大學叢書

高等物理學

下册

衞斯特發爾著
周君適　姚啓鈞譯

商務印書館發行

大學叢書

高等物理學

下册

衛斯特發爾著
周君適 姚啓鈞譯

商務印書館發行

一九三八年五月初版
一九五〇年二月六版

(50824平)

大學叢書(教本) 高等物理學 三冊

Physik

平裝 每部基價陸拾元
印刷地點外另加運費

原著者 W. H. Westphal

譯述者 周君適 姚啓鈞

發行人 陳懋解 上海河南中路

印刷所 商務印書館印刷廠

發行所 商務印書館 各地

第七編　光學及廣義輻射學

第二十九章　幾何光學

396. 輻射學之內容. 光源. 狹義輻射學亦稱光學,其內容爲關於光現象之研究,即物理現象之能引起吾人之視覺者. 但此外尙有同類之現象,不能爲人目所察見. 光學在輻射學中所處之地位猶如聲學之於機械振動學. 在廣義輻射學中,光學僅爲由於人類生理所限制之一小部份. 全部輻射學中之一切定律與觀念皆爲普遍的合理,故以下所述者,先僅及於能爲吾人直接目視之狹義光學. 以下所謂光者,即指人目直接察見之輻射而言,即尋常語言中所謂光者是也.

各種光線之來源皆爲發光之物體. 但其何以發光之原因則大有不同. 大多數之情形皆由於物體之溫度. 固體與液體約至 525°C. 時始發可見之光(Draper 氏定律). 此時開始所發之光,極微弱萬分,僅能於完全黑暗之處察見之,且僅能爲目中不司辨色之器官(桿狀纖維, § 430)所辨認;故光作灰白色,而吾人稱此項現象爲灰白熾. 溫度漸高,則物體先作紅熾,次作黃熾,而終爲白熾. 此外尙有其他原因,可

使物體發光,如氣體中之放電,螢光,燐光以及化學作用等.有多種之動物亦能發光(如螢以及海中發光之微生物等).此數種之發光現象並非由於光源之高溫度,而另有其他之原因.但不論任何光源所發之光,其物理性質均屬相同,且均遵守公共之定律.故欲研究其普遍定律時,任何光源凡足以供吾人之需用者,均無不可.最為便利之光源當推熾熱之物體(電燈,弧光燈,煤氣燈,油燭).

物體之本身非為光源(不發光體)者,遇有其他發光體之光投射其上時,至少有一部分之光為其所折回,故亦可視作光線之出發點.於是該物體亦如自行發光者然.此種借光輻射之光源,周圍於吾人者觸目皆是.為太陽所照耀之自然界,室內之牆壁與家具,天上之月與行星,凡此種種吾人所見之物體,蓋無一能本身發光者也.

不論由發光體或不發光體所發之光,祇須其種類相同者,其物理作用初無區別.

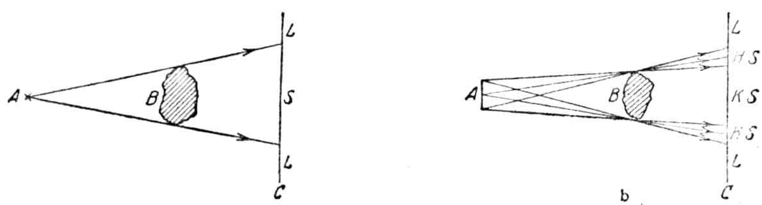
397. 光線.自光源發出之光能達至其他之物體及吾人之目,故光必在空間中傳遞.按諸經驗,此種空間中似可不必充滿物質.由恆星發來之光在虛無一物之太空中經過非常遙遠之距離而達於吾人也,其傳播無需乎物質之存在,自無疑義.事實上光之傳播在絕對眞空中為最佳,蓋其速度為最速,且能量可免損失也.

光自一物體射至他物體,其在路程之上,吾人不能見光.

僅當光線射至物體而該物體因之明亮時,吾人方覺光之存在. 故在光所穿過之空間中苟充滿塵霧者,吾人可察見其軌道. 精密言之,吾人所見者尙非爲各條光線之軌道,而不過爲此種軌道之終點而已. 當光線遇有障礙物(塵霧微粒)時,即行停止前進. 此一列之小點者,乃爲一未受擾亂之光線所經軌道之圖形. 光線若穿過一狹小之孔而透入一暗室之中,則室內空氣中之塵埃凡在光線所經過之路程上者皆被照耀明亮,故吾人可見其路線. 此項現象與自小孔中噴出之水流射線略有相似,故吾人以光線名之. 光線者係指一極細之光束而言. 理論上此種光束可視爲非常細小,直可以一線表之.

398. 直線傳播. 未受擾亂之光線軌道皆爲直線. 當其與物質性物體發生交互作用時,其前進方向始背此而偏轉(參閱 § 541).

此項事實最明晰之作用莫過於不透明物體之影. 命 A(第 352 圖 a)爲一理想的點狀光源,B 爲一置於光路上之物體,C 爲接收光線之平面(光屏),例如一白色之牆. 按光



第 352 圖　a.點狀光源之影.　b.本影(KS)與半影(HS).

之直線傳播原理而作圖,可知光屏上僅 L 處有光照射,S 處則無光. 物體之影,即以此而生.

一切自然之光源皆佔有若干體積,決不能精密作點狀,惟弧光燈之用極細之炭棒者或庶幾近之. 光源之發光面恆可視作由許多發光點(精密言之,為許多極小之基元發光面)聚合而成,其在光屏上之光的作用可視作各點之作用之和. 因得下述之結論. 射影之物體(第352圖 b)僅能將其後面牆上 KS 一部份完全屏蔽,不使受光,由此引至光源面上任何一點之直線,無不穿過此物體之內部. 此部份稱為本影. 本影之內完全黑暗. 光屏上其外明亮之部份 L 於物體之存在與否無關. 此明亮之部份中任何一點均可與光源面上之各點以直線相連而無一通過物體之內部. 介乎此二區域之間者為 HS 區,稱為半影,此部份中任何一點僅可與光源面上一部份之點以直線按上法相連,與其他部份之點則不能. 光屏上此部份區域內確有光線到達,惟僅由於光源之一部份,愈接近本影之邊界者受光愈少. 吾人設置身於此半影區域之中,而自其各處遙望光源,則能見之光源部份愈小者,該處所受之光愈少. 自本影至半影,自半影至完全明亮之區域,其間明暗之變化初非突然;半影者僅為承前接後,自完全黑暗逐漸變為完全明亮而已. 故影無鋒銳之邊線. 半影之闊狹繫乎發光面之大小,以及光源,射影體,光屏三者間距離之比. 射影體之截面小於光源之面

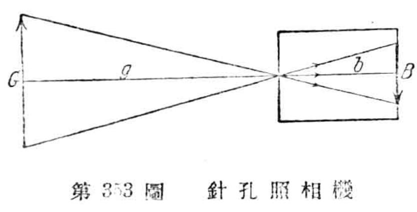
積者,在距物體較遠之處每無本影而僅有半影.

日蝕者,月球適運行至太陽與地球之間,月球之影落於地面而成. 月球之本影遠較地球之表面爲小. 故日之全蝕,祇僅限於地面上一小區域內方能見之.

月蝕者,地球運行至太陽與月球之間,地球之影落於月面而成,其影之大小適偶與月面之大小相等. 月蝕時,地球上各處自能同時望見. 其他行星之月球亦有與此相應之月蝕.

雙星者,係一雙互相密邇之恆星,彼此旋繞而成. 吾人輒見某種雙星之亮度有週期的變化,此蓋因時而甲星行至地球與乙星之間,時而乙星行至地球與甲星之間,每隔勻均之時間,彼此更迭不已,以致一星將他星之光遮蔽所致.

針孔照相機(第 353 圖)爲一不透光之匣,其前壁具有一細小之針孔,後壁置一毛玻璃片,如一照相機然. 針孔之



第 353 圖　針孔照相機

前爲光亮之物體 G. 此物體可不必爲發光體. 毛玻璃片上各點所受之光僅係自光源上之一點或一極小區域穿過針孔而來. 片爲此光所照後,卽按光源各點之明暗與色澤而顯一清晰之圖形. 故光源 G (物體)在片上卽生一像 B,人

若自後方觀之,見像與實物適相倒立,且左右互易,如第 353 圖所示. 命 g 爲明亮之物體與針孔間之距離,b 爲後壁至針孔間之距離,G 爲實物之單向大小,B 爲像之大小,則

$$B:G=b:g \tag{1}$$

B/G 之比稱爲放大率;其值可較大於 1,亦可較小於 1,惟較小於 1 時則不爲放大而爲縮小.

若針孔十分細小,則像之清晰與否可無關乎 g 之距離. 毛玻璃片若易以照相片,則用此種針孔照相機亦可攝取景物. 惟此時所需露光之時間當較尋常之照相機爲久.

祇須針孔較小於實物之組織,則像之清晰雖僅於孔之大小是視,但孔之形狀對於像之優劣毫無關係.

近視之人,自一穿有細孔之紙遙望遠物,雖無眼鏡,亦覺清晰. 蓋此時與上述針孔照相機之作用相同,眼球之水晶體對於其後面之網膜上所成之像無復有重要之作用矣.

399. 光之速度. 據尋常之觀察,一似由光源所發之光可立卽傳至觀察處而無需時間者. 事實上則不然;惟光之傳播非常迅捷,對於吾人在地面上日常生活中所涉及之距離,僅需一非常短促之時間. 眞空中光之速度爲 $3\cdot10^{10}$[厘米]/[秒]=300000 [仟米]/[秒](參閱 §327). 故光於 1 秒鐘內前進之距離,可等於地球周緣之七倍有半.

光自太陽射至地球需時 500 秒,自月球而來者約需時 1 秒許,自與太陽系相距最近之半人馬座 α 星(卽天狼星)

而來者需時 4,3 年. 有星雲者,距地球非常遙遠,其發出之光須經數百萬年而始達地球.

在一切物質性物體(玻璃,水等物)中之光速皆較真空中者爲小(參閱 § 409)

測量光速最重要之方法有如下述:

1. Olaf Römer 氏法(1676).

Römer 氏利用木星之一個月球每隔均勻時間繞木星一次出現之月蝕以計算光之速度. 欲明瞭此法,吾人可設想在空間內有一固定之光源 A (第 354 圖)及一以速度 v 離開光源而運動之觀察者. 設光源上有一種裝置,每隔相等時間後可將光源遮蔽,不使觀察者望見(月蝕). 命每二次此種光蝕相隔之時間爲 T. 若觀察者靜止不動 $(v=0)$,則

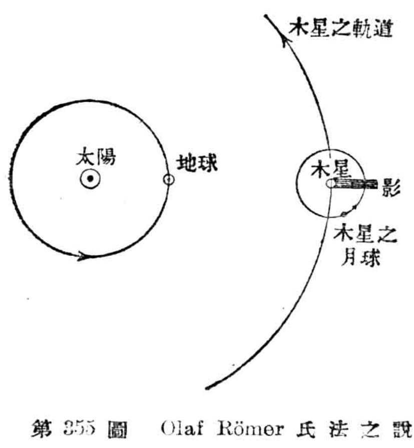
第 354 圖 Olaf Römer 氏法之說明

每隔相等之時間 T,觀察者即望見光蝕一次,惟每次所見者均在蝕後 x/c 之時間,蓋此爲光線行經光源與觀察者間之距離 x 所需之時間也. 若觀察者以 v 速度背光源而運動,則其所見二次光蝕相隔之時間當較長. 命在 $t=0$ 時,有一次光蝕發生. 此項現象傳至觀察者時,觀察者已行至與光源相距 x_1 之處,故於 $t_1=x_1/c$ 時方得見之. 當 $t=T$ 時,第二次光蝕發生. 迨傳至觀察者,則觀察者已行至更遠之距

離 x_2 處,故於 $t_2 = T + x_2/c$ 時,觀察者方見第二次光蝕. 是則觀察者所見第一次與第二次光蝕相隔之時間爲 $t_2 - t_1 = T' = T + (x_2 - x_1)/c$ 觀察者本身在此 T' 之時間內所行之路程爲 $x_2 - x_1 = v(t_2 - t_1) = vT'$ 於是

$$T' = T + v/c \cdot T' \text{ 或 } c = v\frac{T}{T'-T}.$$

若觀察者向光源運動,則按同理可得 $T' = T - v/c \cdot T'$ 觀察者運動時,若與光源射來光線之方向成任何之角度,則結果又不相同



第 355 圖　Olaf Römer 氏法之說明

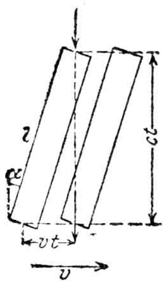
地球之繞日也,在長久之時期內將以一切可能之方向對木星而運動(第 355 圖),故在地球上所見木星之月球每二次月蝕相隔之時間,當視地球與木星之相對運動而變. 基於此項觀察及地球公轉之速度 v,即可計算光速 c 之值. (上述之現象與 Doppler 氏效應〔§ 129〕僅在形式上相似).

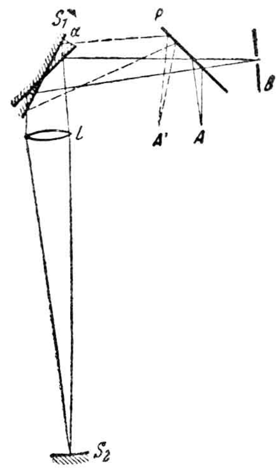
2. Bradley 氏法(1727).

欲明瞭 Bradley 氏法,吾人可設想一問題,卽若何可使鉛直下降之雨滴穿過一僅於上下兩端開有小孔之圓管(第 356 圖). 若管爲靜止,則須將管身持直,方可使雨滴落入,自無疑義. 但若管在水平方向內以速度 v 而運動,則決不可仍將其持直. 命管長爲 l, 雨滴下落之速度爲 c, 則雨滴穿過直立之管需時 $t=l/c$. 在此時間之內,管已水平移過 $x=vt$ 之距離. 故雨滴將不能自管之下端而出. 欲達此目的,須使管身與雨滴下落之方向成一傾斜之角度 α, 自第 356 圖,不難察見應有 $tg\alpha=v/c$ 之關係. 自觀察所得之 α 角及速度 v, 卽可計算雨滴下落之速度.

在 Bradley 氏法中,雨滴應易以自任一恆星射來之光線,而開有小孔之圓管則易以望遠鏡(吾人可用與前述理想的雨滴實驗原理完全相同之裝置). 此時 v 爲地球沿軌道前進之速度. 上述之思索仍屬無異. 故欲使恆星之光線沿望遠鏡軸而進入視場之中心,須將望遠鏡按地球之運動方向向前傾側一某角度. 換言之,將見光線似從另一方向而來,與事實上之方向不同,卽恆星之位置似移動少許. 一年之中,在天球兩極附近之恆星似繞行一小圓周,其半徑之視角爲 $\alpha=20,6''$, 在黃道上諸星似在直線上前後移動,而其間諸星則似繞行小橢圓之周緣,其長軸與 α 角相等. 此項現象吾人稱爲光行差. 自 α 及地球速度 $v=30$[仟米]/[秒]

二者之值可計算光之速度等於300000 [仟米]/[秒].





第356圖 Bradley 氏法之說明　　第357圖 Foucault 氏法之略圖

較此天文法更爲精確者,有所謂地面法,即可在地面上實測者. 諸法中以 Foucault 氏法爲最重要.

3. Foucault 氏法.

此法之原理可述之如下(第 357 圖):一束光線自光闌 B 透入,經過一平行面之玻璃板 P 而達於一平面鏡 S_1,此鏡可繞一與圖面垂直之軸而迅速轉動. 光線即自此反射,經過透鏡 L 而會聚於凹鏡 S_2,務使光闌 B 之像適現於該處. 至此光線復爲凹鏡所反射,仍依原路回至平面鏡 S_1,自此再度反射. 此項反射光線到達玻璃板 P 時,一部份又爲此玻璃板所反射;若 S_1 鏡並不轉動,則光闌 B 之像將於 A 點出現. 但若 S_1 轉動,則光線自 S_2 反射而回時,不再遇平面鏡

於其舊位,故自此以後,光線不循舊路進行,而另取一新路,二者間有一不大之交角. 因之此時光闌之像視平面鏡靜止時已移過一短距離 $\delta = AA'$, 而出現於 A' 點(第 357 圖中所示之比例,爲易於明瞭計已過份放大). 欲精密測量此項位移之值,可於光闌 B 中置一玻璃片,上刻極精細等距離之條紋,則其像中位置之遷移可十分精確測定之.

命 α 爲光線進行 $S_1S_2S_1 = 2l$ 時 S_1 鏡所轉過之角度. 於是自 S_1 反射至 P 之一束光線所取之軌道與來時之軌道成 2α 之交角(§ 405). 命曲折光程 S_1PA' 之長爲 r, 則位移 $AA',= \delta = 2\alpha r$. 命 S_1 之角速度爲 $\omega = 2\pi\nu$. 光線進行 $S_1 S_2 S_1 = 2l$ 之路程所需之時間爲 $t = 2l/c$. 在此時間內 S_1 轉過之角度 $\alpha = \omega t = 2\pi\nu t = 4\pi\nu l/c$. 故 $\delta = 8\pi\nu r l/c$, 或 $c = 8\pi\nu r l/\delta$.

Foucault 氏僅用 l 爲 20 [米] 之距離已足測出光之速度. 欲作精密之測量時,自須用更長之距離 l, 俾位移 δ 之值大增,而測量益可精密. 最近 Michelson 氏所作光速測定中之距離竟逾 35 [仟米]. 此項距離可精確量至 5 [厘米]. 八次不同之測量所得眞空中光速之值皆不出 299795 與 299797 [仟米]/[秒]之間. 其平均値爲

$$c = 299796 \pm 4 \text{ [仟米]/[秒]}$$

此項測量之精密度約達 0,001%. 關於光速在電學中之測量法,見 §315.

Michelson 氏之測量自在空氣中舉行,上謂眞空中者,係

將此項結果加以修正而得(§ 409).

Foucault 氏法雖以短距離而能得相當精密之結果,故吾人可用以測量液體等物質中之光速. 此時光程 $S_1 S_2 S_1$ 之一部份穿過欲測之物質. 最重要者,以此法測量光在運動物質,如流動之液體中之速度(§ 536).

400. 光通量,光源強度,照度,表面亮度. 任何光源皆連續發射光能量(輻射能量)於空中. 光爲能量,故吾人稱爲光量(與熱量之意義同)者,係指一光源在某時間內所發出之能量成可見光之形式者而言. 一光源於 1 秒鐘內向一切方向發出之光量總值稱爲該光源之光通量 Φ. 通常在各方向內光通量之密度,不全相等,換言之,一光源通常並不以等量之光向各方輻射.

在某一指定方向內之光源強度者,係指下值而言:

$$J = \frac{d\Phi}{d\omega} \tag{2}$$

式中 $d\omega$ 爲極小之立體角. 故在立體角 $d\omega$ 以內之光通量等於 $d\Phi = Jd\omega$. 若光源向各方以同強度輻射,則光通量之總值爲 $\Phi = 4\pi J$. 光源強度之單位爲標準燭光. 此爲一標準燈在其水平方向內所具之光源強度,燈之構造及燃燒情形均經法定,以醋酸戊烷($CH_3 \cdot COOC_5H_{11}$) 爲燃料.

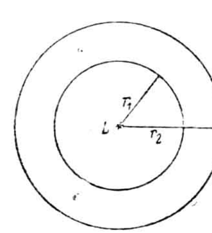
光通量之單位稱爲 1 流明 (Lumen). 其值等於自一強度等於 1 [燭光] 之點狀光源,在一立體角 $\omega = 1$ 以內射出之量,相當於 0,00145 [瓦特] 之能量流.

一表面上之照度者,係指落於該面上 1 [厘米]^2 或 1 [米]^2 內之光通量而言. 其單位爲 1 [流明]/[厘米]^2 = 1 輻透 (Phot), 或 1 [流明]/[米]^2 =1 勒克斯 (Lux).

一面上(發光體或非發光體)之表面亮度者,爲該面上 1 [厘米]^2 之光源強度,其方向與該面垂直. 其單位爲 1 [燭光]/[厘米]^2 =1 史蒂勃 (Stilb).

有所謂 Lambert 氏餘弦定律者,在許多情形中,尙屬合理,其內容謂自一表面射出之光量,其射出之方向與該處之法線成一交角 φ 者,應與 $\cos\varphi$ 爲正比. 嚴格言之,此項定律惟對於某種發光體之表面不論自何方觀之,其表面亮度均爲相同者方稱合理. 故絕對合於此律之發光體有似光亮之圓板,到處亮度相等. 太陽與此已頗相近似.

401. 距離定律. 命 L (第358圖) 爲一光源,在一半徑 r_1 之球面之中心. 命光源強度 J 在一切方向內者皆爲相等. 於是自光源發出之光通量 $\Phi=4\pi J$ 均勻分佈於球面 $4\pi r_1^2$, 而球面上之照度爲 $E_1=4\pi J/4\pi r_1^2=J/r_1^2$. 將球面之半徑擴大至 r_2, 則照度卽變爲 $E_2=J/r_2^2$. 故得



第 358 圖
照度與光源距離關係之說明

$$E_1 : E_2 = \frac{1}{r_1^2} : \frac{1}{r_2^2} = r_2^2 : r_1^2. \tag{3}$$

各方向內 J 之值不爲常定時,此定律(光度距離定律)對於

發光之各方向各爲合理.

按(3)式,一面上之照度依其與光源間距離之平方而遞減. 前在§130中,嘗述一球面波之振動強度逐漸減弱之情形,至此又遇一相同之定律;事實上二者情形本屬相同,惟此處所涉者,不爲機械振動而已. 此二者皆可由能量原理推得之. 光爲能量 若此種能量毫不變成他種形式,則穿過半徑 r_1 之球面(第358圖)之光量必與穿過半徑 r_2 之球面者相等,蓋在二球面之間能量初無改變也. 若光線進行時中途因被吸收而能量減損,則(3)式不復合理.

射於一表面上光線之方向若與該面之法線(稱爲入射法線)成一交角 φ (稱爲入射角),則不難證明此時該面上之照度必將較垂直入射時弱 $\cos\varphi$ 倍(Lambert 定律). 蓋入射之光通量正比於 $\cos\varphi$ 也.

置強度 J_1 與 J_2 之二光源於二處,與某平面各相距 r_1 與 r_2,務使二光源在此面上之照度相等,即 $4\pi J_1/4\pi r_1^2=4\pi J_2/4\pi r_2^2$,則二光源強度之比應爲

$$J_1 : J_2 = r_1^2 : r_2^2 \tag{4}$$

自一明亮之表面射至人目瞳孔中之光通量既反比於距離之平方,而該表面視面積之大小亦然,故不論遠近若何,物體之表面亮度恆爲相同. 但此時自仍須假設光在途中不被吸收.

關於明暗差之辨別,有精神物理的基本定律(W. Weber