好。待乾燥後,片上的像,便永久保存着。

217. 我們儀器裏面的透明畫片 X,可以用來代替葉子,放在感光紙上。(以畫面向下放在感光紙面上)。

照相用的片子,塗以銀鹽,雖暴露在很是薄弱的光線下,不到一秒鐘,便發生感光的作用。最初,片上的像十分模糊。用適當的溶液處理以後,始有黑色的像現出來。像顯現後,須再行定像手續。因為這些片子,感光性異常強烈,所以一定要在絕對的黑暗中,或濃厚的紅色光線下,纔能處理。

218. 凡熟悉照相的,可以用我們樸實的小鏡箱(圖二三),來試照一下。因乾片較貴,可以用溴化紙(塗溴化銀的感

光紙)來代替,這種感光紙,對於光線亦極敏感,所以處理時,必須像乾片一樣注意,在暗室中,切取長闊各40毫米的溴化紙一張,在焦點仔細對準後,把他插入鏡箱中毛玻片的前面。

因為我們的鏡箱,要完全不漏光,很不容易,所以我們把他包在黑色紙裏面,略如圖六五所示,黑色紙,大概長要35厘米,闊25厘米,黑色紙向前的一側,先開一圓孔,包裹時,便和隔簾孔相一致,這開孔的直徑,不能超過3毫米,當鏡箱攜往戶外時,開孔須始終閉着,待鏡箱放穩,而向實物對準後,把開孔開放1,2秒鐘,鏡箱(包裹好)攜歸暗室後,立即把像洗出。

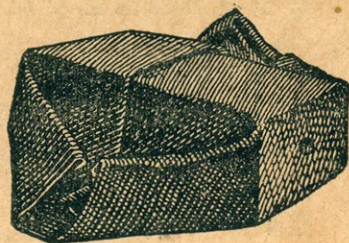


圖 六 五

219. 我們的鏡箱,可說是簡單極了,雖則完全沒有什麼透鏡,而祇用一種針孔來代替,依然可以照出像來,不過這樣取得的像,在對光的毛玻片上看起來,較為暗淡而不甚鮮明。

照 相 器 用 的 透 鏡

可是照相器何以如此昂貴呢?當然,有若干便利的地方,例如可以摺疊起來,縮成很小的容積,可調節的隔簾,瞬間開閉器等,也要與以相當的代價,不過最消費的部分,常是透鏡,因一種單獨的透鏡,有種種缺點,這些缺點,祇有用幾塊仔細計算過的透鏡組合起來的一法,纔能除去,何謂無色行差,何謂無球行差,

何謂無斜行差等，凡願意知道這類問題的人，可以把以下各種實驗，討論透鏡光學上的缺點的，來研究一番。

220. 「色行差」。在實驗 52，光線尚未集成焦點以前，臺板上光錐的周緣，鑲以紅色，這現象大概早已見到。在焦點後面，即光線經過交叉以後，再開始放散的地方，則現出一種青色的鑲邊。焦點，因所有的光線，都集合於此，故呈白色。（實驗 123）。透鏡的作用，類似互以鈍端疊在一起的兩個稜鏡。雙方都令光線向透鏡的軸折轉。因青色光線的折射，尤較紅色光線為強，故其相交點距離透鏡必較近。在青色光線的焦點和紅色光線的焦點中間，有多少毫米？

221. 在這個實驗裏面，後面實驗 225 中說明的那個現象，也是焦點擾亂的一個重要原因；雖然，如果在透鏡前面放一隔簾 B，則並不如此。現在我們顯然可以看出焦點略行延長，先現出青色，後見紅色。

222. 當我們用紙屏 A（或毛玻片 W），接受日光的小像，而把紙屏極微細的往復移動，以便取得最鮮明的像時，並不能像我們所期望的，把像的界限改進，却見到略帶紅色而繞以青邊的一種小圓點，或則位於一紅色小圈內的青色小點。紙屏面最初是在紅色光線的焦點上，後來是在青色光線的焦點上，折射的參差不齊，引起像的界限模糊。這種色行差，不能用隔簾來除去，祇有加入一種精確計算過的凹透鏡，纔能改正。這種透鏡，用火石玻璃製成，比平常冕牌玻璃，具有較高的折射能力。這

第二個透鏡，把青色、綠色等光線，向外折開去，使其焦點恰正和紅色光線的焦點相一致。這一種配合的透鏡，能免除顏色上的缺陷的，稱為消色差透鏡。他們照出的像，較為鮮明，惟價格則較貴。

223. 我們把本書後面圖版上的隔簾剪下，用水略行濡濕後，貼在透鏡L平坦的一面，如用膠水黏貼，透鏡恐怕要損壞。現在日光通過透鏡的邊緣部分，並通過他的中心。我們把透鏡的平面向着日光，照尋常一樣，觀察光線的結集。此時可以看見兩個顯明的焦點。那一個是屬於邊緣光線的？那一個是屬於中心光線的？至於這兩個焦點內有着顏色的缺點（色行差），我們不去管他，透鏡向光源的一面，總是平坦的一面。

224. 先以隔簾B，加入以上的裝置，其後用一小片硬紙，遮在隔簾（貼在透鏡上的）中央的開孔上，用來分別試驗，我們見到邊緣光線的焦點距離，較中央光線者為短。

依照實驗 222 的裝置，不過臺板Q省去，把兩個日光的像（即由於邊緣光線而發生的和由於中央光線而發生的），來分別觀察。像我們所預期的，其位置，前者比後者更接近透鏡。

225. 當我們設法把兩個像同時接受的時候，見到有兩個界限最明晰的區域，和邊緣光線的焦點及中央光線的焦點相應。但不觀察的一部分光線，（即觀察邊緣光線時的中央光線，觀察中央光線時的邊緣光線），其較大而散漫的圓圈，籠罩在明晰的像上，對於其界限，與以極大的損害。這第二個缺點，是

透鏡的球面所引起，謂之「球行差」，但透鏡的形狀如不成球形（例如拋物線形），則此類有害的行差，便不會發生。

226. 我們用透鏡來放射一種光亮物體（例如一白熱電燈）的像而不用隔簾時，要取得一鮮明的像，顯然也是不可能的，散漫光線的有害圓圈，將永遠落在像的上面。

227. 以前透鏡總是以平坦的一面，向發光體的，試翻轉透鏡的位置，把實驗 225 和 226 復習一遍，此時球行差減低不少，像也比以前清楚得多。

228. 透鏡的位置翻轉以後，邊緣光線的焦點距離及中央光線的焦點距離，和以前有何不同？以球行差而論，我們甯取比較有利的位置，又與其用雙凸透鏡，毋甯用平凸透鏡，用一種計算過的凹透鏡加入，則所有的缺點，都能由此改正，這改正球行差的透鏡，就借用除去色行差所需要的那個透鏡。

229. 球行差單是摒除邊緣光線，不使參與造像，也能把他打消，而頗屬有效，其法，即在透鏡前面，安放一隔簾 B，單獨由中央光線發出的像，的確鮮明得多，可惜也暗淡得多，試就一盞燈或一幅風景的像，用隔簾時所放射的和不用隔簾時所放射的，互相比較其鮮明程度，廉價的照相器，類似實驗 70 中所用的，其透鏡必須隔得很小，因此不能用於瞬間照相。

我們在上面研究過的兩種缺點的改正法，就是用一種冕牌玻璃的凸透鏡和一種火石玻璃的凹透鏡配合的方法，造成的透鏡，在望遠鏡和顯微鏡中，十分有效，因為這些器具，其視野

無需廣大，其大小大概和透鏡自身相彷彿。可是在照相器中，被覆在片子上所要的像，大於透鏡幾倍。此時便發生新的擾亂現象。

230. 以前一切光線，都是和透鏡的軸近於平行而通過；但是以傾斜方向通過透鏡的那些光線，就是說達到片子四角的那些光線，也是需要的。這些傾斜光線，是從顯著位於照相器「視線」一側的那些物體發出。要研究這一種傾斜光線的徑路，最好是令遠處的一個發光點（例如街燈）所射來的光線，通過透鏡，而把他的像，映在屏上。其裝置如圖六六和六七所示。透鏡 O 預先裝好在刻度圓板上，用圓板迴轉，能每次轉過 10° 度，由此使光線祇能從傾斜方向通過。令器具全體向一盞街燈對着，把映像用的毛玻片移動而調節，至像確切成爲一點而

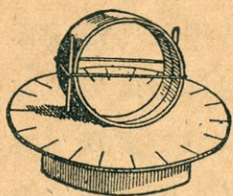


圖 六 六

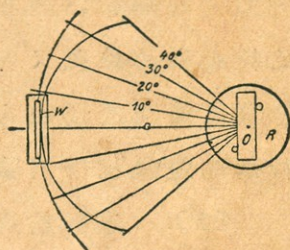


圖 六 七

止。因球行差之故，我們立即用隔簾 E ，把透鏡邊緣的光線隔去。當光線以直角方向（即與透鏡的軸平行）通過時，不難取得鮮明而近似一點的像。但把透鏡迴轉以後，現出的像，不再類似一點。如屏離透鏡過近，像成一水平的短線，如距離稍大，則成一垂直的短線。這二線各以一定的距離，鮮明的現出，但決不形成一點。由此可知位於透鏡軸以外的一種光點，透鏡不能造成近似一點的像。其像常歪曲，即透鏡具有「不能成點」或「斜行

差」的缺點。

231. 物鏡僅由一單獨透鏡組成的一種照相器，毛玻璃上的像，其位於邊緣部的一切點子，所以現出歪曲的形狀，即由於斜行差所致。讀者試就劣等照相（如沿街兜攬的臨時照相），考察這種缺點。

232. 如我們用透鏡 L 來實驗，則必須放入隔簾 B 。此時短線較短而不如以前的明顯。

233. 隔除邊緣光線，歪曲仍不能免。傾斜的中央光線，結果如此不良，則邊緣光線，自然更壞。我們仍用一圓形的紙片，把透鏡的中央部分蓋沒。當透鏡轉向一側時，考察遠處的光點，從邊緣光線產出那一種像來。我們所見的像，並非直線，却是很特異的圖形，其若干種樣子，如圖六八所示。這種由邊

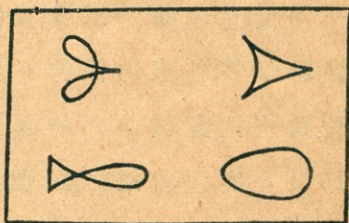


圖 六 八

緣光線的斜射而引起的歪曲，形如彗星尾巴，因謂之「彗尾歪曲」。像當然因此更變為不良。讀者試把這些曲線式的歪曲，畫幾種出來。

234. 彗尾歪曲和斜行差一同作用，使像變壞。試不用隔簾，以透鏡 L 來實驗。

從以前的實驗，我們知道遠處的光點，透鏡在焦點上，即距離透鏡 $8\frac{1}{4}$ 厘米的地方，造成一像。但因片子的四角，其距離透鏡，比片子的中心更遠，即使並無斜行差和彗尾歪曲存在，像在

角上也不會清楚。假使片子是一個半徑 $8\frac{1}{4}$ 厘米的圓球的一部，像纔會全體一樣明晰。因為這樣的片子，不能製造，所以我們必須遵守平坦的一種。這種視野的成爲曲面，或欠缺平坦，是成像不能鮮明的另一原因。

現在光線的斜行所引起的斜行差，即使在理想的曲面式（或球面式）的片子上，仍足以妨礙「近似一點的像」的形成。在片子的前面，他便產生水平的短劃，在片子的後面，便產生垂直的短劃。實際上，我們有着兩個成像的光學面，一個是垂直短劃的，一個是水平短劃的。把這兩種面的位置測畫出來，確是一件很有趣味的工作。我們利用刻度圓板，在一張紙上作放射線若干條，各線均保持 5 度的間隔。我們想像透鏡 O 在中心 O 點，我們把實驗 230 的器具，適當調節，使現出光點的垂直歪曲；每次 5 度，迴轉透鏡，而把屏和透鏡中間的距離，從中心 O 起，記在紙上標明同一度數的那條線上。如斯取得的各點，即成一曲面。水平短劃的面，也加以同樣的測定。斜行差一經改正以後，二面即相合爲一。不過他們的曲面，依然存在。

235. 圖六九示透鏡 O

平坦面之前約 18 毫米處，固定一小圓孔隔簾 B 的情形。其凸面仍對着映像屏。我們令透鏡歸到原位，而面向遠處的一個光點，於是把透鏡連着隔簾迴

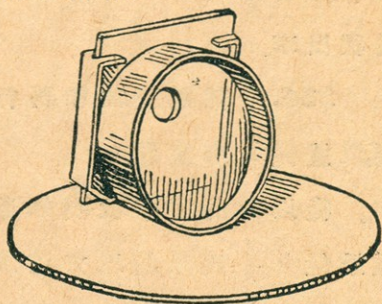
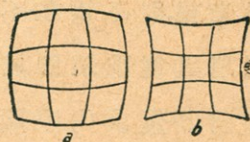


圖 六 九

轉，使我們很驚異，現在取得的像，並非我們所預期的水平短劃和垂直短劃，在所有的位置上，都是確切的一點，斜行差和彗尾歪曲的缺點，因在透鏡前一定的距離上加入一隔簾而除去。這種透鏡和隔簾的特殊結合，稱為無斜行差的結合。同時我們見到映像屏即使在接受傾斜光線的時候，也無需移動調節，即像離開透鏡，各部分都相等，他已位於一正確的球圓面上（參看實驗 234 的結果）。現已查出斜行光線的像，也可以比直行（即直角方向的）光線的像在較遠的距離上取得，祇須用一片別種玻璃所製成的凹透鏡加入，即能達此目的。此時像的面，已由球圓式變成一種平面，如照相片所代表的一樣。

236. 改正斜行差的，祇有一種「前隔簾」。如我們把實驗 235 的裝置倒轉，使隔簾位於透鏡的後面，則點的歪曲，又復顯明。

237. 如我們用曲度強的一種透鏡，對着一光亮的直角面，儘量照取一最大的像時，在造像上又發現另一缺點。我們用透鏡 M（放在他的木框內）來試驗，前面插入一隔簾 B。見窗上的格子，呈向外凸出的形狀，是為鑷形歪曲（圖七〇 a）。



圖七〇

238. 如將隔簾放在透鏡的後面，則格子向內彎曲，即所謂墊子形歪曲（圖七〇 b）。

239. 我們用兩個 L 透鏡代 M 透鏡來觀察這種歪曲，二

透鏡以凸面相向，合在一起，組成焦點距離約 4 厘米的一個雙透鏡。我們先把隔簾 B 放在二透鏡的前面，然後放在他的後面。其結果，歪曲和以前一樣，知道歪曲顯然是隨隔簾的位置而定。我們把隔簾放二透鏡的中間，使其成爲第一透鏡的後隔簾，第二透鏡的前隔簾時，考察其發生何種現象，第一透鏡的歪曲，此時被第二透鏡的歪曲所改正。試實驗之。

因爲在攝取直線時，有着這種錯誤，所以照相器的物鏡，由兩個物鏡合成，並有一內隔簾，這種透鏡，特稱直線透鏡。

綜觀以上各節，透鏡的造像，是不完全的，因爲：

- (1) 色行差 (2) 球行差 (3) 斜行差
(4) 彗尾歪曲 (5) 視野的彎曲不平 (6) 曲線形歪曲

這些缺點中，色行差祇有用一種尋常的凸透鏡和一種火石玻璃製的凹透鏡，加以計算而配合起來的一法，纔能除去。球行差也能藉凹透鏡的一種適宜的曲面，而大部分除去。反是，邊緣光線，則必須在不妨害明亮的範圍內，把他隔去。在雙物鏡中，利用異種玻璃製成的凹透鏡，凸透鏡也能用來產生平面的視野。前隔簾或內隔簾，除去彗尾歪曲和斜行差。曲線形歪曲，雙物鏡可以避免。

在望遠鏡和顯微鏡，第 1, 2 兩缺點改正，即已足夠。在照相器的物鏡，其他缺點，也須除去。所以這一種物鏡，由 4 個到 6 個精密計算的透鏡組成，且這些透鏡，是由不同的玻璃製成，因此所費頗多，例如無斜行差的雙物鏡是。

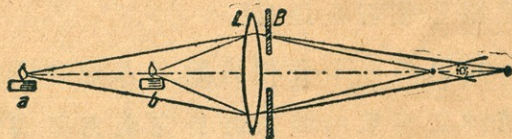
240. 在實驗71和73,近處和遠處的實物,不能同時取得鮮明的像,我們覺得是一種缺點,這是光學定律的一種作用:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

f =焦點距離, b =像的距離, g =實物的距離(參看實驗205)。

241. 在焦點距離 $8\frac{1}{4}$ 厘米的透鏡前面,放兩件實物,其一離開透鏡6米,其他離開1米,則二像的距離發生何種差異?計算的結果,表示相差6.3毫米.當位於 a (圖七一)的一個光點,產生一鮮明的像

時,距離較近的 b 點的像,祇是一個模糊的圓圈;反是 b 點產



圖七一

生鮮明的像時, a 點的像模糊.在 a, b 二像中間,產生模糊的圓面(或圓圈).當我們用隔簾 E 把光闌縮小時,圓暈即減小(如圖中點線所示),直到最後,看起來不再覺得他是一種缺點.近處和遠處的實物,同等鮮明的現出.這種焦點的深度,不是任何透鏡的組合所能求得,而祇有靠着光闌的強度縮小.這在極貴的物鏡中,可以適用.

242. 我們試背着燈光,以一目考察那燈光如何被透鏡的前側所反射.我們看到兩個像,一個是透鏡前側的表面所造成,一個是透鏡後側的表面所造成.如我們把兩個 L 透鏡,前後靠近,放在短箱蓋內,照前法觀察時,看到的像有多少?現出的反

射像，常與透鏡表面的數目相同。

243. 這一種反射，都是表示後來的像，在光線上有着一種損失；尤其是在各種複式物鏡，這種損失，變為很大，所以製作的人，設法把這種損失，儘量的減小，或則把相鄰的表面，接合在一起。這一點使計算和製作的困難，增加不少，自不待言。備有照相器的人，試考驗其物鏡中，存在的表面有多少？

244. 這種考驗，也顯出所有的透鏡，是否確實位於中心。如確實位於中心，則所有燈火的像，都出現於一直線上。在你們的照相器，是否是這樣？

凡做過以上各種實驗的人，都會讚歎那種不屈不撓的研究精神，使重重的困難，終於完全克服；同時對於優良的照相器，價格所以如此昂貴，也可以完全明瞭。

關於視覺的測驗

245. 眼球的水晶體，並未免除色行差。我們把白紙屏 A，放在短箱蓋黑色的內壁上；當我們用一片黑色的隔簾，放在眼睛前面，而徐徐將瞳孔遮去一半時，注視紙屏的左緣。紙屏的邊緣，現出一種色彩的鑲邊。如果把隔簾從他側徐徐移動於眼前時，邊的顏色即變換。

246. 眼的明視範圍，由下法決定。在木箱的一端，用隔簾架 F，插入一黑色紙做的隔簾；隔簾紙上，預先開兩個大的針孔，孔間的水平距離為 2 毫米。另以一針，垂直插入臺板 Q。當針孔

隔簾靠近眼放着時，把臺板連針移近隔簾（8 厘米），而徐徐向後移動。最初見針分成二支，第一次針現出單獨一支的那點，是眼的近焦點（或內焦點）。從這點起，明視（針祇見單獨一支）的範圍，伸張至於無限。近焦點的距離在 15 厘米以下，針再移開去而發生另一複像時（遠焦點或外焦點），便是近視。遠視眼，其近焦點的距離較大。正常的明視距離，是 25 厘米。

247. 如用透鏡 O 放在眼睛前面，使我們自己近視時，便變成和近視的人一樣。在閱讀時，書必須放在那種距離上？實驗 246 的明視測驗，現在重做一次。

248. 把透鏡 L 和 N 合在一起，放在眼睛前面，我們便變成（人爲的）遠視。在這種狀況下，用我們的眼再作同樣的測定。

249. 闊 1 毫米的兩條白線，互相離開 1 毫米，達到那一種距離，眼睛仍能把他們分辨出來？線在白色的底上，須用黑色。

250. 我們的視網膜，在黃點以外，不能傳達明晰的像，但對於光線薄弱的印象，較前者更爲敏感。我們讓眼睛在絕對的黑暗中休息 5 分鐘，然後觀察小的發光點。這發光點，祇須在螢光屏 J 上放一隔簾 E，即得。我們看見些什麼？我們停睛注視在發光點上，比較稍稍偏於一側看起來（即在間接的視野中），其光亮略遜。

251. 關於光的作用，在眼內延續這一點，再來做些實驗。我們採取圖二五的裝置，不用平面鏡。如我們從轉動着的裂隙

中，向一隻不絕往復搖動的手望去，在同一時間內，照着手在連續的各瞬間所佔據的地位，而見到若干隻手。在電影用的一種照相，也和這個相似，每一動作，分成若干瞬間的狀態，把他們分別記錄在敏感的軟片上。

錯 覺

252. 不但互相緊接着的活動的印象是如此，即適當配置的固定不動的圖畫，也能欺騙眼睛，而把實際並不存在的，誤認為實在。圖七二表示這一種錯覺。我們見一瘦長的人和一老人，穿着格子紋的袴子，立在同樣是格子紋的一種背景前面。他們看起來都十分安怡，似乎並未注意到他們的腿，現出膝內翻和弓形彎曲的不雅觀樣子。他們是很對的，因為用支尺來檢驗，證明四條腿都完全挺直而並不彎曲。



圖 七 二

顯微鏡和望遠鏡的倍率

253. 我們像擴大鏡一樣，來測定我們複式顯微鏡的放大能力。我們把一小段直徑 1 毫米的鐵絲，放在顯微鏡下觀察，而以他眼注視尺上。尺則放在顯微鏡前面，離開上緣 25 厘米的地方（用書墊着）。如見放大的鐵絲，遮蓋尺上 30 毫米，則放大

爲30倍。

254. 在望遠鏡中看到的實物，並非正式比他們的原形來得大。他們的像常較小，祇是在較大的視角下，呈現在我們面前。從圖七三A，可以看出同一株樹，距離較遠的，則在一種較小的視角下現出。反是，在一種較大的視角下看到的實物，我們便認他離開我們較近。所以普通的人，以爲望遠鏡把物體移近。

健全的眼，在2米以外，仍能把1毫米闊而離開1毫米的兩條線（在一種白底上），分別出來，如距離增加，則二線泛合爲一。這個和一種最小視角（即弧度的13秒）相當。如果字體出現於弧度5分的角度下，辨認時毫不費事，則可稱爲正常的眼。試把兩眼的視力，分別測驗。

如一種伽利略氏望遠鏡，放大兩倍，就是說如果他把實物向我們移近，僅達原距離之半，則二線在二倍於以前用肉眼觀察時的距離上，當仍舊見其分離。試實驗之。

355. 我們放大8倍的望遠鏡（實驗107），使我們能夠達到何種距離，仍見二線分開？我們見到那極限所在，比我們所預期的八倍的距離爲近。分別的能力，並不和放大能力依同一比率而增加。放大增加上去，不會使我們能夠分辨得更精細。這樣的望遠鏡，將不堪使用。分別能力隨高度擴大而增加，祇有改正透鏡的缺點，纔能辦到（和實驗220連絡）。

256. 圖七三B，說明下列事實。焦點距離25厘米的一種透鏡在屏上所投射的一個像，如在25厘米的正常距離上觀察，

則有如眼睛放在透鏡地位所直接看到的一樣，恰正出現於同

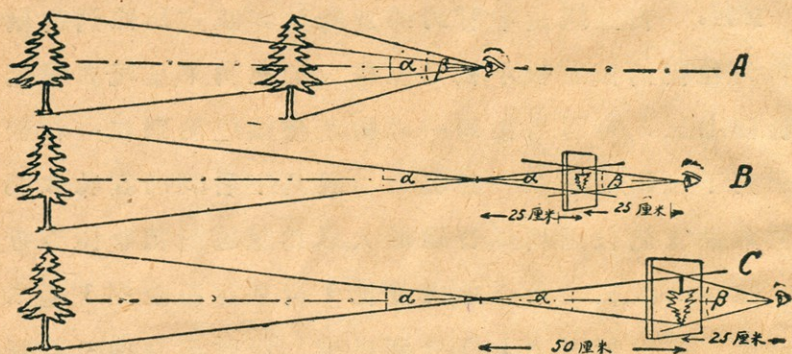


圖 七 三

一視角之下。在圖七三 C，像由焦點距離 50 厘米的一種透鏡所造成。再從 25 厘米的正常距離望去，此時像約在二倍的視角下現出。所以物鏡所造成的像，其放大的倍數，等於 25 厘米除焦點距離所得的商數。

$$\text{物鏡放大的倍數} = \frac{\text{焦點距離}}{25 \text{ 厘米}}$$

我們的物鏡 O，放大的倍數是多少（焦點距離 = 33 厘米）？

$$E = \frac{33}{25} = 1\frac{1}{4} \text{ 倍}$$

如我們的眼，放在屏後距離 25 厘米的地方，透鏡 O 把遠處的一座房屋，造像在屏上，果然我們見那像現出的大小，比較以他眼直接所看到的同一房屋，要大出 $\frac{1}{4}$ 倍。

257. 在望遠鏡，屏上的像，用一擴大鏡（即目鏡）再行放大。擴大鏡放大的倍數，是（實驗 211）：

$$e = \frac{25 \text{ 厘米}}{\text{焦點距離}}$$

把物鏡的放大和目鏡的放大合併起來，即得放大的總倍數。

$$M = E \times e = \frac{F}{25} \times \frac{25}{f} = \frac{F}{f} = \frac{\text{物鏡的焦點距離}}{\text{目鏡的焦點距離}}$$

試決定我們的望遠鏡放大的倍數。

258. 以透鏡 L 作物鏡，及一相似的透鏡 L 作目鏡，像這樣的一種望遠鏡，其放大能力是多少？

$$M = \frac{8.5}{8.5} = 1$$

如我們在長箱蓋內，裝成這樣的一種望遠鏡，我們果然在管中見到那個像，恰正和直接所看到的一樣大小。

259. 以透鏡 M 作物鏡，及透鏡 O 作目鏡的一種望遠鏡，反而會縮小，因為：

$$M = \frac{3.3}{33} = 0.1 = \frac{1}{10}$$

這個祇須把望遠鏡的方向倒轉望去（即從物鏡中望去），即易證明。

260. 望遠鏡因供測量上應用，筒內備有十字線。這十字要恰正裝在物鏡造像（浮在空氣中）的地方，即以前安放屏的所在。否則十字線的交叉點，便不會始終恰正蓋在像的同一點上。十字線的地位不加校整時，因觀察的人，並不每次都恰正從目鏡的中心望去，像上交點的地位，便會變更。而這現象，雖望遠鏡安放得很穩定，仍會發生這種十字線的變位，謂之「視差」，在測量器具上，須校整十字線支架的地位，以除去之。用一細線，適宜的繞在隔簾 E 上，以製成一十字線；我們把他插入我們的

望遠鏡中,而不令其發生絲毫視差。

光 和 色

261. 從稜鏡發出的有色光線,可以用實驗 123 所說的方法,使他們再同時作用於我們視網膜的同一場所,而因此產生白色的印象。我們能用種種方法,把兩種顏色光線混合起來。

在圖七四,先把紅玻璃和綠玻璃,在兩個透鏡夾 H 中,以側邊相向,疊在一起,把他們放在木箱 K_1 (用 K_2 和 K_3 蓋好) 內,離前端 30 厘米的地方。木箱最後

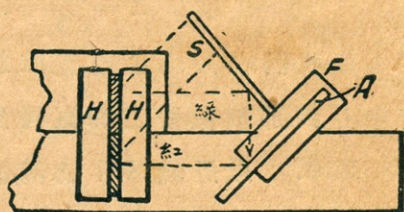


圖 七 四

的四分之一 (仍開放着) 內,把紙屏 A 插入;紙屏先令其直立,如我們把以上的管子,向日光對着,屏的下半即現紅色,上半則現綠色。現在我們把紙屏 A 傾斜 45° (參看圖七四),而以直角方向,放一平面鏡 S 於其上。紙屏的表面,此時因紅色和綠色變成重疊的緣故,便現出白色。兩種顏色,混合而生白色的,都稱為互補色。

262. 赫爾姆霍斯氏 (Helmholtz) 利用圖七五的裝置,使二色趨於合一。綠色從玻片中可以窺見,紅色則在玻片中反射出來。

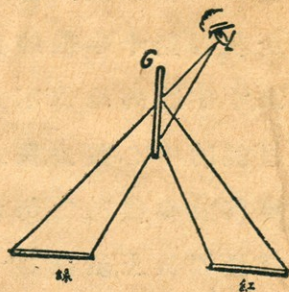


圖 七 五

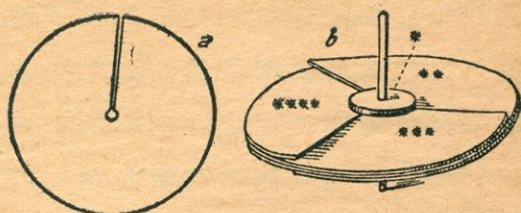
263. 光的印象,在我們眼內能

延續若干時；因這種事實，我們設法令各種顏色，先後緊接着呈現到眼內，即能使其同時作用於視網膜上。取一木針，從刻度圓板中心的小孔中，緊緊插入，如斯即變成一陀螺。我們把圓形的色紙，沿一條半徑剪開

(圖七六 a)，用一張紅的和一張青的，如圖七六 b 所示，拼在一起。

由紙片的迴轉，能配成全圓的 $\frac{1}{3}$ 是青色， $\frac{2}{3}$ 是

紅色。這重疊起來的紙片，把他放在陀螺的圓板上，並用一片小的黑色紙板（直徑 1 厘米）固定。我們把陀螺旋轉時，二色即合併而成一種混合色。



* 紙板 ** 青 *** 紅 **** 綠

圖七六

264. 用黃色和青色，作同樣的實驗。

265. 二色的比例變更時，觀察顏色發生何種變化。

266. 加入白色或黑色後，有何影響？（用適宜的紙，照色紙式樣，剪成圓形）。

267. 如旋轉十分迅速，紅色和綠色產生的顏色，近於白色（當然是一種灰白色），像這樣的兩種顏色，都稱為互補色。

268. 如用紅、黃、綠、青等色混合，則實驗的結果，更為圓滿。

269. 我們在實驗 129，通過紅、綠二玻璃觀察時，看到一種黑色；現在我們用同樣的紅、綠二色混合，却產生一種白色。因為在前者，我們把光線陸續濾去（減），現在我們却把光線在

視網膜上合併起來（加），所以結果各異。

無論何時，白色光線中每分去一種顏色，即現出相應的互補色。我們把隔簾 E 放在一白紙上，在白色圓面的中央，作一小點鉛筆記號，眼絕不移動，把這點子注視 10 秒鐘。於是我們把隔簾迅速移去，而眼則依然注定在鉛筆記號上。在一、二秒鐘後，即有一黑色的圓面，顯現在明亮的視野裏面。

270. 如我們把隔簾放在紅色紙上，注視紅色的圓面，而驟然用一白紙，覆蓋全面時，即見一綠色的圓面。

試用別種色紙，作同樣的實驗。這現象是由於眼的疲勞而起。視神經的末梢，暴露在紅色光線下，經過較長的時間，而發生疲勞，對於白色光線中所含的紅色光線，不再感知其印象；發生作用的，祇有紅色光線以外，其他合起來的光線，所以看到的，是其互補色。

271. 我們知道紅玻璃祇許紅色光線通過，其餘一切光線，則全被吸收。綠玻璃的作用也相似。我們把紅玻璃和綠玻璃，並排在黑色隔簾 B 上，誰是紅玻璃，誰是綠玻璃，很難辨別，對於任何光線，都絕不反射。

這樣的一種物體，或者也是可能的，就是入射光的一部分，許其通過，另一部分吸收，其餘則反射。我們令一滴紅墨水，在玻片上乾燥，這點子在透射光裏面看起來，呈紅色，在反光中則現出帶綠的色澤。

272. 有許多物體，即使祇用毫不含紅色的青色光線來

照射,也現出綠色或紅色的光輝來;因此認為這類物體,其電子受青色光線的激動後,他們自己能產生獨立的振動,而發出他們特有的光來。

我們的發光屏 J 上塗着的物質,便是屬於這類的物體,如果把他暴露在日光中,在暗處他仍能發出光來,歷數小時之久,這種性質稱為螢光性,試實驗之。

273. 這種繼續放光的激發作用,以青色和紫色的光線為尤著,而所謂紫外線者,則更見強力;因此在陰天,發光屏用燃燒的鎂帶照射,能十分良好而強力的把他激動着。

274. 發光屏用隔簾 D 蓋好後,暴露於光線下。

275. 試照上法,就發光屏直接暴露的部分和經過透明玻片而照着的部分,比較其發光的持續性。

276. 用一種紅玻璃和一種綠玻璃,作同樣的實驗,經過綠玻璃而暴露後,具有若干發光性,經過紅玻璃的,則缺如,紅玻璃把一切有效的光線,悉數吸收。

277. 經過一種青玻璃而暴露時,發光性極強,因為青色和紫色的光線,最為有效。

偏光干涉和繞射

在以上的標題下,將規定幾個實驗;這些實驗,在他們自身,固然很富於趣味,在科學上也極其重要,但其說明,因限於本書的篇幅及實驗者的程度,祇得從略。

278. 一種光線,以 55° 的一種角度,被鏡子反射出來時,獲得非常特異的性質;不過這種鏡子,其反射面並非用金屬塗成,却是在玻璃片之類的背面,薰以煤煙而製成的.如以同一角度,斜立玻片若干,光線從其中通過後,也發生同樣的結果.這一種光線,因其價值四面不再相等,所以稱為偏光.要產生偏光,我們利用以前實驗顯微鏡所用的裝置,把透鏡省去,如圖七七的樣子. G_1 是已在燭焰上仔細薰黑的玻片.薰煤煙的方法,更簡易的,是在洋鐵罐蓋內,放些松精油燃燒着,或則用一小塊燃燒着的樟腦亦可.傾斜的角度(35°),用刻度圓板精確校整.在管子的上端,預先把圓木塊 T,用一透鏡夾固定好.全體用書本之類墊高 10 厘米,把石蠟油燈 Z 移近,至火焰的反射像,從圓木塊 T 的開孔內,在鏡子 G_1 中望見為止.現在另用一片薰着煤煙的玻璃 G,裝在 T 上,把支持的小木針(火柴)減短,使玻片和垂直線,恰成 35° 的傾斜.如鏡子照圖中的位置放着,則在箭頭標明的方向,望見燈火的

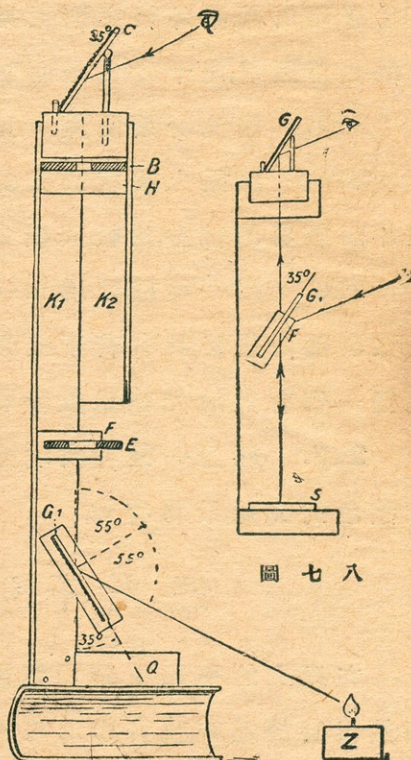


圖 七 八

圖 七 七

像。現在我們把圓木塊轉過 90° ，再看鏡中燈火的像，已變成極暗，而難以辨認。再轉過 90° ，使鏡子的位置，恰正和原來的相反，因此我們必須從管子的背後望去。此時燈火的像，又變為明亮。在G的兩個相反的位置上，有亮光，在中間的兩個相反的位置上，則黑暗。光線經過這樣的反射，其性質已經改變，以至其間能分出左右及前後來，即已成為一種偏光。

279. 我們可以把上方的鏡子G省去，而用10至20片顯微鏡標本的蓋玻片（充分潔淨的）來代替。把這些玻片，和垂直線成 35° 的傾斜，而放入圓木塊T中央的開孔內。我們從垂直方向望進去，見到幾乎一樣的現象。他們有何不同？

280. 圖七八示裝置稍異的一種偏光器。此時，下方的玻片 G_1 ，依然透明。鏡S，以同一方向，向上投射偏光（來自 G_1 ）。此時光線通過 G_1 ，而和以前一樣，在上方活動的玻片G中，可以望見。

281. 做以下的實驗，要用到底面平的一種容器。最好是用一片窗玻璃（至少1厘米見方），膠合在一個玻管上來做成；玻管的長短，以20至30厘米為度。反光片G應位於光亮最微細的地位。現在我們在玻管中盛水，把他放進偏光的徑路中。偏光從其中通過，無論如何，不受影響。

但我們在管內盛入50%的砂糖溶液時，情形就各異。我們見光亮增加起來，要變為黑暗，上方的鏡子須轉過多少度數？我們把刻度圓板放在圓木塊T和鏡子G中間。當偏光從一種砂糖溶液中經過時，便自行旋轉。這轉過的角度，隨溶液的濃度而

有大小。我們按照轉過的度數，可以推定溶液內的砂糖含量。檢糖計便是根據這原理來做的。

282. 我們取幾片雲母的薄片，放在圖七七E處的平臺上。小的雲母片，可向電料店內購得。他們本來是無色透明的，現在却隨其厚薄，而現出黃色、紅色或青色。當我們把上方的鏡子迴轉時，顏色便漸漸相混而消失。

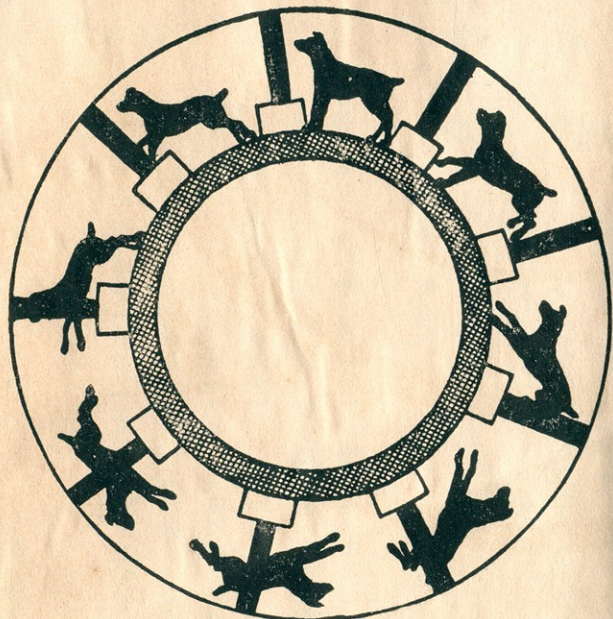
283. 如雲母片的厚薄不一，或則令幾片一部分互相搭接時，我們便同時看到各種顏色；把上方的鏡子迴轉時，顏色即變更，而有一種很是悅目的光譜，呈現出來。

284. 偏光現象，尤其是繞射和干涉那些現象，對於光的本性方面的智識（如本書導言中所述者），具有極重要的意義。因此我們就繞射和干涉，各述一實驗於下。實驗繞射時，先照下法，製一狹縫，即在玻片G上，貼一錫紙，並用小刀劃一垂直的短小切口於其上。在長管 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 前端，插入一隔簾C，他端則插入具有細縫的玻片，把管子對向一明亮的光源（如電燈火）。除了細縫固有的像（形狀顯著加闊）以外，我們在兩側還見到若干其他的像，這些像，內側緣鑲着青色的邊，外側緣鑲着紅色的邊。這種違背光直線傳播的現象，稱為光的繞射。

285. 如我們把透鏡O，輕壓在玻片G（要充分潔淨）上，在反射光裏面，觀察透鏡停止的所在，見到同心的有色圓環若干。這種色環，便是由於干涉而起。黑暗的接觸點，用一擴大鏡分離，成為這樣的圓環若干。這一種現象，稱為牛頓環。（完）

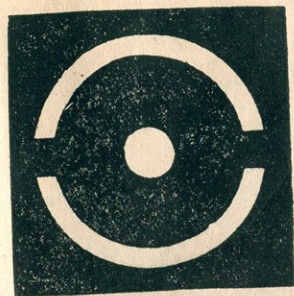


實驗 146 (圖四五)



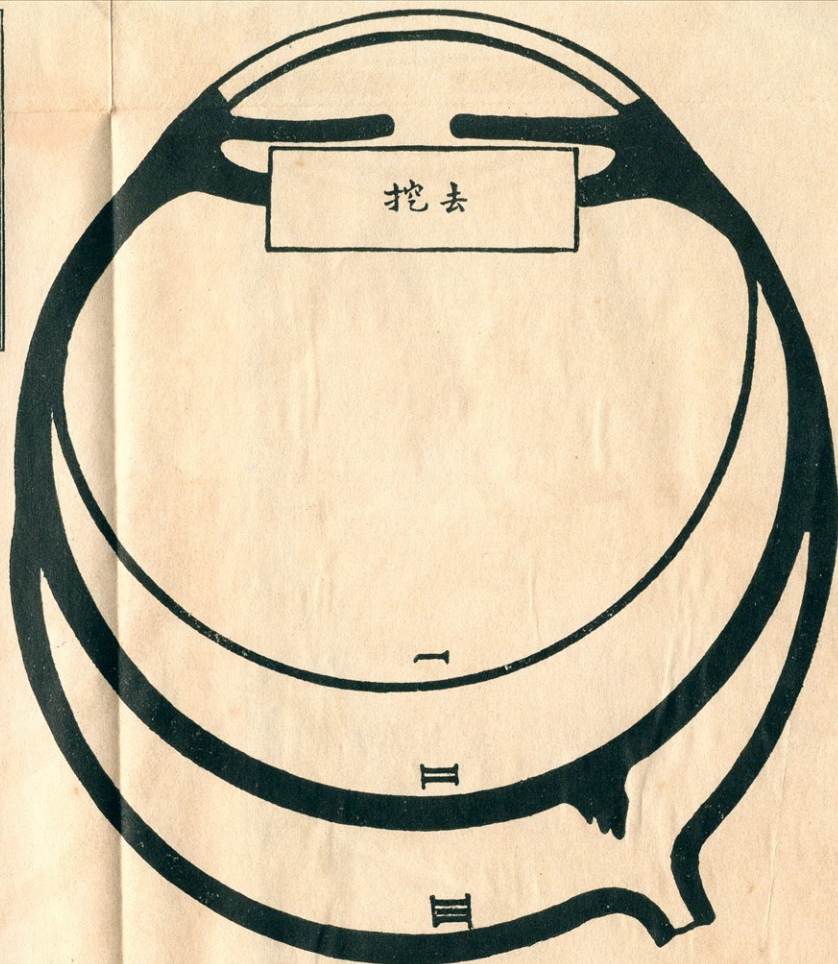
實驗 88

(粗黑線齊邊剪去)

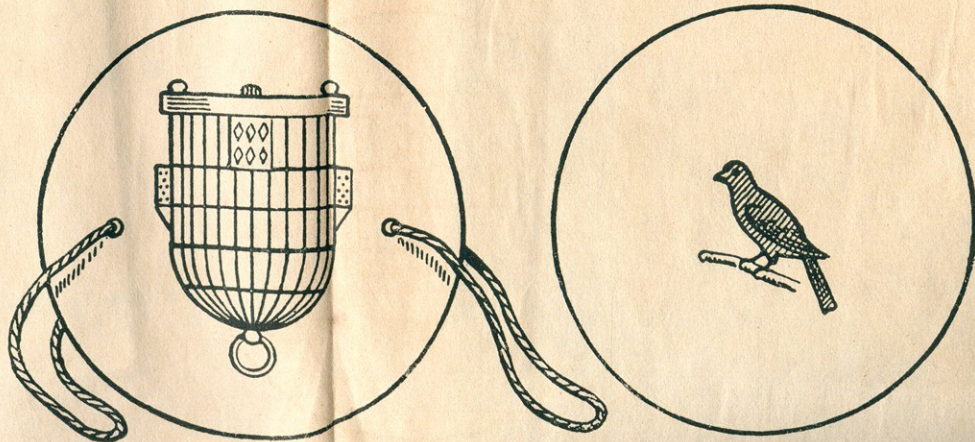


實驗 223

(白色部分挖去)



實驗 74



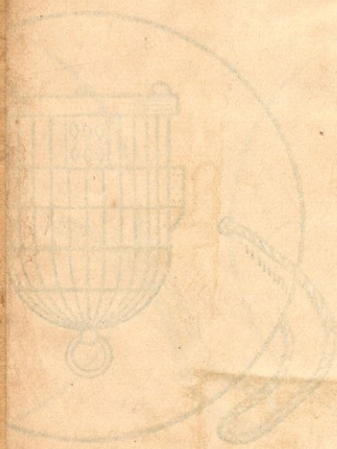
實驗 87



(Faint illegible characters)



(Faint illegible characters)



· 一之書叢科百華中 ·

物理學綱要

角七各册二 編泉潤陳

物理學 學生實 驗教程

角三 編霞建朱

本書係根據教育部頒行之初級中學物理學設備標準所列甲、乙、丙三種重要實驗編輯而成，供初中學生物理實驗之用。每一實驗，分目的、用品、方法三項，用品一項概以教育部規定之儀器及材料項下開列之用品為標準；所述方法，簡捷正確。書中插圖均照實物描寫而成，俾使用者可一望而知，毫無模糊扞格之弊。

本書為適應一般中學生自修物理學而編輯，取材力求新穎，敘述不憚詳盡，初中學生讀此，既不感深奧；而高中學生讀此，亦無膚淺乏味之弊。內容計分四篇：第一篇論物性和力學，第二篇論熱學，第三篇論音學和光學，第四篇論電磁學。舉凡關於原理、定律、和簡單計算法，特別詳細闡述，務使讀者獲得舉一反三之益，而能於舊的觀念更加正確，新的觀念不致陷入空虛，為研究物理學者之基本讀物。

中華書局發行

期限卡

Date Due

69. 4. =5

陳澗泉編

七角

車文作集

要

〔中華百科叢書之一〕

費鴻年編

三角五分

國立政治大學圖書館

作補；識一閱同位，字，與人界，歷史

中華書局出版

理化普及儀器實驗法

(第一冊)

著者 Author 汪長之 書碼 535·14
Call No. 131

書名 Title 理化普及儀器實驗法

登錄號碼 Accession No. 214928

月日 Date	借閱者 Borrower's Name	月日 Date	借閱者 Borrower's Name
3 22	不獲明長		
	福		

計畫

製作

發

之

製造廠

二一號

公司

國立政治大學圖書館

書碼 535·14
131

登錄號碼 214928

華書局

華書局

標商冊註



