



始



385  
284

385-284

色光應用  
材料強弱學  
(Photo-Elasticity)

東京高等工業學校教授

理學士

福田爲造著

大正  
12.7.25  
肉交老鶴圖刊行

第一圖

断面積一様なる「セルロイド」板に張力を加へ、伸張「ストレス」の増加につれ、段々變りたる色を生ずることを示す。左より右に進むにつれ「ストレス」の値が増す。

第二圖

棒の屈撓により生ずる「ストレス」の模様を示す。中央黒線は中性線にて「ストレス」の動かぬ線、上下の縁に近い程「ストレス」の増す有様が色によりて知らる。

第三圖

半圓形切り込みのある棒を屈撓せしめしときの「ストレス」分布を示す。左圖に比し中性線の曲れること、切り込みの穴の周囲の「ストレス」の模様を見よ。

第四圖

船の甲板模型の「ストレス」分布の模様を示す。甲板には煙突の孔、船口など種々の孔あり、孔の周囲に「ストレス」の分布する模様を一目して知り得可し。

第六圖

（この部分の文字は非常に小さく、詳細な内容は読み取れず、主に「第六圖」という見出しと「ストレス」の分布を示すという文脈が確認できる。）

### 第一圖

斷面積一様なる「セルロイド」板に張力を加へ、伸張「ストレス」の増加につれ、段々變りたる色を生ずることを示す。左より右に進むにつれ「ストレス」の値が増す。

### 第二圖

棒の屈撓により生ずる「ストレス」の模様を示す。中央黒線は中性線にて「ストレス」の働かぬ線、上下の縁に近い程「ストレス」の増す有様が色によりて知らる。

### 第三圖

半圓形切り込みのある棒を屈撓せしめしときの「ストレス」分布を示す。左圖に比し中性線の曲れること、切り込みの穴の周圍の「ストレス」の模様を見よ。

### 第四圖

船の甲板模型の「ストレス」分布の模様を示す。甲板には煙突の孔、艙口など種々の孔あり、孔の周圍に「ストレス」の分布する模様を一目して知り得可し。

### 第五圖

鉤に力の働きしとき、「ストレス」の分布を示す。左上と右下の曲れる部分に大なる「ストレス」の働けるを見よ。

### 第六圖

「ネヂ」廻しにて六角の「ネヂ」の頭を振るとき、「ネヂ」廻し内に起る「ストレス」の模様を示す。

### 第七圖

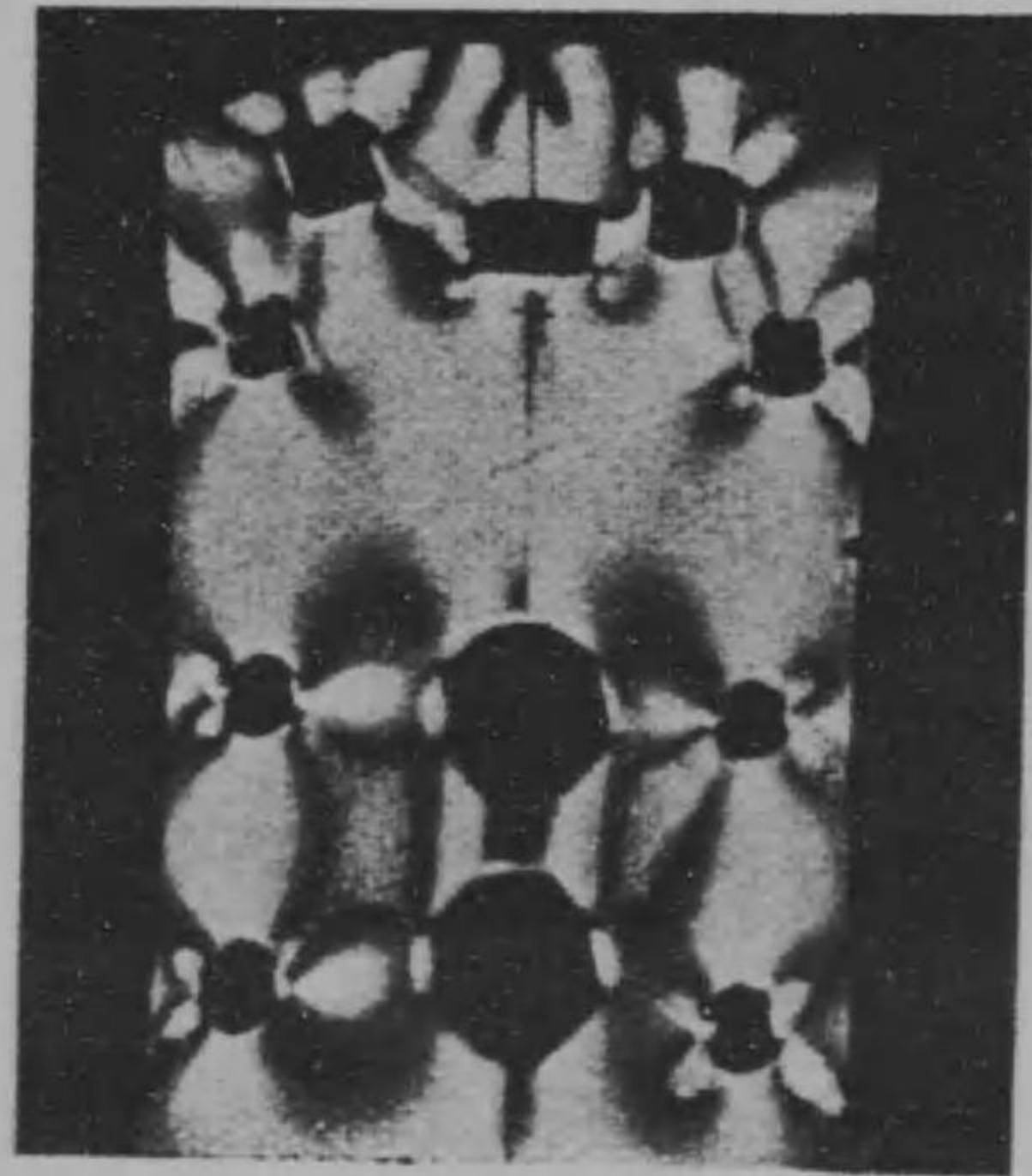
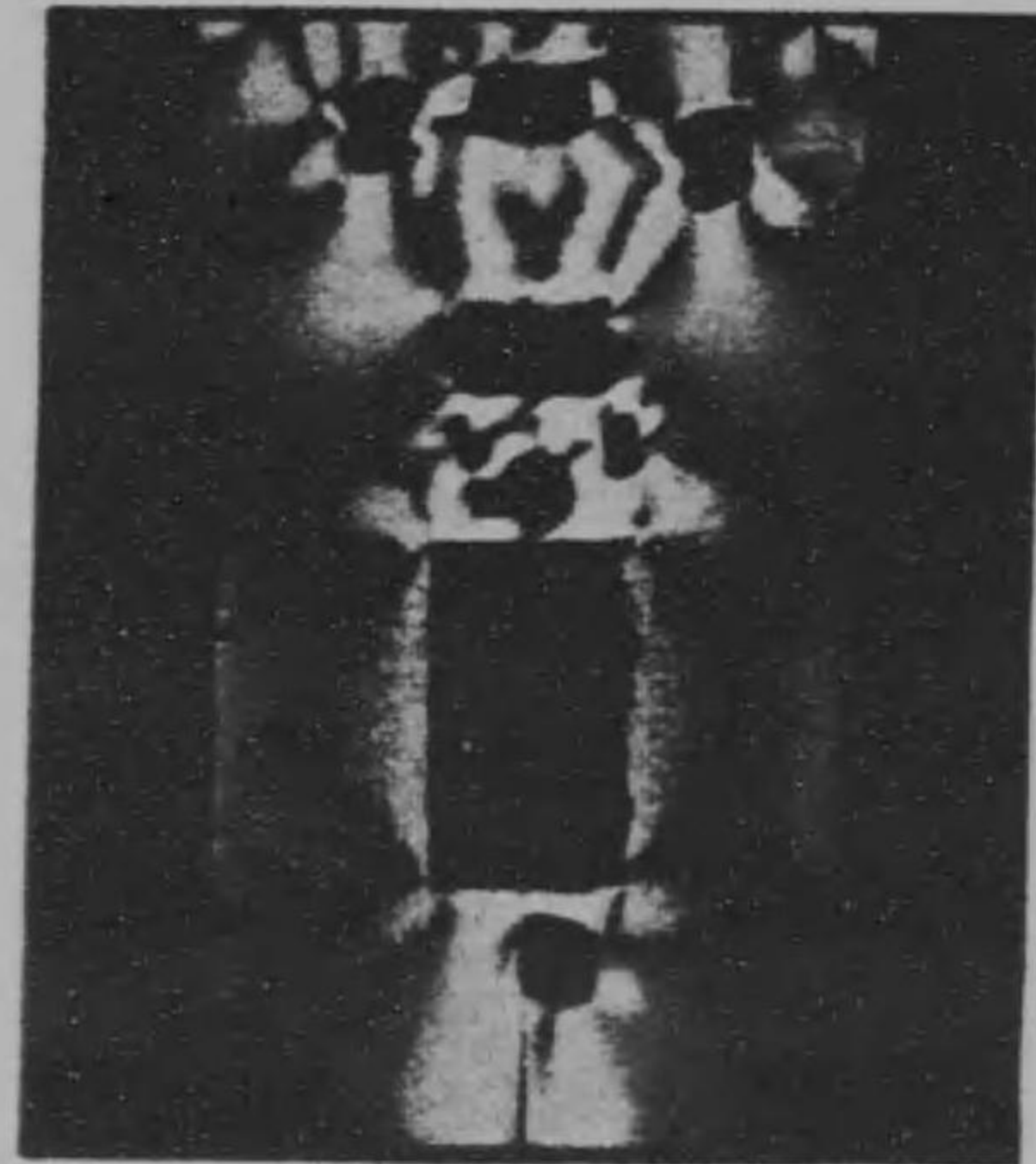
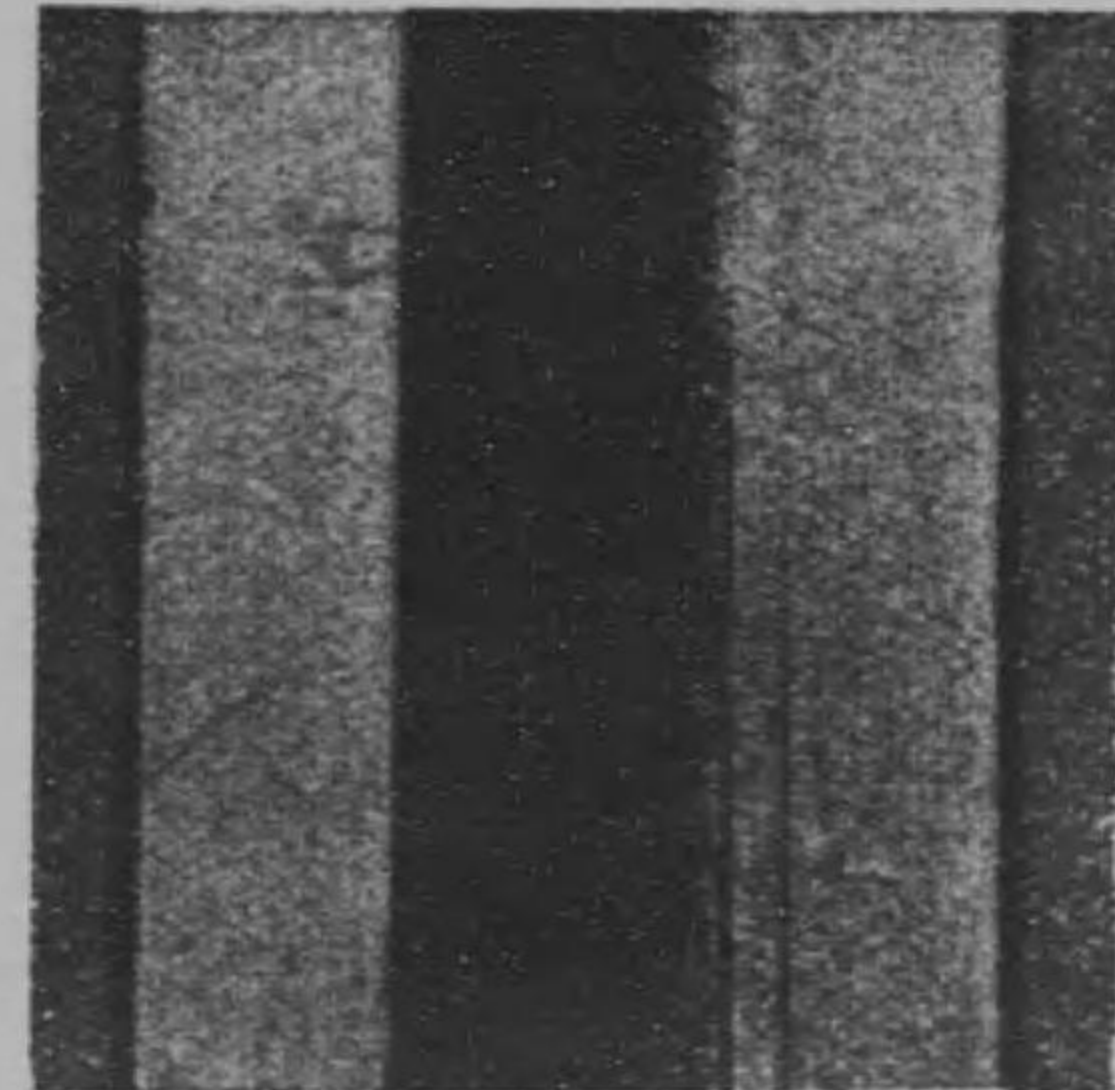
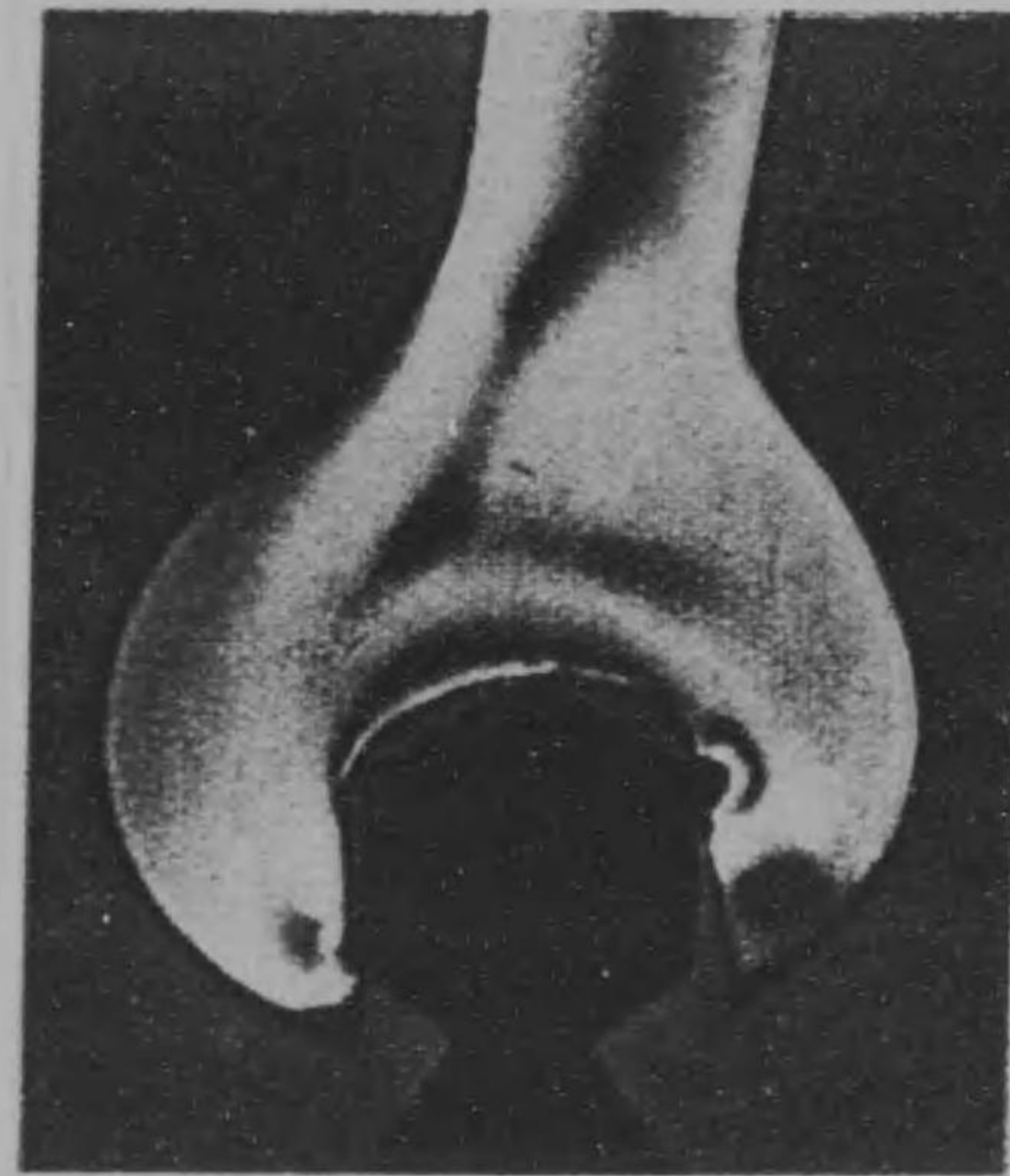
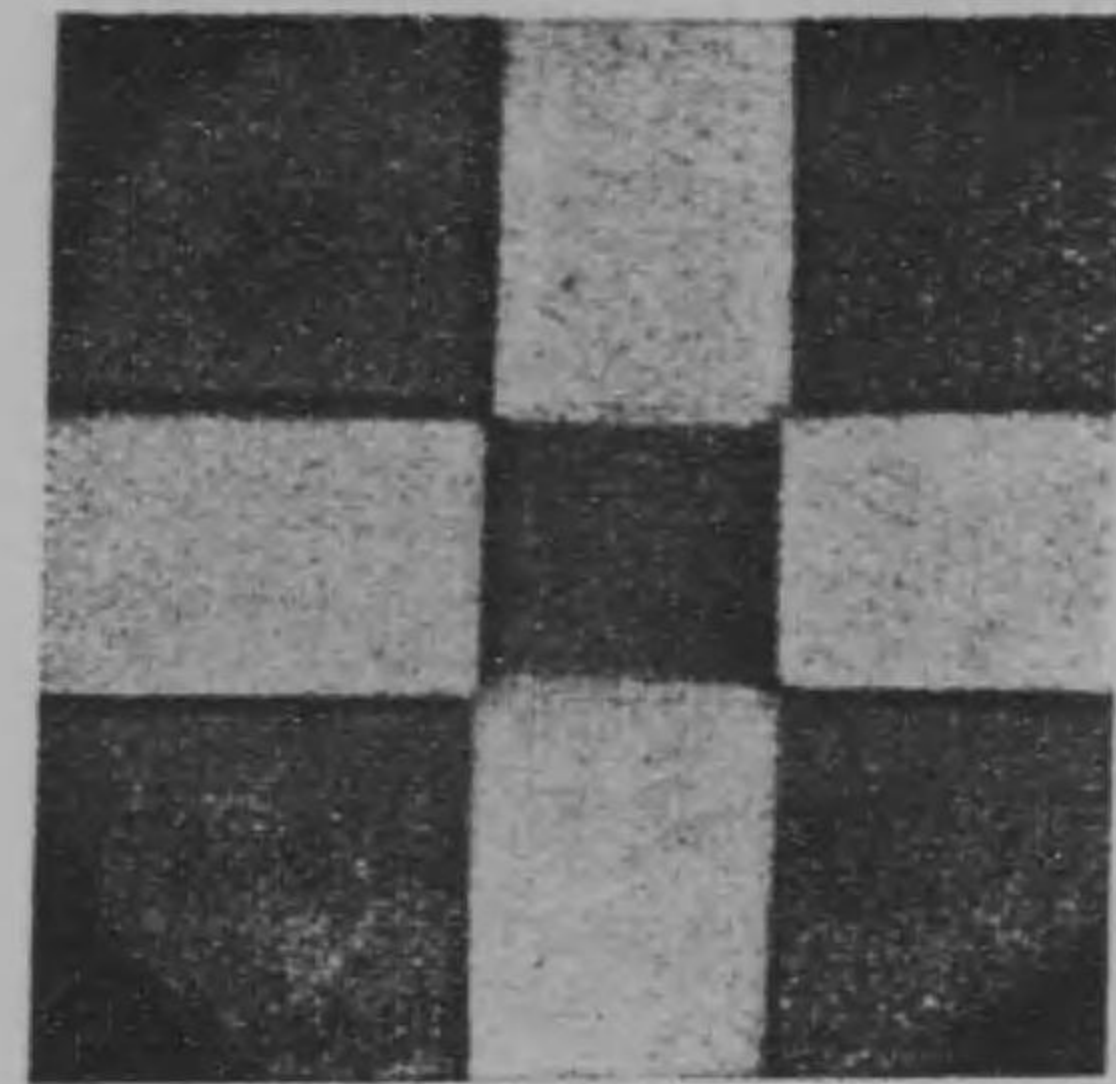
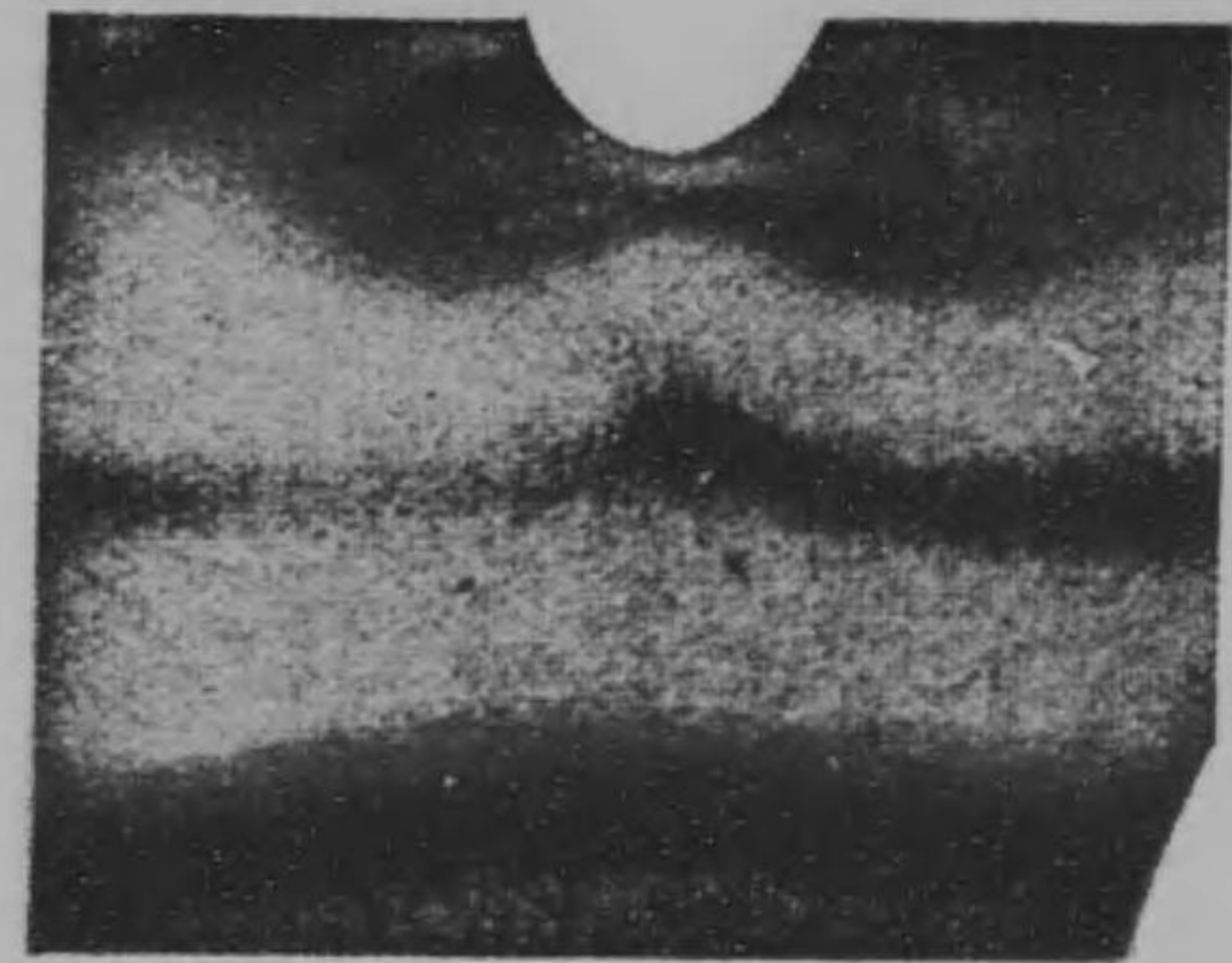
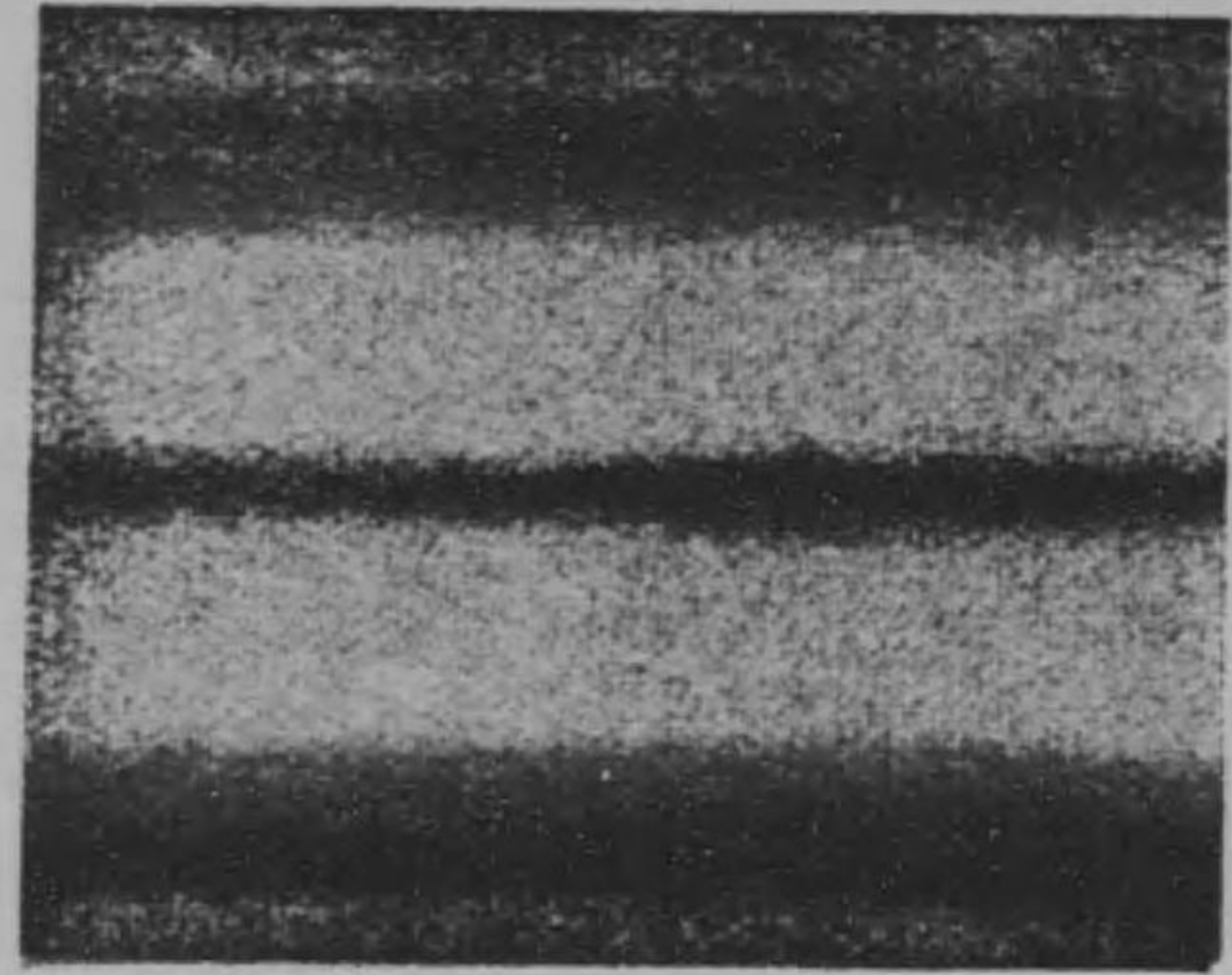
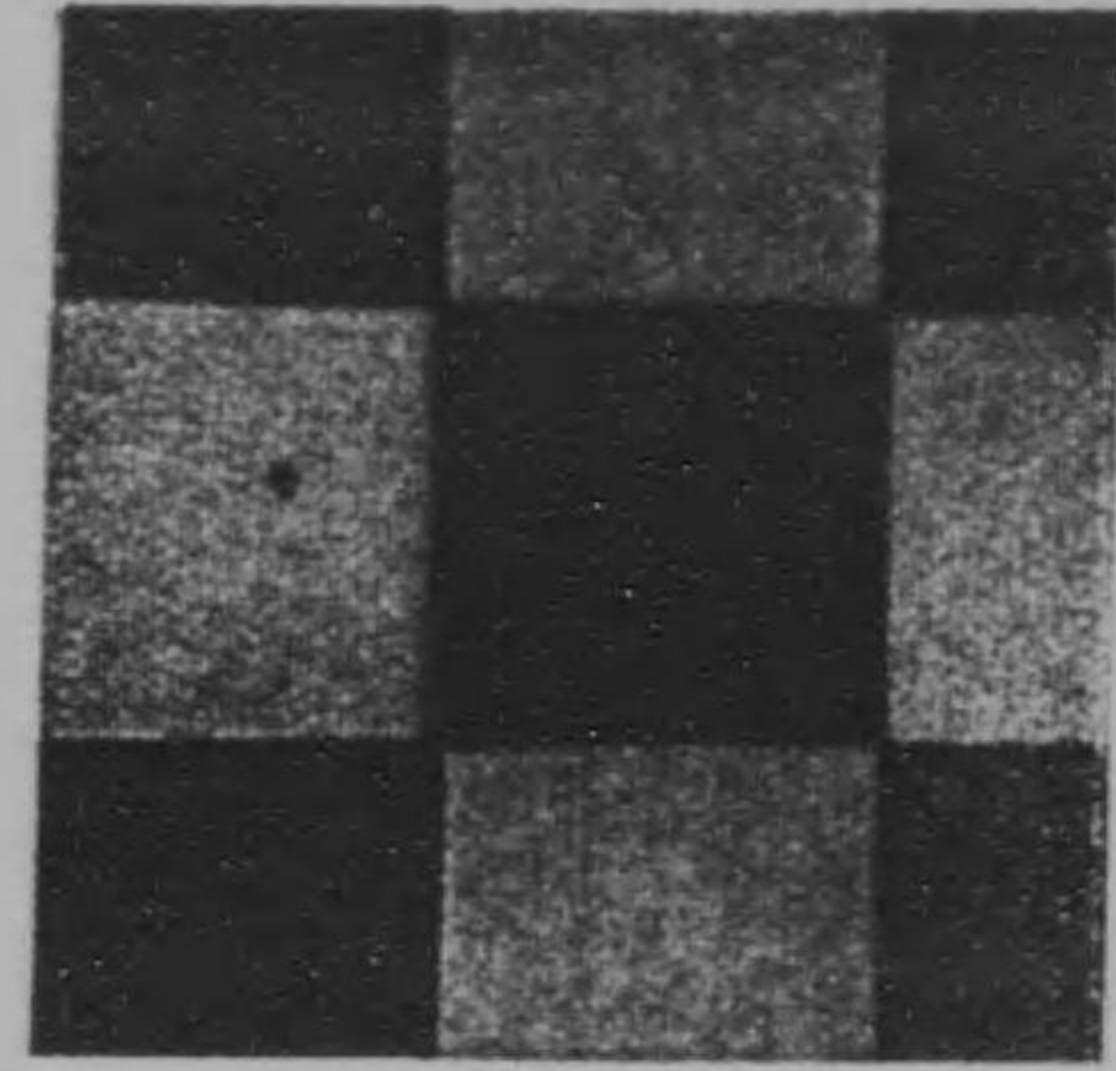
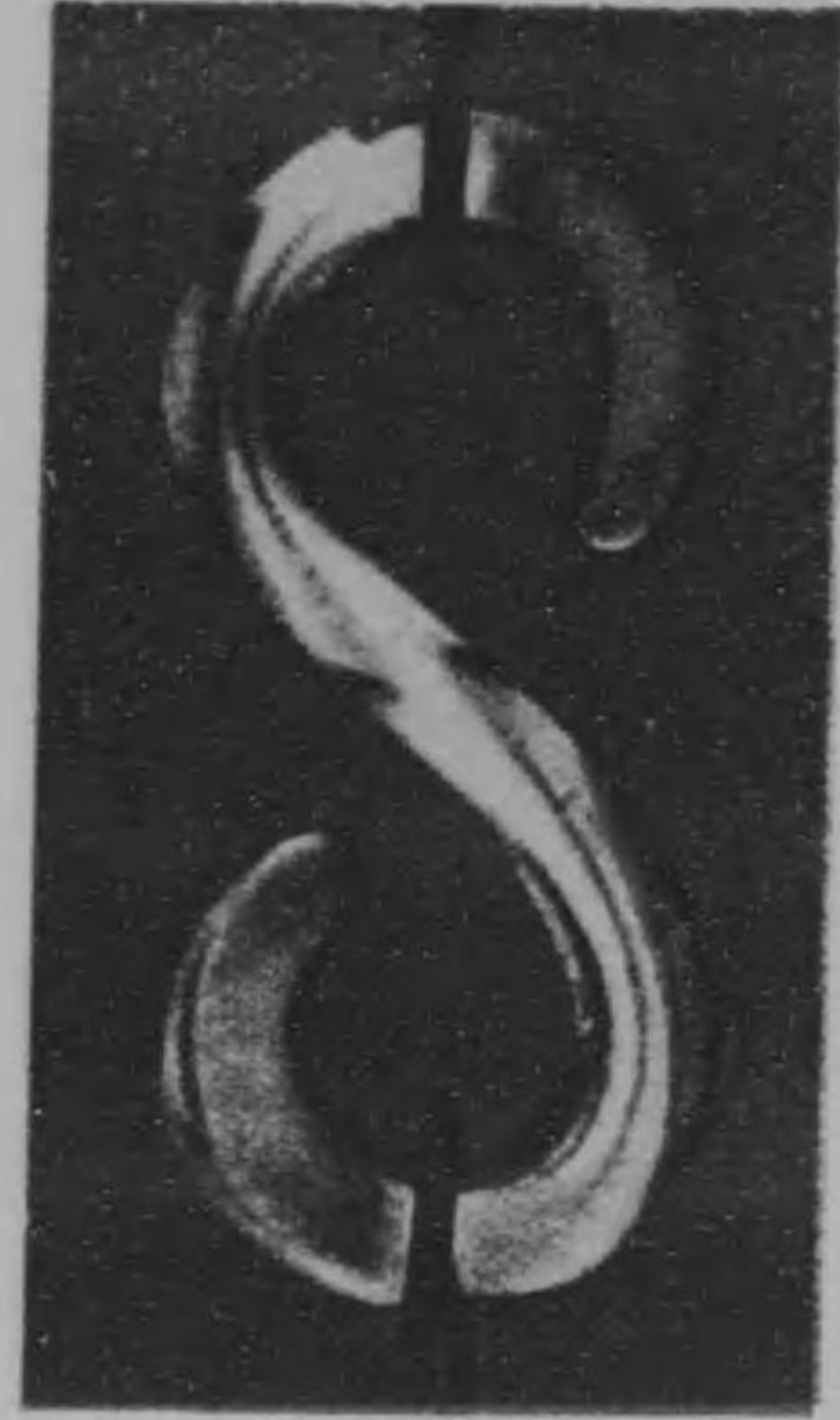
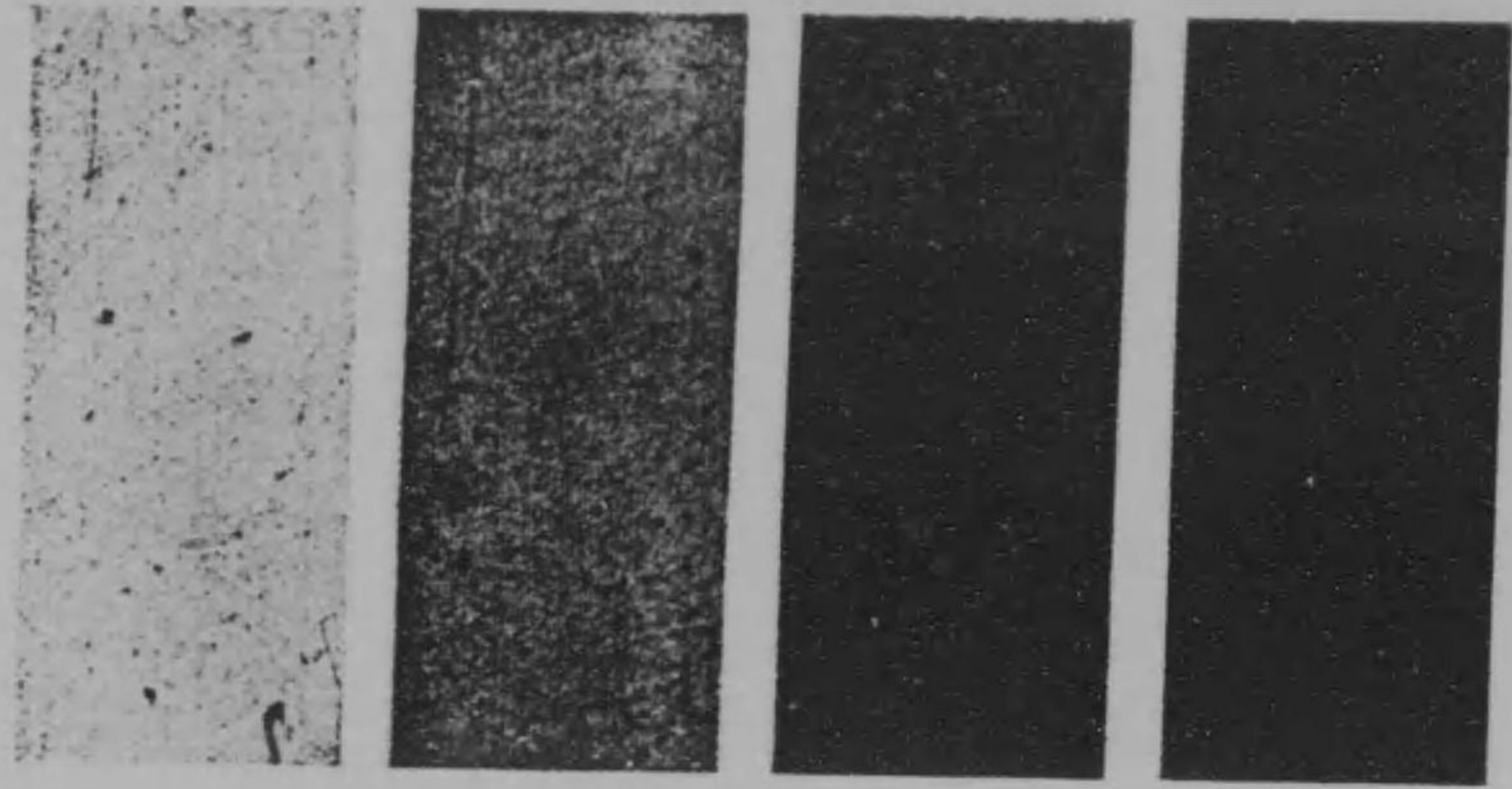
縦に伸張「ストレス」の起れる板と、横に同様起れる板とを重ね合せたるとき、中央に暗黒部を生ずることを示す。

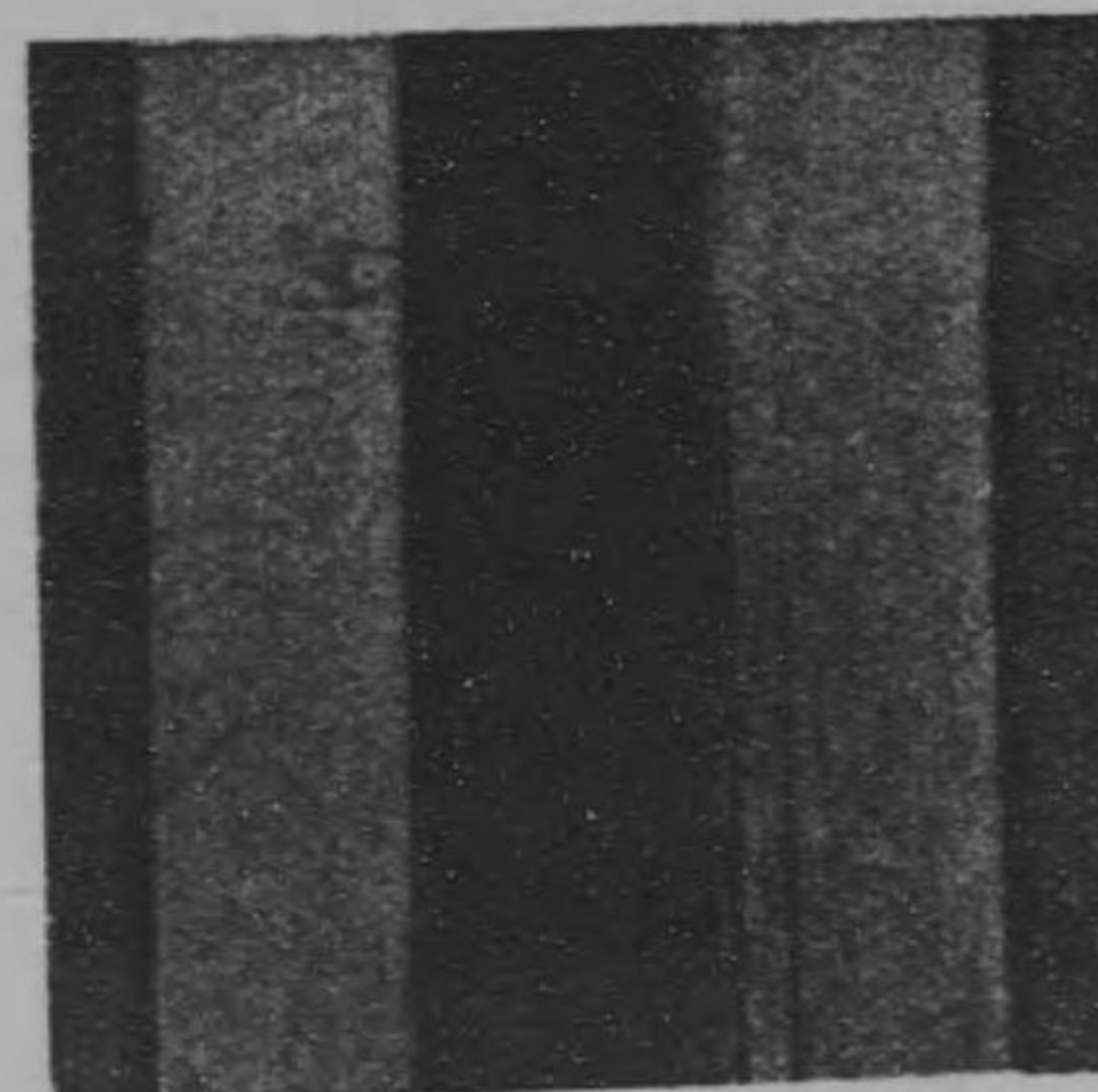
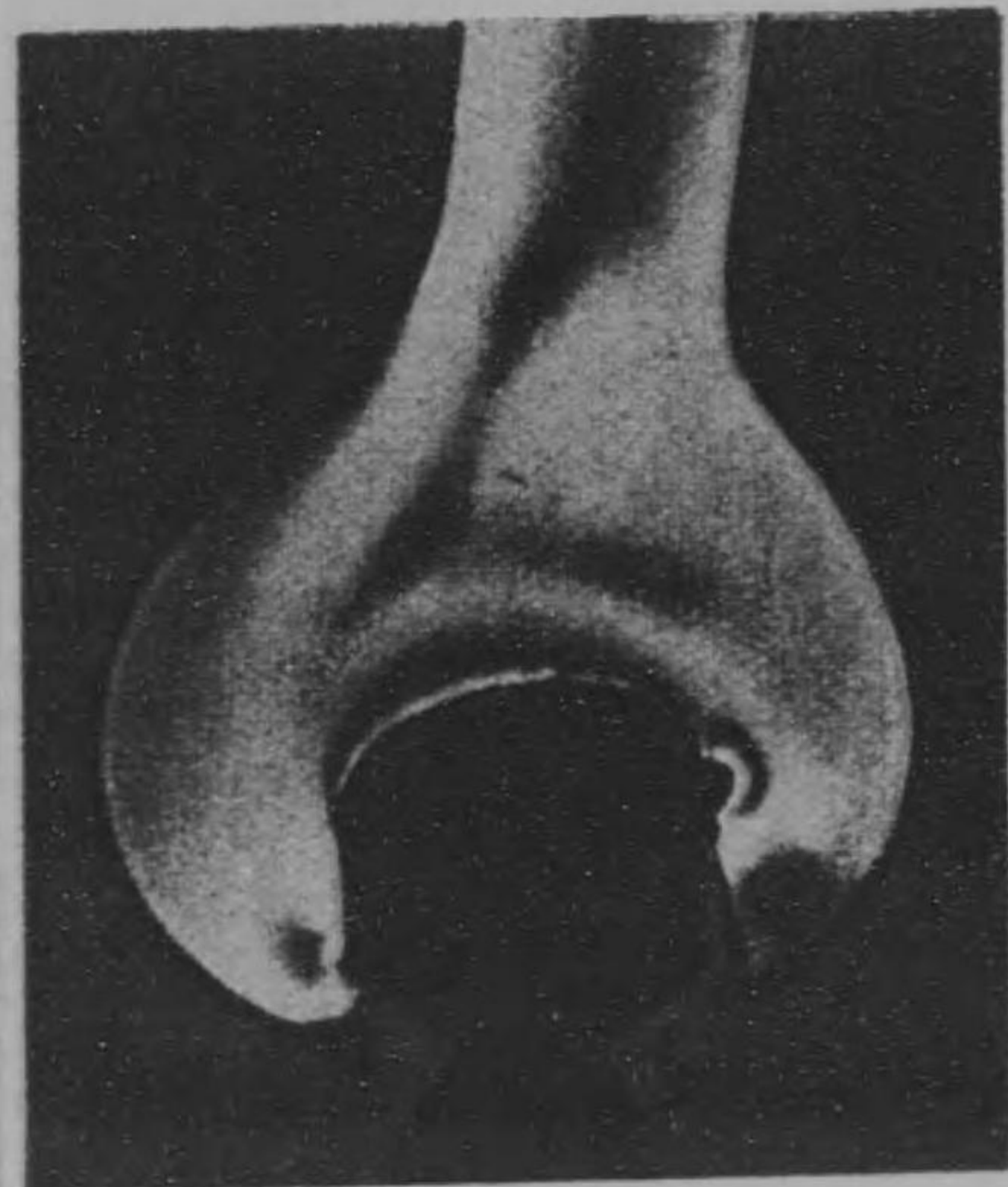
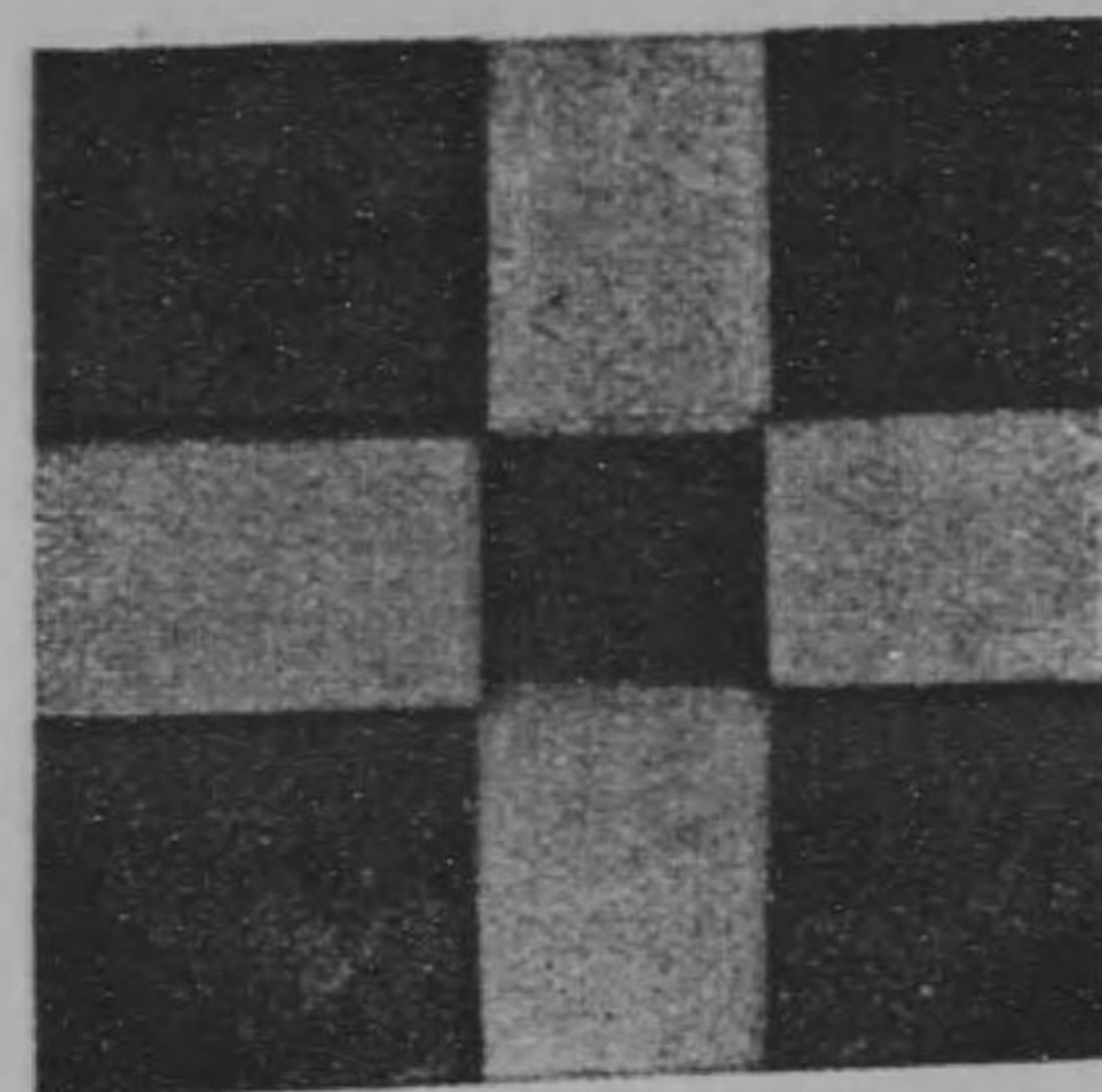
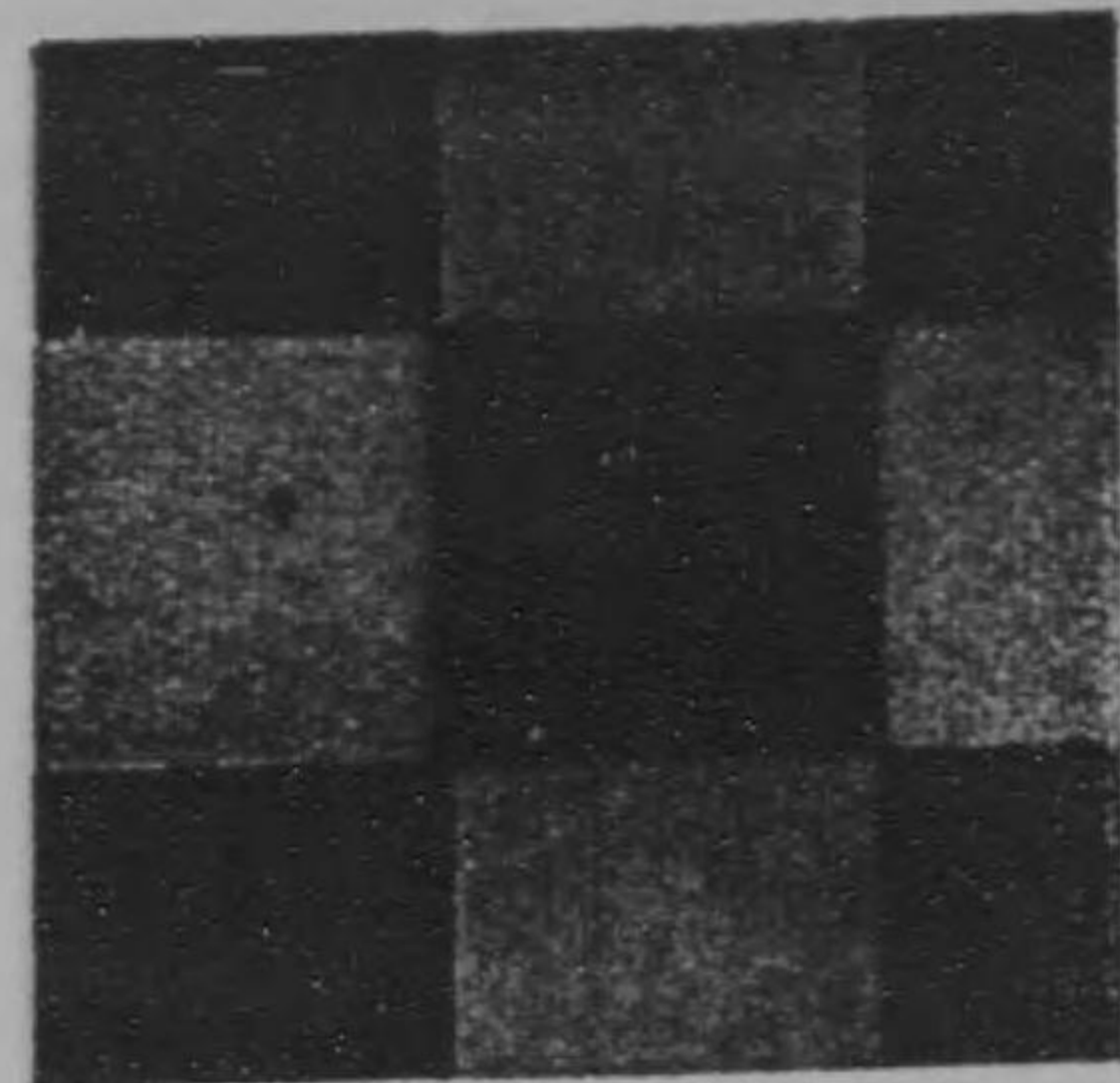
### 第八圖

壓縮「ストレス」の起れる縦横兩板を重ね合せ、中央に暗黒部を生ずることを示す。

### 第九圖

縦に伸張「ストレス」の起れる板と、其より幅狭き縦に壓縮「ストレス」の起れる板とを重ね合すれば暗黒部を生ずることを示す。





## 目 次

序.....	1
第一章 結晶板によつて生ずる色光 の理論.....	7
第二章 圓偏光と四分の一波長板の 理.....	18
第三章 「ストレス」に就て.....	32
第四章 「ストレス」の起れる板により て生ずる色光の理並に色と 「ストレス」との關係.....	39
第五章 主「ストレス」の大きさの決定殊 に主「ストレス」の差に就て.....	45
第六章 主「ストレス」の和の測定.....	51
第七章 主「ストレス」の方向決定並に 主「ストレス」曲線を求める法.....	56
第八章 實驗の實際と實例.....	62
第九章 結論.....	80

色光應用  
材料強弱學  
(Photo-Elasticity)

序

英國「ロンドン」の University College の工學部長で且つ機械科の教授である E. G. Coker 氏は今から約十年前に「ストレス」(Stress)の研究に偏光を應用することを考案されました。即ち偏光と云ふ純理學的の事柄を「ストレス」の研究と云ふ工學上最も大切な材料強弱學に巧に應用することを工夫されたのです。偏光を應用する處の原理に至つては物理學の方では別にたいして新しい事柄でもなく古くから知られた現象及び理論ですが其を「ストレス」の決定に應用したる處に新し味があり面白味があ



るのです。十年前から始めて居る仕事であり且つ其後度々雑誌にも發表して居られますから今更茲に事新しく此事に就て説明することは時代遅れの謗を免れぬかも知れませんが自分が茲に此書を著すに至りましたには多少理由のあることあります。自分は大正八年から一昨十年迄二年三箇月ばかり歐米に留學致して居り、大正八年春から其年の末迄「コーカー」教授の研究室に入り同氏の研究法を親しく習ひ自ら二三の研究をもやり云はゞ本家本元の研究方法を親しく見て來た一人でありますから自分が此方法を説明するのは餘り不適當とも考へません。私の見聞の狭いせいかも知れませんが私の日本出發の頃迄には日本の工學界では「コーカー」氏の方法をやつて居られた處を聞きませんでした。私が「コーカー」氏の研究室に居

る間に多くの日本の工學者や理學者が見學に來られ中には一週間程私の傍で私のやるのを見て行かれた方もあり、其等の方が日本に歸り仕事を初められた方もあり茲二三年の間に其處此處でちよくちよく實驗をされ始めた様で從て日本の理工學界で此事が段々知られて行く様になり從て又此方法は如何と尋ねらるゝ方も多い様ですから此處で説明致すのも無駄でない様に思はれます。大分古くからの仕事であるとは申すものゝ然も其處に新しさと大切さのあるに相違ない事は世界で最も新しいことを最も早く始めることに付て定評のある米國から丁度私が「コーカー」氏の處に居つた時分に初めて方法を習ひに來たことで以て新し味が知られますし、又本家本元の英國でも私の居つた時分に「コーカー」氏は始終あちらこちらへ講演

に招かれたり又「コーカー」氏の研究室へ參觀に来て珍しがる英人の多かつたことや又戦後の英國科學博覽會に此方法の出品されたる事などを考へ合せれば矢張英國でも未だ新し味が失せないのでありませうから輸入國の我國では未だ未だ新しいことゝ思ひ茲に説明をする次第です。又大切さに就て一寸申しますが先きに米國から人が習ひに来たと申しましたのは米國の G. E. 電氣會社の研究室の技師の A. L. Kimball と云ふ人で此人は態々米國から「ロンドン」へ来て約半年ばかり「コーカー」氏の研究室に滞在し方法を習つたのみならず大正九年の夏には「コーカー」氏を米國迄招聘し G. E. 會社の研究室で此方法を講演して貰ひ且つ實驗設備を指導して貰つたことで G. E. 會社が随分金をかけて大仕掛に此方法を輸入したことに就て見

ても此方法が工學上随分有益な大切なものと考へられて居ることが分ります。

次に述たいことは「コーカー」氏が此偏光を應用することを考へられた経路に就てであります。「コーカー」氏は常に斯様に云ふて居られました。「自分は純理學上の事柄の中で何か工學上に應用の出来るものがありはしないかと始終考を凝らして居つたが遂に此應用方法を見出したのであると此語は大に味ふ可きことで理學者の知り抜て居る事柄の中で其を應用すると工學上や工業上大に有益なることを見出し得るものが此他に尙いくつもありはしないかと云ふことでもあります。

尙此 Photo-elasticity に就て説明せる纏まりたる日本文の書籍は勿論英文の書籍も一つもなく、「コーカー」氏が時々講演されたものを英文雜誌に載せられたものはあり

ますが、測定の方法や理論を詳述したものは一つもなく、又偏光が干渉を起して色を生ずる理などを物理的に詳しく説明したるものがなく、誠に遺憾に思ふて居りましたから私が歸朝後一二の處にて其等を講演し又一二の雑誌に載せたのでありますが、特種の雑誌では讀者も限られ廣く此方法を知らうとする人々の目に觸れぬことを遺憾に思ひ今度之を纏りたる一冊の本となし、且つ雑誌には經費等の關係上載せることの出来なかつた色刷寫真版を内田書店の好意により茲に附屬せしめて出版することにしました。Photo-elasticityのことを説明する書から此色寫真を取去つたら其價值の半を削ぐ次第ですが、幸ひ此本に於ては此色寫真を附けて完備せしめて出版の出来たことを喜んで居ます。

## 第一章

### 結晶板によつて生ずる色光の理論

光は一種の横波でありまして光の進行方向と垂直なる平面内で色々な方向に振動する波動であります。今光の一束線を方解石に當てますと、方解石に這入る際所謂二重屈折なる現象を起し光は二本に分れ方解石を通つて出て來ます。此二本の光は普通の光と性質が變つて居つて光の進行方向と垂直平面内で種々雜多な方向には振動しないで或一定方向のみに振動が限られたる波動に變つて居り、二本の光の各の振動方向は互に垂直になつて居ります。斯様に一定方向にのみ振動が限られたる光波を平面偏光と申します、即ち普通の光を方解石に當て之を通しますと振動方向が互に垂直なる二本の平面偏光束

を得られます。

方解石を或特別の形に切り其を更に切半し更に又之を「カナダ、バルサム」で繋で作つた所謂「ニコル」の「プリズム」に一光束を当てますと二重屈折で生じたる二本の光の一本は横に逸れ他の一本丈が真直に通る之により普通光を平面偏光に變へ一つの平面偏光が得られます。斯様に平面偏光を得る爲に用ふる「ニコル」を起偏「ニコル」と名付けます。起偏「ニコル」を通つて平面に偏つたる光束を第二の「ニコル」に當て第二の「ニコル」を通つた光を背後の衝立に當て、其處で第二の「ニコル」を光線の方法を軸として廻轉して見ますると或處迄廻すと衝立が暗くなり其より更に直角丈廻すと衝立が最も明くなります。其理窟は「ニコル」の「プリズム」は或一定方向の振動の光しか通過させませんから第一の「ニコル」で振動

方向の定まつた光が第二の「ニコル」に當るとき第二「ニコル」の通過せしめる振動方向と光の振動方向とが一致すれば最も多く光が通り衝立は最も明く、又第二「ニコル」の通過せしめる振動方向が之に當る光の振動方向と垂直であると當つた光は全部通過することが出来ませんから衝立は暗くなるのであります。然し普通光を直接第二「ニコル」に當て第二「ニコル」を前に申した様に廻して見ますると衝立の明るさは少しも變りません、其理は普通光は種々の方向の振動を含んで居ますから第二「ニコル」が如何なる位置に廻され様とも常に第二「ニコル」を通り得る振動方向の光がありますから常に明く、暗黒を生じないのであります。即ち此理によつて第二の「ニコル」は光が普通光であるか偏光であるかを検査するに役立ちますから、此第二「ニコル」を檢

偏「ニコル」と呼びます。衝立が暗くなつたとき起偏「ニコル」と檢偏「ニコル」とは「クロス」されて居ると云ひ、又此關係位置に置かれたる「ニコル」を「クロスド、ニコル」と云ひます。「クロスドニコル」の兩「プリズム」間に二重屈折性結晶體の薄板を光線に垂直に挿入して見ますると衝立の暗黒部に色附いた光が得られます、其理を次に説明致しませう。結晶板に偏光が當り之を通る際結晶板に特有なるある定まつた互に垂直な二方向があり此方向の振動のみが通り得るので、偏光が結晶板を通るとき先づ此二つの定まつた方向に振動が分解されて通つて行きます。且つ此處に特に注意せねばならぬとは、此二つの分解された光は結晶板を通るときに通過する速度が異り従つて板に這入つた時は此二つは同時に同じ位相であつても板を通り抜け、出て行く時は時

刻が異り位相が異ります即ち通過した二つの光の間には位相の差が生じて居ります、其位相の差は次の様になります。今結晶板の厚みを  $d$  とし一方の光の通過速度を  $v_1$  としますれば  $\frac{d}{v_1}$  は其光が板を通り抜ける時間です。同様に他の光の速度を  $v_2$  としますれば、此方の光が板を通り抜ける時間は  $\frac{d}{v_2}$  で通過時間の差は  $(\frac{d}{v_1} - \frac{d}{v_2})$  です。光の振動週期を  $\tau$  とし位相差  $\delta$  を角度で表しますれば

$$\delta = \frac{2\pi}{\tau} \left( \frac{d}{v_1} - \frac{d}{v_2} \right)$$

今空氣中で光の進行する速度を  $v$  とし波長を  $\lambda$  としますれば

$$\tau = \lambda/v$$

依つて上式は

$$\delta = \frac{2\pi d}{\lambda/v} \left( \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) = \frac{2\pi d}{\lambda} \left( \frac{v}{v_1} - \frac{v}{v_2} \right)$$

今又一方の光(之を常光線と呼びませう)に



は  $(a \sin \alpha) \times \cos \alpha = a \sin \alpha \cos \alpha$  の振幅になります。そして此二つは斯様に振幅は等しくなりましたが二つの間に  $\delta$  丈の位相の差がありますから此二つの合成振幅を得る爲には單に數量的和を求めてはなりません、丁度電氣の交流理論に於て二つの交流の合成電流の強さを求めるときに「ベクトル」和を求めると同じ様に此場合にも「ベクトル」として合成をしなければなりません。此時尚注意すべきは前圖で常光線の分解振幅  $OA'$  は異常光線の分解振幅  $OA$  とは圖の上で丁度方向が反對でありますから「ベクトル」で云へば  $\pi$  丈位相が違つて居ります即ち常光線よりも  $\pi + \delta$  丈位相の遅れがあると云へます、其故に「ベクトル」和は次圖の様に  $\overline{OR} = a \sin \alpha \cos \alpha$  「ベクトル」を以て異常光線の分振幅を表し之と  $\pi + \delta$  なる角をなして  $\overline{OQ} = a \cos \alpha \sin \alpha$

を引き常光線の分振幅を表す「ベクトル」とします、そうすると  $\overline{OQ}$  と  $\overline{OR}$  との合成  $\overline{OS}$  が合成振幅即ち檢偏「ニコル」を通る常、異常

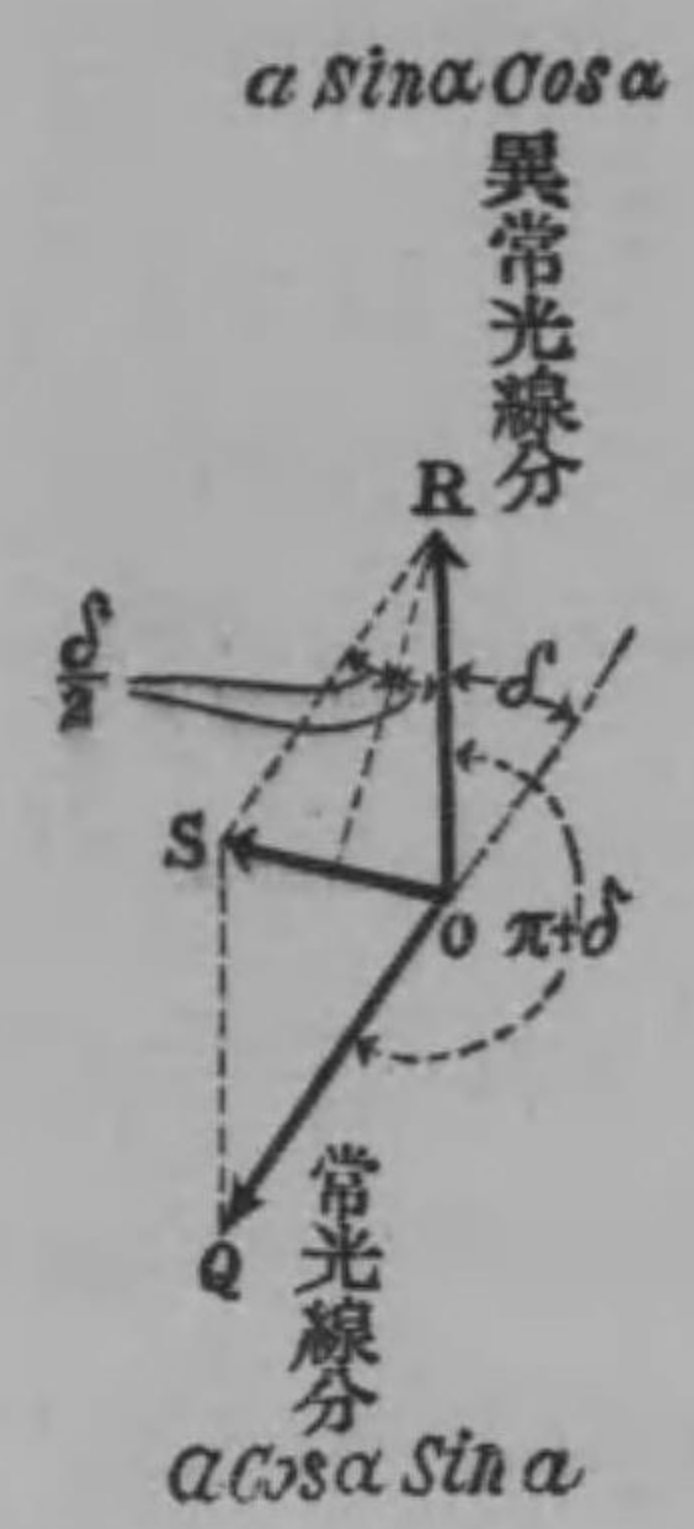
兩光線の重ね合せた光の振幅となります、 $\overline{OS}$  は圖から明な通り

$$\begin{aligned} \overline{OS} &= 2 \overline{OR} \sin \frac{\delta}{2} \\ &= 2 a \sin \alpha \times \cos \alpha \times \sin \frac{\delta}{2} \\ &= a \sin 2\alpha \sin \frac{\delta}{2} \end{aligned}$$

然るに光の強さは振幅の二乗に比例しますから強さを  $I$  としますれば

$$I = a^2 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\delta}{2} \dots \dots \dots (2)$$

以上要するに「クロスド、ニコル」の兩「ニコル」間に結晶板が這入らぬときは衝立は暗黒でありますが結晶板が挿入されると上の様な計算をして見て上式で示す様な  $I$  なる強さの光を衝立上に得られますから



明くなつて参ります。此時色附た光を得られる理窟は、結晶板に當つた光は様々の光即ち各種の波長の光の混じたものが當つて居り、位相の差  $\delta$  は前に (1) 式に示した様に波長によりて違ひますから、或波長に對しては (2) 式の  $\sin^2 \frac{\delta}{2}$  が丁度 0 になり従て  $I=0$  になることがあります。其時には衝立には此波長に相當した色の光が缺けますから白色光中、其殘の色の混合色が其處に現れる譯であります。(2) 式で分る通り衝立上に生ずる光の強さ  $I$  は  $\alpha$  に關係します。 $\alpha=0$  か  $\alpha=\frac{\pi}{2}$  等で  $\sin^2 2\alpha=0$  になり其ときには衝立は矢張暗黒になります、即ち結晶板の置き方により色附た光を生ぜぬこともあります。一般に云へば色附た光を生じ  $\alpha$  の大きさにより其強さが變ります。此結晶板の位置により衝立上の光の強さが變らぬ様にする爲には四分の一

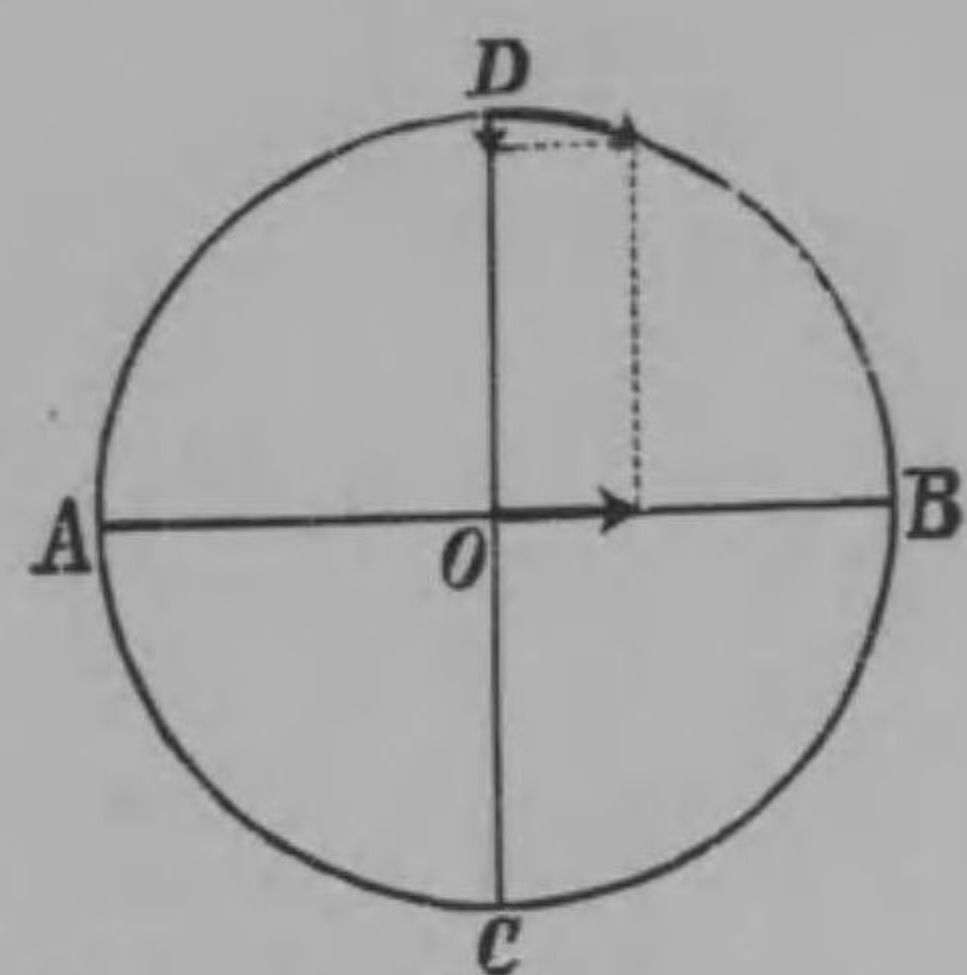
波長板と稱するものを用ひ、平面偏光を圓偏光に變へると宜しい、今先づ圓偏光のことから御話致し續て其理窟を述べませう。



## 第二章

### 圓偏光と四分の一波長板の理

今 AOB, COD なる二つの互に垂直なる直線上を等しき振幅、等しき週期(或は振動

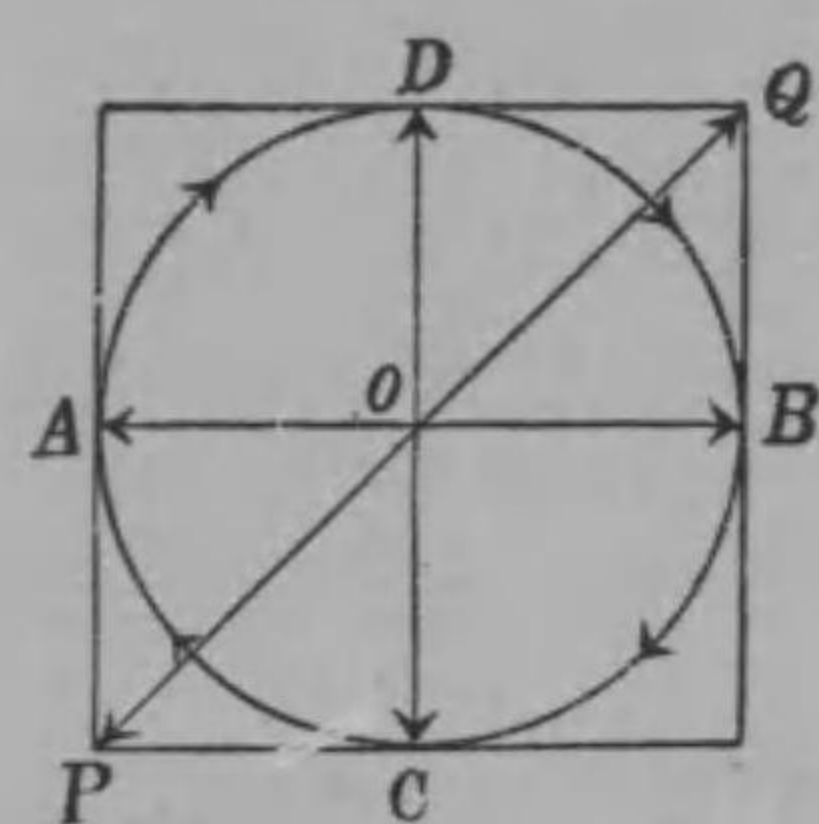


數と云ふても同じ)で往復する二つの單弦運動を考へませう。

各の振幅の中心點は一致し居り、之をO點とします。此二つの

單弦運動の位相が週期の四分の一丈違ひ居るものとし、即ち AOB の方の運動で運動點は丁度中心點から右の方に動いて居るとき、COD の方の運動では振幅の一番端の D へ點が來て居て後歸りし D から O へ向ひ動かうとして居ります。斯様な二つの單弦運動を合成しますると丁度

DBCA と云ふ圓運動になります。雲母の薄板をとり之に平面偏光を當てますと之は又結晶板ですから光が板を通るときに互に垂直なる二つの定まつた方向の振動に分解し、板を通り抜けたときに此二つの光の間に位相の違ひが起ります。今雲母の厚みを適當に致しますれば此二つの光



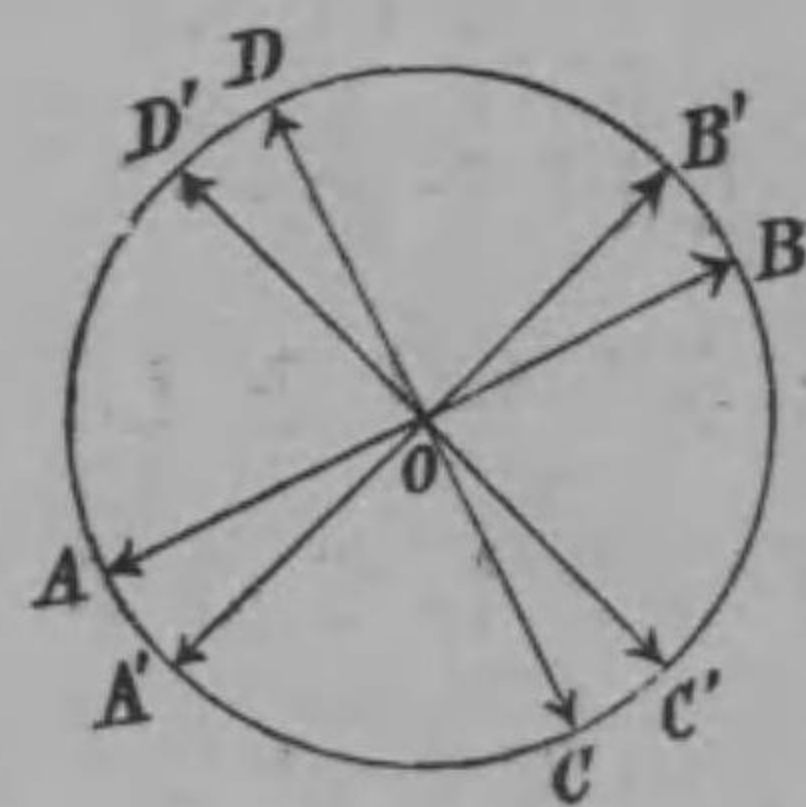
の位相の違ひを週期の四分の一になる様にすることが出來ます、斯様な雲母板を四分の一波長板(Quarter WavePlate)と

云ひます。起偏「=コル」を通つた平面偏光の振動方向及び振幅を上圖に於て PQ で表し、四分の一波長板を通り得る振動方向を AB, CD とし PQ は AB, CD に四十五度の傾をして居ると致ませう、そうすると PQ の振動は AOB, COD の二つの振動に二

つの平面偏光に)分解され且つ板を通る間に四分の一週期の位相差が起りますから板を通つた後此二つの振動は合してDBCAの圓運動の波になります、此光波を圓偏光と申します。

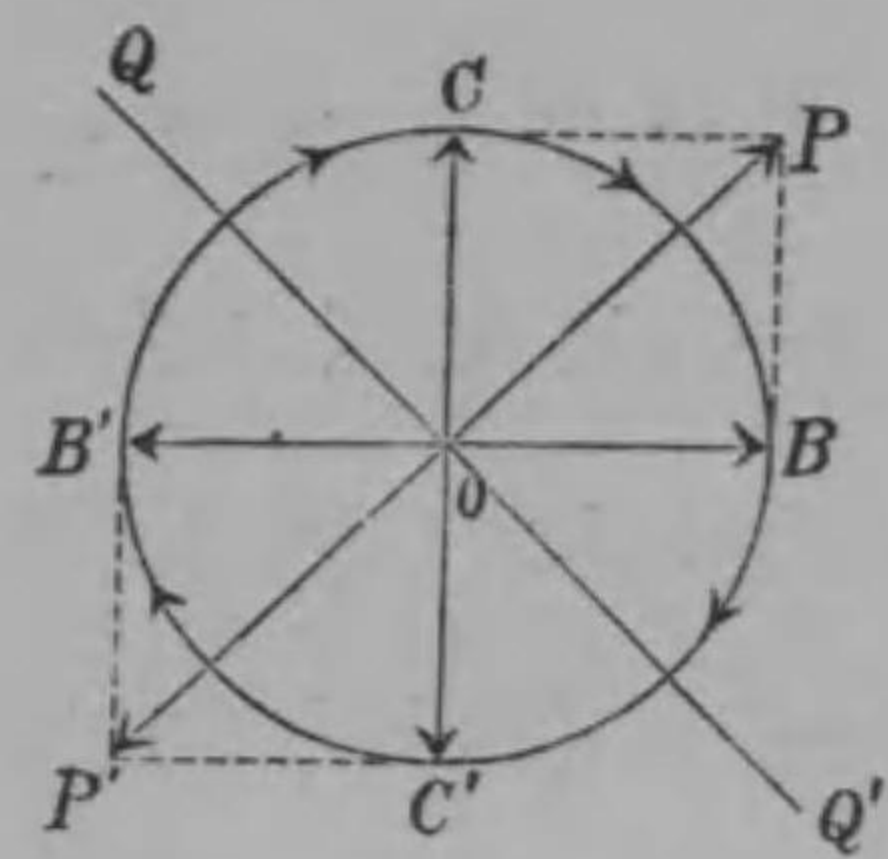
上に述べました様に互に垂直で位相の差が四分の一波長である等振幅の二つの平面偏光は合して圓偏光を形成しますから、逆に圓偏光は之を二つの互に垂直なる位相差の四分の一波長なる等振幅の平面偏光に分解するを得る譯であります。但し此分解のときには分解して得られた平面偏光の振動方向は随意にとることが出来ます、例へば圖に於て

AOB, CODの二つに分解することも出来れば又A'OB', C'OD'の二つにも分解出来此他幾通りに



も分解出来る譯であります。今「クロスド、ニコル」の起偏「ニコル」の先に一枚の四分の一波長板を前記の様に置き之によりて圓偏光を得、更に檢偏「ニコル」の手前にもう一枚の四分の一波長板を置いた場合を考て見ませう。起偏「ニコル」の先に置く四分の一波長板を前記の様に置くには即ち起偏「ニコル」で出来た平面偏光の振動方向が四分一波長板を通り得る振動方向と四十五度の角に置くには實際どうすれば宜しいかと云ふに、四分一波長板を「クロスド、ニコル」の間に置いた場合は前の(2)式が適用されますから(2)式の $\alpha=45^\circ$ と置けばIは最大になりますから此事からして實際四分の一波長板を置く位置が分ります。」四分一波長板を板自身の平面内で廻して見まして、衝立上の光が一番明るくなる位置を見出せば其が宜しい位置で其で圓偏光が

出来て居る譯であります。次圖に於て P'OP を起偏「ニコル」の振動方向、Q'OQ を檢偏「ニコル」の振動方向とします、此二つは互



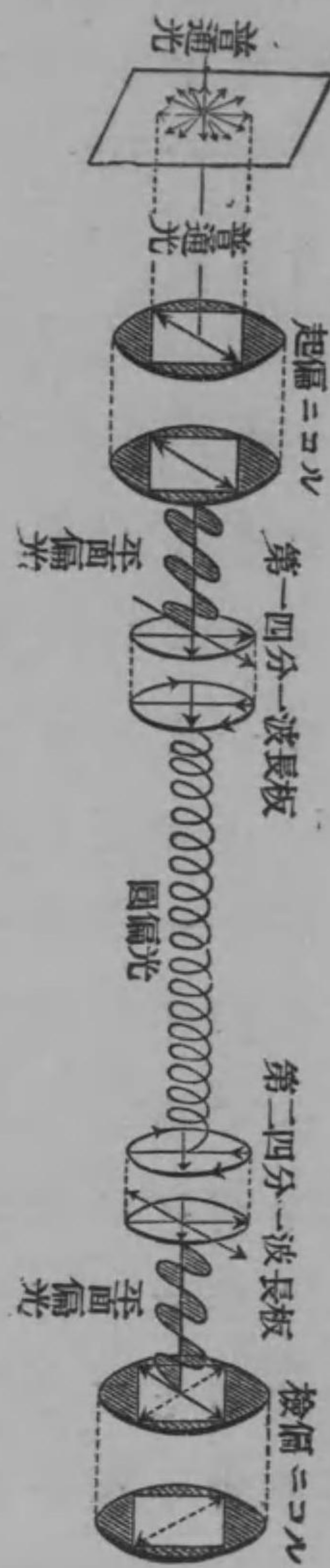
に垂直になつて居ります。次に B'OB 及び C'OC は二つの四分一波長板を通ることが出来る光の振動方向で互に垂直なるのみならず P'OP

及び Q'OQ に四十五度の傾をして居ます。起偏「ニコル」で出来た P'OP なる平面偏光が第一の四分一波長板で B'OB C'OC に分解され然も B'OB の方が C'OC よりも四分の一波長丈、位相が遅れると其合成結果として CBC'B' の圓偏光となります。之が第二の四分一波長板に當り又 B'OB の方向と C'OC 方向の二つの平面偏光に分解されます。此度の板では C'OC の方が B'OB より

四分の一波長丈位相が遅れるとすれば、前の板で B'OB が C'OC より四分の一波長丈位相が遅れたことを取返しがつき、結局兩方共同じ位相となり、其を合成すると元通り P'OP の振動に戻ります。其故此振動は Q'OQ に垂直であつて檢偏「ニコル」に遮られますから相變らず衝立上は暗くなります。其故兩四分一波長板を置く置き方をもう一度纏めて申しますれば、先づ「ニコル」を「クロス」させ次で起偏「ニコル」の先へ一つの四分一波長板を置き之を其自身の平面内で廻轉し衝立が最も明くなる様にします。次で第二の四分一波長板を檢偏「ニコル」の手前に置き之又其自身の平面内に廻轉して衝立が再び眞暗になる迄廻します。そうすると二枚の四分一波長板を入れても入れない前の單に「クロスド、ニコル」丈のあるときと同様な有様になつて居ります、唯異

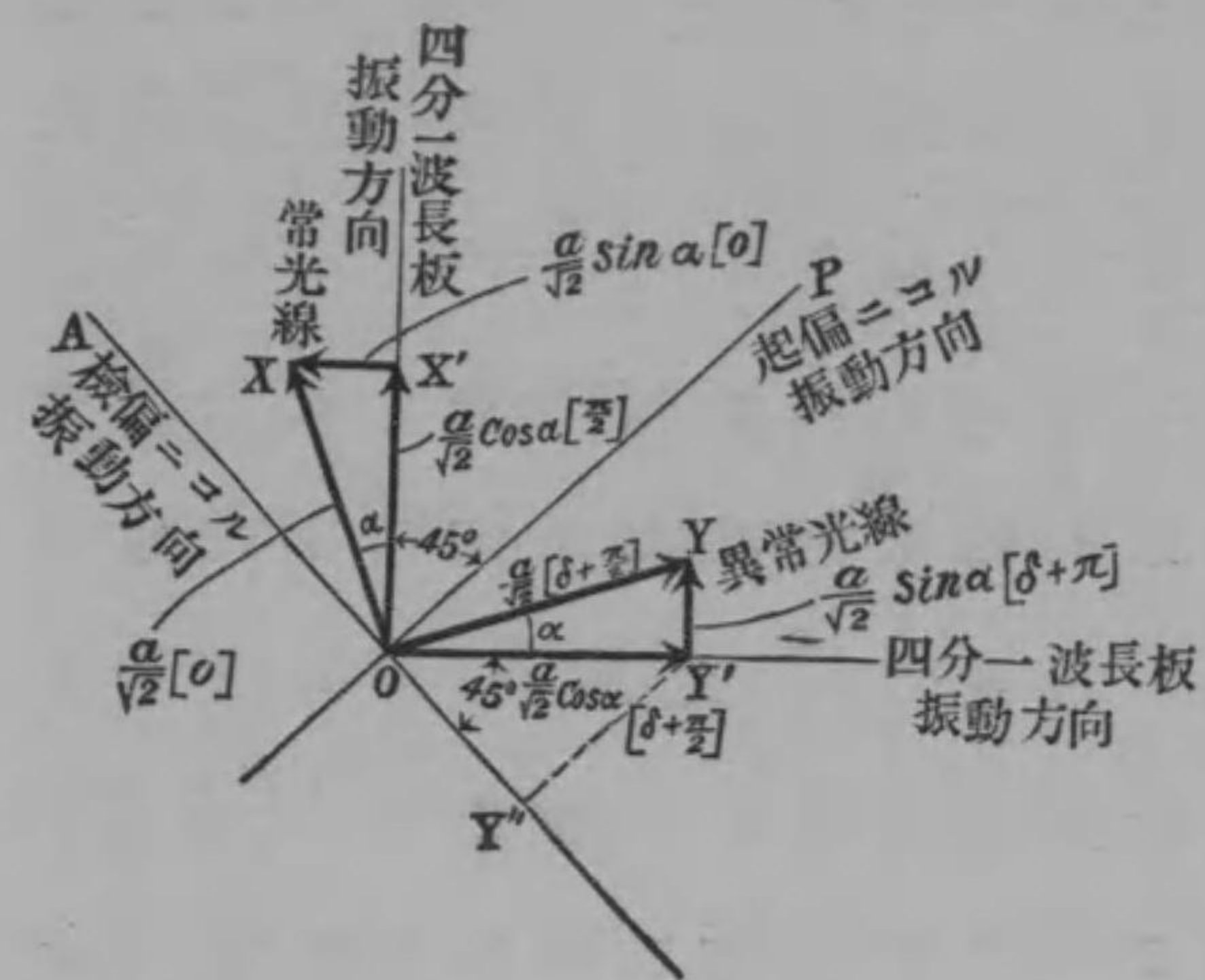
つて来たことは兩四分一波長板間では光が平面偏光でなく圓偏光に變つて来たこととであります。以上述べましたことを纏めて圖解して見ますれば右圖の様になります。

偕上圖の様な装置で二枚の四分一波長板間に前に申したと同様に二重屈折性結晶薄板を挿入したらばどうなるかを調べて見ませう。起偏「ニコル」から出て来る平面偏光の振幅を  $a$  とし、之が第一四分一波長板に當り之を通るとき二つの偏光に分解され従て振幅が各  $\frac{a}{\sqrt{2}}$  となり位相に於て  $\frac{\pi}{2}$  の差を生



じて居ります。之が合して圓偏光となり

其が結晶板に當り、更に常光線と異常光線とに分れ結晶

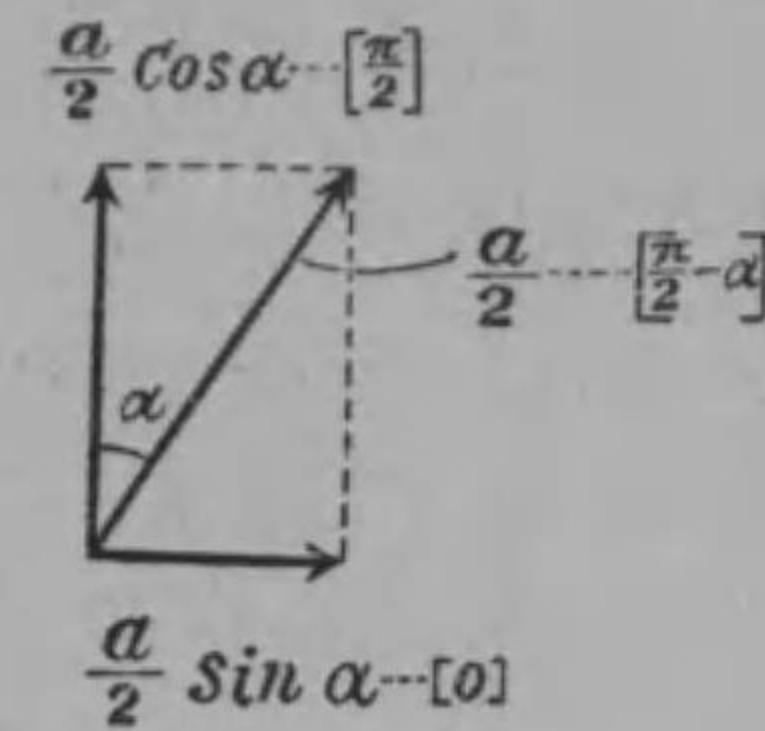


板を通つたときに於て各振幅は  $\frac{a}{\sqrt{2}}$  で位相は此結晶板で  $\delta$  の相違を生じますから前からの位相差を併せ結局  $\delta + \frac{\pi}{2}$  丈の差を生じて居ります。上圖で OP を起偏「ニコル」の振動方向、OA を檢偏「ニコル」の振動方向とし、OX を結晶板を通つた常光線の方角と其振幅  $\frac{a}{\sqrt{2}}$  を表すものとし、之は四分一波長板の振動方向と  $\alpha$  の

角をして居ります、OX の位相を 0 とし  
 [] 内の数字を以て位相を示すものと  
 します。此常光線が第二の四分一波長板に  
 當り之を通るとき  $OX' = \frac{a}{\sqrt{2}} \cos \alpha$  の振幅の  
 光と  $X'X = \frac{a}{\sqrt{2}} \sin \alpha$  の振幅の光とに分れま  
 す、OX' の方向のものは此際位相が四分の  
 一波長即ち角度で  $\frac{\pi}{2}$  丈進み X'X は變り  
 がありませんから OX' の位相は  $[\frac{\pi}{2}]$ 、X'X  
 の位相は [0] です。此二振動が檢偏「=コ  
 ル」を通るとき更に分解され一方は振幅が  
 $\frac{a}{\sqrt{2}} \cos \alpha \cos \frac{\pi}{4} = \frac{a}{2} \cos \alpha$  となり其位相は  $[\frac{\pi}{2}]$   
 であり、他は振幅が  $\frac{a}{\sqrt{2}} \sin \alpha \cos \frac{\pi}{4} = \frac{a}{2} \sin \alpha$  と  
 なり其位相は [0] であります。

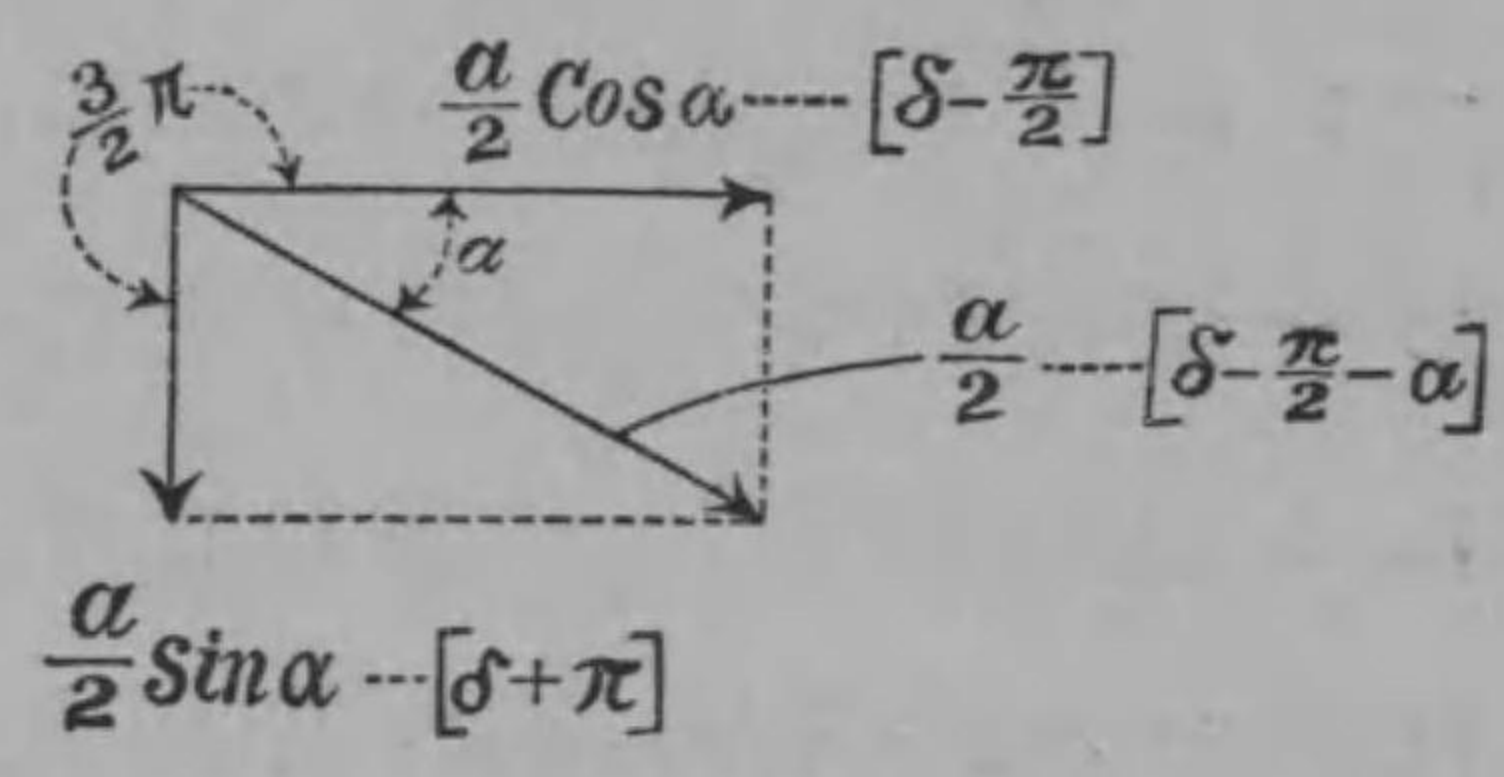
此二つが檢偏「=コル」中で重ね併さると  
 きは「ベクトル」的の合成をして其振幅を  
 求めねばなりません。即ち次の圖の様に  
 して求めて見ますると其合成結果の振幅  
 は

$$\left\{ \left( \frac{a}{2} \sin \alpha \right)^2 + \left( \frac{a}{2} \cos \alpha \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \frac{a}{2}$$



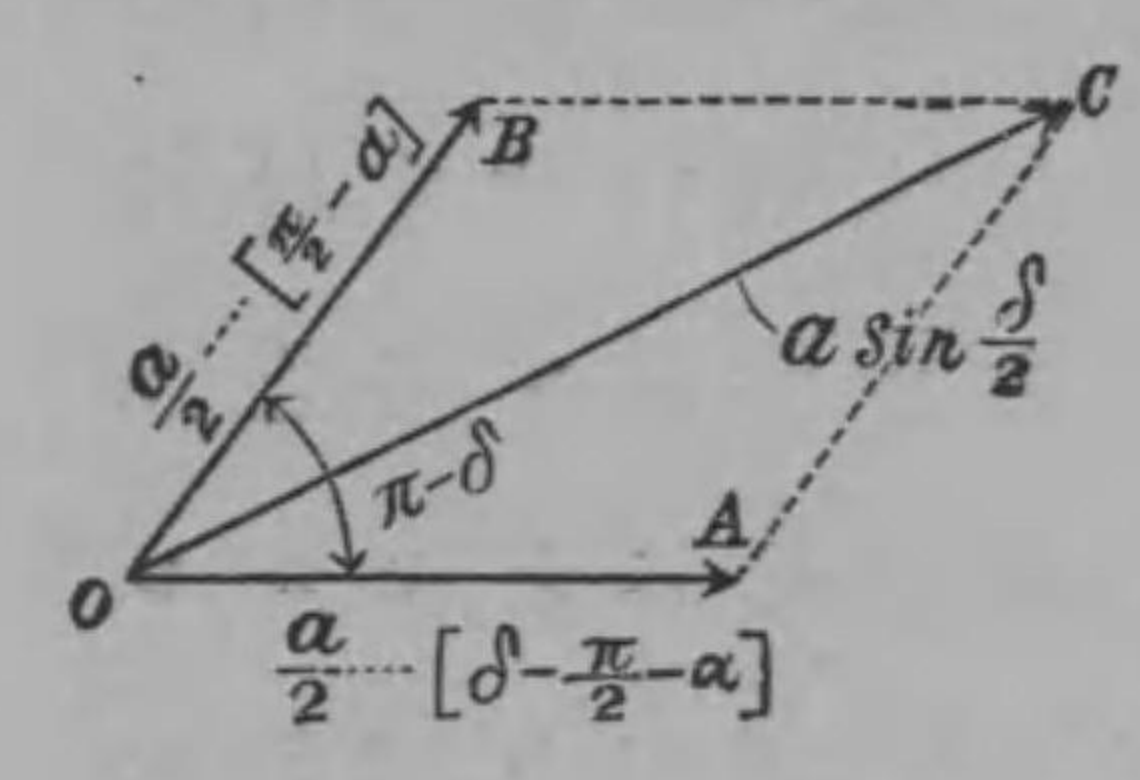
であり位相は圖より直  
 に明なる様に  $[\frac{\pi}{2} - \alpha]$  で  
 あります。次に前圖で  
 OY を異常光線の方の  
 振幅及び振動方向を表  
 すものとしますれば其振幅は  $\frac{a}{\sqrt{2}}$  で位相  
 は前に述べた様に  $[\delta + \frac{\pi}{2}]$  であります。今之  
 が第二の四分一波長板に當り之を通ると  
 きに一つは  $OY' = \frac{a}{\sqrt{2}} \cos \alpha$  の振幅で位相は  
 變りませんから  $[\delta + \frac{\pi}{2}]$  である光と、もう  
 一つは  $Y'Y = \frac{a}{\sqrt{2}} \sin \alpha$  の振幅で位相は四分  
 の一波長即ち  $\frac{\pi}{2}$  の角度丈進んだ  $[\delta + \pi]$  で  
 ある他の光とに分解します。之が更に檢  
 偏「=コル」を通るとき其方向に分解されま  
 すが Y'Y は振幅が  $\frac{a}{\sqrt{2}} \sin \alpha \cos \frac{\pi}{4} = \frac{a}{2} \sin \alpha$  と  
 なり位相は  $[\delta + \pi]$  です。他の OY' は振幅

が  $\frac{a}{\sqrt{2}} \cos \alpha \cos \frac{\pi}{4} = \frac{a}{2} \cos \alpha$  で位相は  $\left[ \delta + \frac{\pi}{2} - \pi \right]$   
 $= \left[ \delta - \frac{\pi}{2} \right]$  です、何故かと申しますと OY' を  
 OA 方向に分解したとき OY'' は OA と丁  
 度反対の向に向ひますから OA を正の方  
 向とすれば OY'' は負の方向になり即ち  $\pi$   
 丈位相の遅れたるものと考へねばなりま  
 せんから結局上の様に計算して位相は  
 $\left[ \delta - \frac{\pi}{2} \right]$  となります。 檢偏「=コル」の方向に  
 分解した此二つの光の合成は又「ベクト  
 ル」和をとらねばなりません、即ち一方の位  
 相は  $\left[ \delta - \frac{\pi}{2} \right]$  で他は  $[\delta + \pi]$  ですから此後者は  
 前者よりも  
 $\frac{3}{2}\pi$  丈位相  
 が進んで居  
 ります、其故  
 圖の様に「ベ  
 クトル」を表し其合成を求めますと振幅  
 は



$$\left\{ \left( \frac{a}{2} \cos \alpha \right)^2 + \left( \frac{a}{2} \sin \alpha \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \frac{a}{2}$$

となり位相は圖より明らかを通り  $\frac{a}{2} \cos \alpha$   
 の「ベクトル」よりも  $\alpha$  丈遅れて居ります  
 から  $\left[ \delta - \frac{\pi}{2} - \alpha \right]$  です。 偕前に求めた常光  
 線の方からの分と、此異常光線の方からの  
 分との合成をしますると檢偏「=コル」を通  
 る全光線の振幅が得られます。 此二つの  
 ものの位相差は  $\left[ \frac{\pi}{2} - \alpha \right] - \left[ \delta - \frac{\pi}{2} - \alpha \right] = [\pi - \delta]$   
 ですから次の圖の様にして「ベクトル」合  
 成を致します。 OA は異常光線から来た分  
 で OB は常光線の方から来た分です。 此方  
 が  $[\pi - \delta]$  丈位相が進んで居ります。 合成  
 したものの振幅 OC は



$$\begin{aligned}
 \overline{OC}^2 &= \overline{OA}^2 + \overline{OB}^2 \\
 &\quad + 2\overline{OA} \cdot \overline{OB} \cos(\pi - \delta) \\
 &= \frac{a^2}{4} + \frac{a^2}{4} + \frac{a^2}{2} \cos(\pi - \delta) \\
 &= \frac{a^2}{2} (1 - \cos \delta) = a^2 \sin^2 \frac{\delta}{2}
 \end{aligned}$$

$\overline{OC}$  は檢偏「ニコル」を通つた光の振幅です  
から其二乗は光の強さ  $I$  を表しますから  
 $\overline{OC}^2 = I$  依て

$$I = a^2 \sin^2 \frac{\delta}{2} \dots\dots\dots (3)$$

此式をづつと以前の(2)の式と比較して  
見ますると(3)式では(2)式中の  $\sin^2 2\alpha$  がな  
くなつて居ります、即ち二枚の四分一波長  
板を使ひますと挿入した結晶板の位置如  
何に關らず衝立上の光の強さに變りがな  
いことになり、言ひ換へれば結晶板を  
板自身の平面内でどんなに廻しても衝立  
上の光の強さに變りありません。

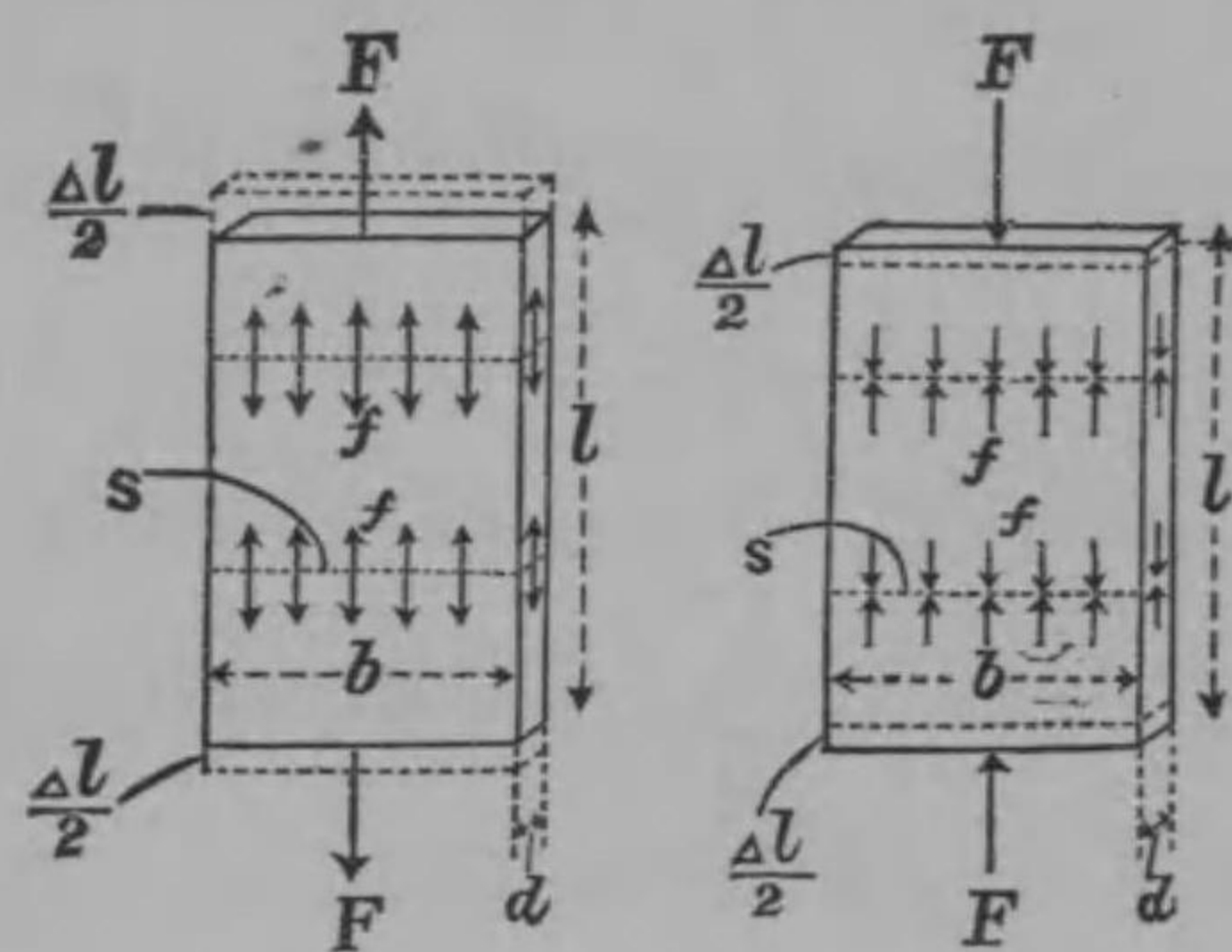
透明な「セルロイド」の板をとり前述の結  
晶板の代りに二つの四分の一波長板の間  
に挿して見ますると衝立は暗いですが、  
ども此板を若し引張るとか壓縮するとか  
して内部に「ストレス」を起させると「セル  
ロイド」板に丁度二重屈折性結晶板と同様の

性質が現れ衝立上に色附た光を得るに至  
ります。此事に就て委しく申す前に先づ  
「ストレス」の事に關して少しく説明致しま  
せう。

### 第三章

#### 「ストレス」に就て

一様なる横断面積  $s$  を有する板を両端に  $F$  なる力を加へ引張るか又は壓縮する、此時任意の横断面を考へて見るに其面の兩側に大き等しく方向相反する面に垂直なる力が働いて釣合つて居ります、此力を「ストレス」と云ひます、此時の「ストレス」は断面に垂直に働いて居ますから垂直「ストレス」と



呼び  $F$  が板を引張るときには伸張「ストレス」と云ひ、 $F$  が板を壓縮するときは壓縮「ス

トレス」と云ひます。「ストレス」の強さは單位面積に働く力の大きさを以てします、今之を  $f$  とすれば  $f \times s$  が  $F$  と釣合ひますから

$f \times s = F$  又は  $f = \frac{F}{s}$  となります、 $F$  が働いた爲に  $l$  なる長さに  $\Delta l$  丈の變化を生じましたとすれば此變化を「ストレーン」と呼び  $\frac{\Delta l}{l} = \lambda$  を以て「ストレーン」の大きさを表します。「ストレス」の強さを「ストレーン」の大きさを割つた比は其物質に特有な一定數になることは「フック」の法則として知られたる事柄で此比を「ヤング」の彈性率と申します、今「ヤング」率を  $E$  としますれば

$$E = \frac{f}{\lambda} = \frac{F/s}{\Delta l/l} = \frac{Fl}{s\Delta l}$$

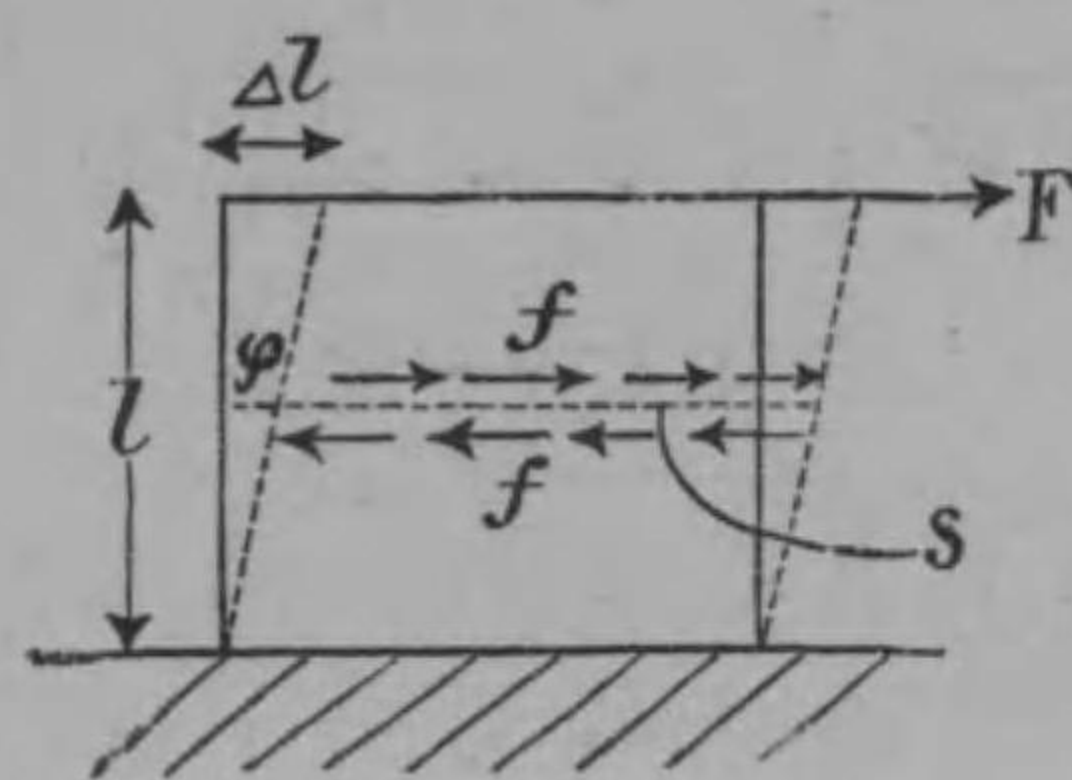
板が引張られ又は壓縮されて長さが變化すると同時に幅と厚みに間接の變化が起ります、今幅  $b$  が  $\Delta b$  丈、厚み  $d$  が  $\Delta d$  丈變化したとしますれば  $\Delta b/b = \Delta d/d$  でありまして且つ  $\Delta l/l$  との比が一定になります此比を「ポアソン」の比と云ひ  $\sigma$  で表します、

$$\frac{\Delta b/b}{\Delta l/l} = \frac{\Delta d/d}{\Delta l/l} = \sigma \quad \therefore \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta d}{\sigma \cdot d}$$



然るに  $E = \frac{f}{\Delta l/l} \therefore \frac{\Delta l}{l} = \frac{f}{E}$   
 $\therefore \frac{f}{E} = \frac{\Delta d}{\sigma \cdot d} \therefore f = \frac{E}{\sigma \cdot d} \cdot \Delta d \dots \dots (4)$

次の圖の様に一面を固定し之に對する他の面に沿ふてF, なる力を働かせ物體を變形せしめ、づりを起させます、此時



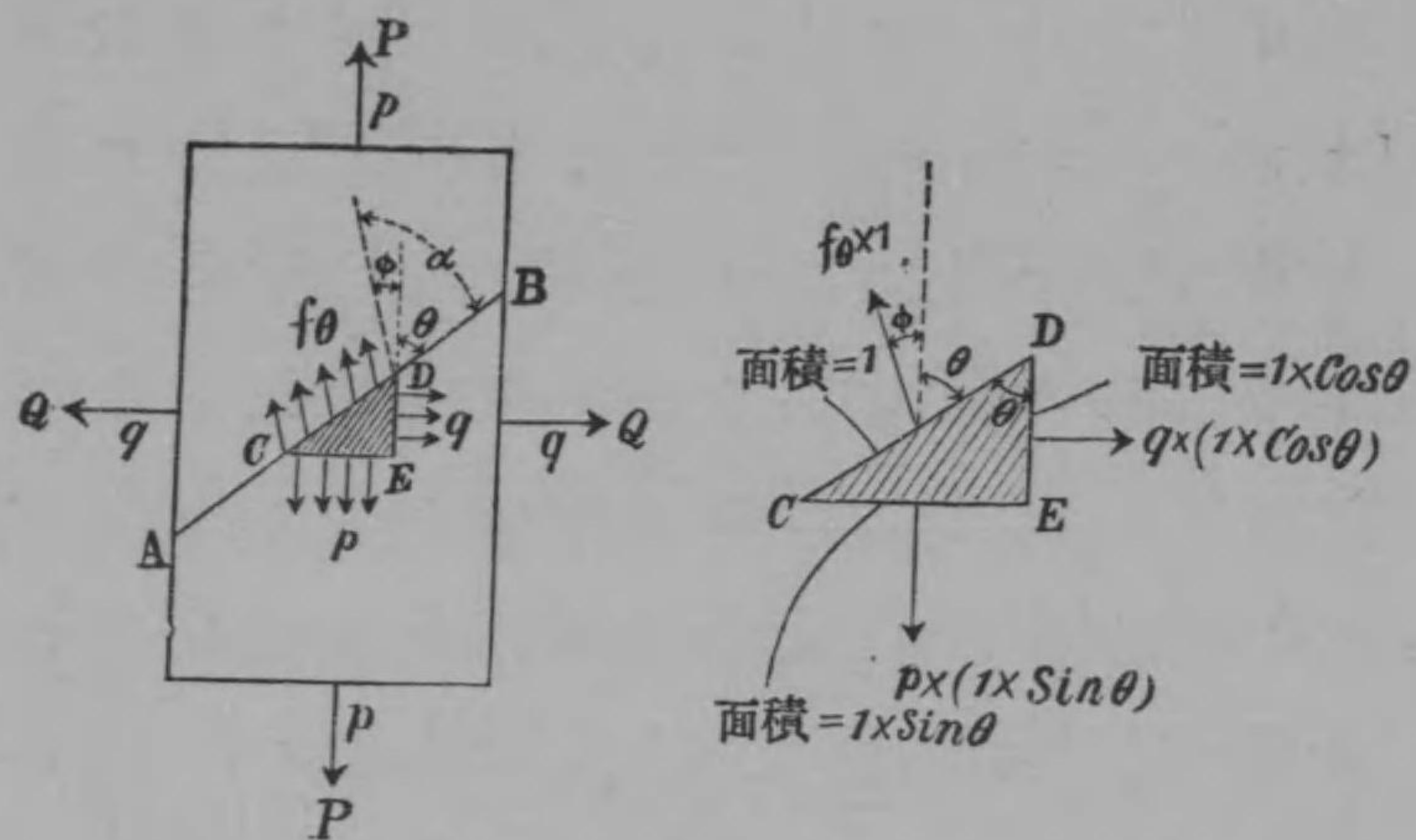
の面に沿ふてF, なる力を働かせ物體を變形せしめ、づりを起させます、此時断面 \$s\$ に沿ふて面

の兩側に大さ等しく方向相反する力が働いて釣合ふて居ます、此力を又「ストレス」と呼びますが此時の「ストレス」は面に沿ふて居りますから切線「ストレス」と云ひます。切線「ストレス」の大きさは矢張單位面積に沿ふて働く力の大きさを以て表し之を今 \$f\$ としますれば \$s\$ の断面に沿ふては \$f \cdot s\$ 丈働き之が \$F\$ と釣合ひますから \$F = f \cdot s\$ 依て \$f = \frac{F}{s}\$ です。此時の「ストレーン」は圖で示す \$\Delta l\$ を \$l\$

で割つたもの即ち \$\phi = \frac{\Delta l}{l}\$ で表されます。此時 \$f\$ と \$\phi\$ との比が又一定で其比を剛性率と呼びます。

物體に種々複雑な力が働き物體内部の「ストレス」が如何に複雑になつて居つても物體内の一點に於て或三つの特種な平面が存在して居ります、此平面は互に垂直に交つて居つて且つ其面に働く「ストレス」が全く垂直「ストレス」ばかりになつて居ます、斯様な面を主面 (Principal Plane) と呼び、主面に働く垂直「ストレス」を主「ストレス」 (Principal stress) と呼びます。今板面を考へ板面に垂直なる方向の「ストレス」は 0 なる場合を考へますと問題が三次元より二次元に簡單化され、主面が二つ主「ストレス」も二つになります。此主「ストレス」の一つは其點で他の方向の「ストレス」よりも常に大きく即ち極大値をとり、他の一つは其點

での他の方向の「ストレス」よりも常に小さく即ち極小値であります。今之を證する爲、次の様な場合を考て見ませう



圖の様に板を上下にPの力で引張り其爲に内部にPに垂直なる断面にpの「ストレス」が働き、又同時に横にQの力で引張り其爲にQに垂直なる面にqの「ストレス」が働き居るとします。今任意の断面ABに如何なる「ストレス」が働いて居るかを調べて見ませう。AB面に働く「ストレス」を $f_\theta$ で表し、

AB面中CDなる單位面積の部分をとつて考て見ませう、又CDEなる部分をとつて考て見ますると釣合つて居ますからCD面に働く「ストレス」の合力 $f_\theta \times 1$ とCE面に働く「ストレス」pの合力 $p \times (1 \times \sin \theta)$ とDE面に働く「ストレス」qの合力 $q \times (1 \times \cos \theta)$ とは釣合ふ可きであります。即ち

$$f_\theta \cos \phi = p \sin \theta$$

$$f_\theta \sin \phi = q \cos \theta$$

$$\therefore f_\theta = \sqrt{p^2 \sin^2 \theta + q^2 \cos^2 \theta}$$

又「ストレス」 $f_\theta$ の方向は

$$\tan \phi = \frac{q}{p} \cot \theta$$

$$\tan \alpha = \tan(\phi + \theta)$$

$$= \frac{\tan \phi + \tan \theta}{1 - \tan \phi \tan \theta} = \frac{p \tan^2 \theta + q}{p - q \tan \theta}$$

$f_\theta$ は $\theta$ の變るに従ひ變化します。 $f_\theta$ の極大、極小の値を求めて見ませう。

$$\frac{df_{\theta}}{d\theta} = \frac{p^2 \sin\theta \cos\theta - q^2 \cos\theta \sin\theta}{\sqrt{p^2 \sin^2\theta + q^2 \cos^2\theta}} = \frac{(p^2 - q^2) \sin 2\theta}{2\sqrt{p^2 \sin^2\theta + q^2 \cos^2\theta}}$$

$$\frac{df_{\theta}}{d\theta} = 0 \text{ と置きますと } \theta = 0 \text{ 又は } \theta = \frac{\pi}{2}$$

即ち P, Q に垂直なる断面に働く「ストレス」  
 $p, q$  が極大、極小値を與へ且つ此等は其等  
 の断面に於ける垂直「ストレス」です、依て  
 $p, q$  は前に述べた主「ストレス」であつて即ち  
 主「ストレス」は互に垂直になつて居て極大、  
 極小値のものであります

## 第四章

「ストレス」の起れる板により  
 て生ずる色光の理並ニ色と  
 「ストレス」との関係

前に「ストレス」の起て居る「セルロイド」板  
 を結晶板の代りに兩「クロスド、ニコル」と兩  
 雲母板の間に挿入すると結晶を入れたる  
 ときと同様に衝立上に色附た光が現れる  
 ことを述べました。其譯は圓偏光が結晶  
 板に當ると或特種な互に垂直なる二方向  
 に振動する平面偏光に分解され其が板を  
 通過する間に位相の差を起し其位相差の  
 生じた二つの光が檢偏「ニコル」で併され干  
 渉を起し色を生ずるのであります。「スト  
 レス」を生じ居る「セルロイド」板も結晶板と  
 全く同様の性質を現し「セルロイド」板に當  
 つた圓偏光が二つの主「ストレス」の方向の

平面偏光に分解され、且つ此二偏光が板を通る間に位相の差を起すので其位相差  $\delta$  は主「ストレス」 $p, q$  の差に比例し板の厚み  $d$  に比例し光の波長  $\lambda$  に反比例するのであります即ち

$$\delta = \frac{c}{\lambda}(p-q)d \dots \dots \dots (5)$$

$c$  は比例常數でありまして「セルロイド」の種類によつて定まる常數であります。此式は (1) 式と比較相對する式であります。波長  $\lambda$  により  $\delta$  が變り  $\delta$  の値次第により (3) 式の  $I$  の値が變りますから丁度ある  $\lambda$  に對し  $I=0$  となると残の波長の光の合した色が現れます。 $(p-q)$  が變れば  $\delta$  が變り  $I=0$  にする  $\lambda$  の値が變つて來ますから従て残の光の色も變り従て「セルロイド」板の主「ストレス」の値の變ることによりて衝立上に生ずる色が變つて參ります。「セルロイド」板の各部分で「ストレス」の値が異つて

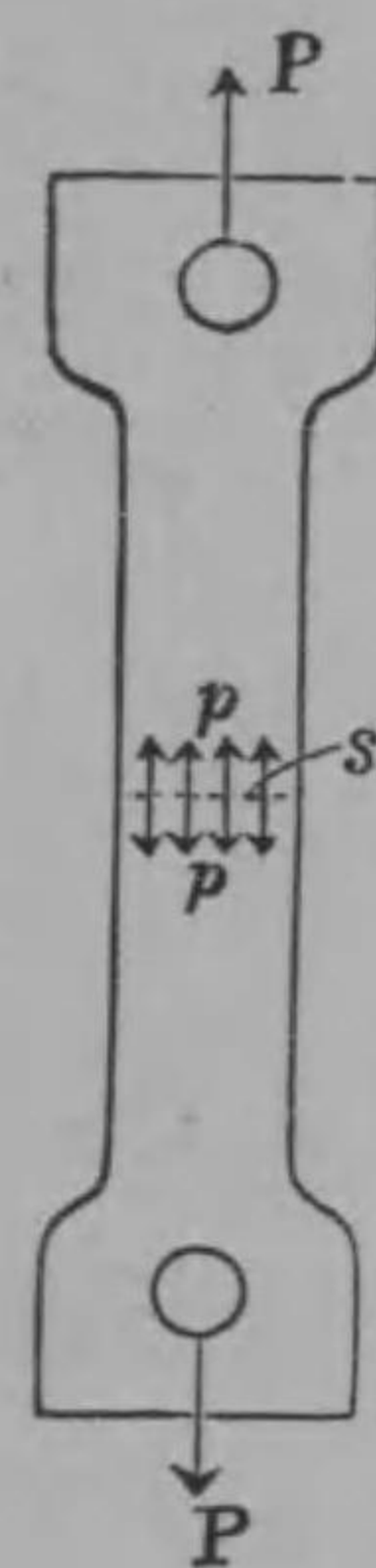
居るとき衝立上に「セルロイド」板の像を作り調べて見ますと主「ストレス」の大小に應じ各部分異つた色が現れます。

圖の様な形の「セルロイド」板を  $P$  なる力で引張ります、中央部は斷面積が一様でありますし力の働かせ方が簡單でありますから中央部での「ストレス」は簡單で側縁に平行な  $p$  なる「ストレス」で他の主「ストレス」

$q$  は此場合 0 になります。従て (5) 式は

$$\delta = \frac{c}{\lambda} p \cdot d \dots \dots \dots (6)$$

となります。斷面積  $s$  及び働かせた力  $P$  が分つて居ますから「ストレス」 $p$  が直ぐ計算が出來ます。 $P$  の値を變へ従て  $p$  の値を變へますと前に述べた通り衝立上の此物の像の色が變つて來ます。幾何の  $p$  に對し



如何なる色を生ずるか  $p$  と色との関係を豫め実験によつて定めて置けば逆に色を見て「ストレス」 $p$  の大小又は  $p$  の大體の値を知ることが出来ます。今其一例として或「セルロイド」板で行つた実験で色と張力との関係を書いて見ますと、

I	{	黒..... 0	II	{	藍.....13.
		灰..... 3.5			黄.....18.
		白..... 5.5			赤.....21.
		薄黄..... 8			紫.....22.
		橙黄..... 10.			
		赤褐.....10.5			
		紫..... 11.			

(着色附圖を参考して下さい)

「スペクトル」の場合に第一次「スペクトル」第二次「スペクトル」と云ふ様に同じ色の順序が繰返されるが様に、此場合も「ストレス」が或程度を超へると再び元の色と似寄つた

色が繰返さるゝもので上に I, II と記したものは第一次第二次の意味であります。板の形が複雑になりますと「ストレス」の分布も複雑になりますが衝立上に生ずる板の像の色を見上の様な色の表と對照して板の何處の邊が一番大きい「ストレス」が働くか、一番大きな「ストレス」の働く點は板の一番弱い點になりますから其れにより材料強弱上大なる參考資料を供する譯になります。此方法は最も簡単に最も便利に板の「ストレス」分布を定め得る方法であります。

着色附圖第二圖は棒を曲げた時生ずる色を示すもので中央の黒線は中性線 (Neutral line) 即ち棒を曲げたとき伸びも縮もしない部分で従て此部分には「ストレス」が起らず暗黒部を生ずるのです。中性線から段々棒の上面へ近づくにつれ伸びが多くなり伸張「ストレス」が増しますから色が段

々と變つて行きます。中性線から棒の下面に近づくと棒の縮りが増し従て壓縮「ストレス」が増しますから之れ又段々異つた色が出て居ります。第三圖は圓い切れ目の入つた棒を曲たもので中性線の形が變り又「ストレス」の強さの等しいことを表す同じ色の線が直線でなくなり曲つて來ることが見へます。又どの邊に強い「ストレス」が働いて居るか色を見ますと分ります。第四圖は船の甲板に似せて作つた板に四角や圓い孔のあいてある場合の「ストレス」分布を示すものです。第五圖は鉤に力の働いたときの「ストレス」分布、第六圖は「ネヂ」廻して「ネヂ」を廻して居るときの「ストレス」の分布を示します。

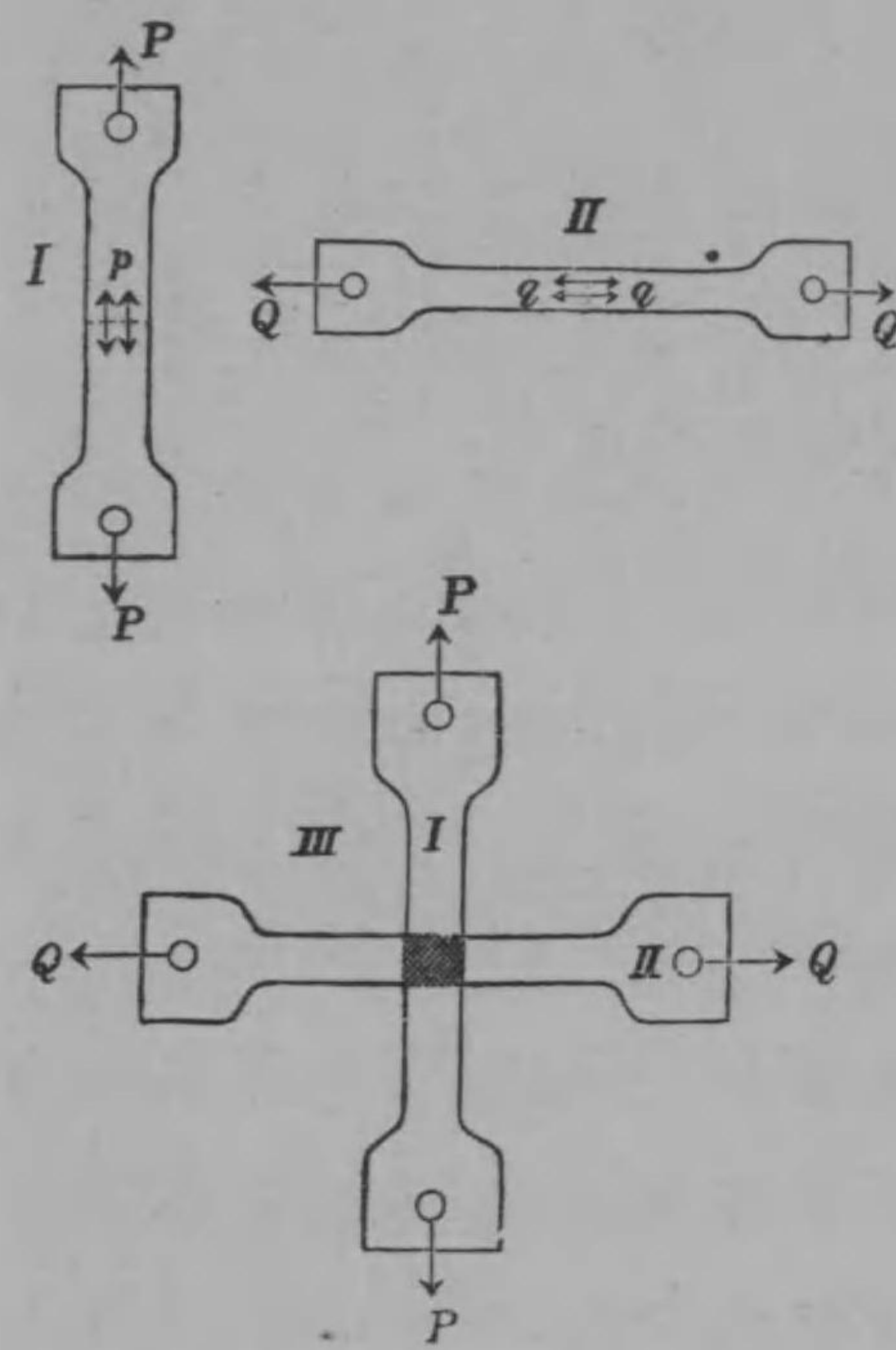
次に「ストレス」の大きさに就きましては唯單に目を以て色を比較して決定すると云ふことは誠に不精確でありますから次に述る様な別の方法をとらねばなりません。

## 第五章

主「ストレス」の大きさの決定殊に

主「ストレス」の差に就て

一様な厚みの同じ「セルロイド」板から圖の I, II の様な形を作り I には P の力を、

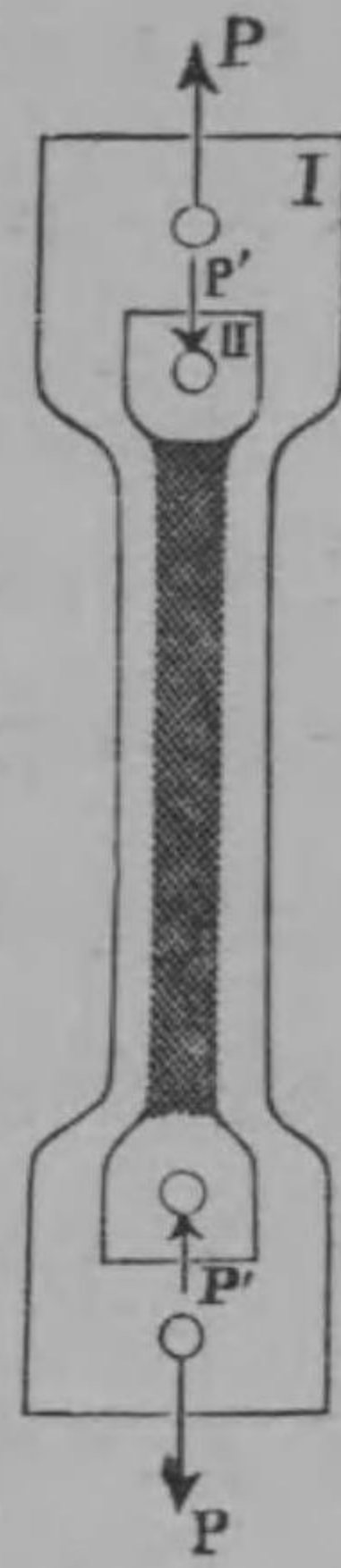


II には Q の力を働かせ之を引張つて内部に  $p, q$  の「ストレス」を起して置きます。I, II を別々に偏光で檢べて見ますと夫々  $p, q$  に應じた色が衝立上の

此等の像に現れます。今IIIの様IとIIを互に垂直に交らせQの力を變へ $q=p$ になる様に致します。そうして其時偏光で調べて見ますると衝立上の像のI,IIの重なつて居る部分は暗黒になります。(着色附圖参照) 其理は(5)式に於て $p=q$ としますると $\delta=0$ となり従て(3)式で $I=0$ となり

暗黒になる譯であります。PもQも壓力であつても同様なことが起ります。

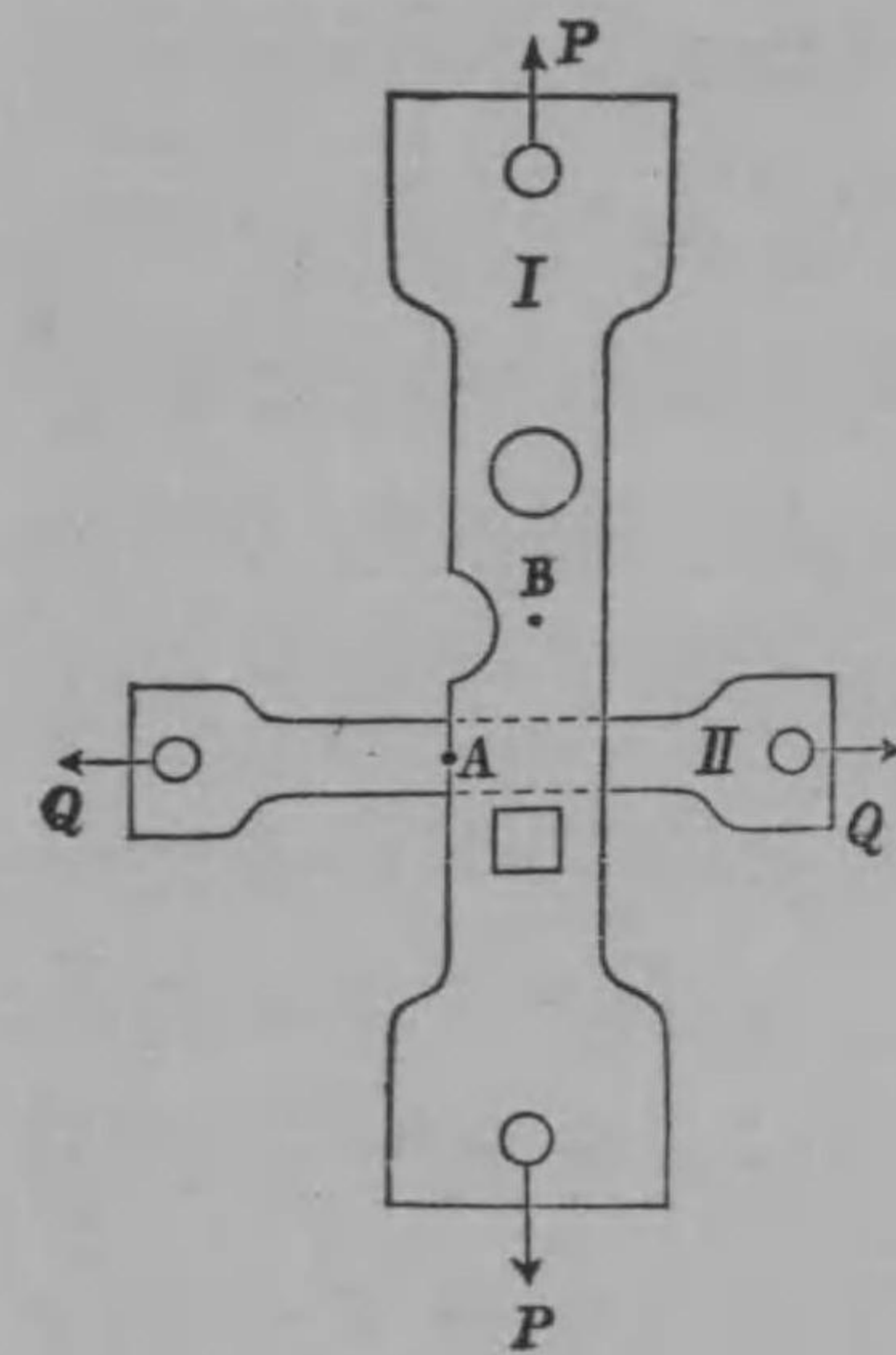
此事を逆に考へますればIIIの様I,IIを重ね偏光で調べ乍らQの大きさを變て行きI,IIの重なり部分が暗黒になつたなら $p=q$ でありますから $p, q$ の何れかゞ既知で他が未知數であつたなら未知の「ストレス」を知ることが出来る譯で



あります。又前頁の圖の様にI,IIを平行位置に置きIをPで引張りIIをP'で壓縮します。Iに起る「ストレス」を $p$ ,IIに起る「ストレス」を $p'$ とします。 $p$ と $p'$ は符號が反對であります。 $p$ と $p'$ の絶對値が等しくなつた時I,IIの重なつた部分の像は又暗くなります。(着色附圖参照) 何故かと申せば

$p+(-p')=0$  で其値を(6)式に入れますと $\delta=0$ になりますからです。

次に左圖のIの様に板に圓い穴や四角な穴をあけ又側縁に圓形の切込のある材料のA點に於ける「ストレス」を知り度いと思ふ



たとひませう。斯様な複雑な形をした板の「ストレス」の分布や大きさは到底数字的には求められぬもので、どうしても実験に訴へ調べねばならぬものであつて実験的に調べ得ると云ふことは此方法の最も価値のある點であります。A 點の様な板の周縁に於きましては板の自由端でありますから主「ストレス」の一つは必ず縁に沿ふて働き他の主「ストレス」は(縁に垂直方向のもの)0 になります。即ち  $p, q$  の中  $q=0$  であります。今 II なる横斷面積が一樣な板を持來し圖の様に I と垂直に交らせ且つ A 點に於て重なる様に置きます。偏光により I, II の重なり部分殊に A 部分の像を衝立上に作り置き II を引張る力  $Q$  を加減して A 點の像の處が眞暗になる様にします。そうすると I の A 點に於ける「ストレス」 $p$  と此時 II に起きて居る「ストレス」 $q'$  とが等

しいのであります。但し I, II は同じ材料板から切り取りたる厚さや性質の等しい板とするのです。 $q'$  は  $Q$  が分り II 板の斷面積  $s$  が分り且つ II に起きて居る「ストレス」は一樣であることが分つて居りますから直ぐ  $q'=Q/s$  で分り、從て求むる A 點の「ストレス」が分ります。

材料強弱の方では此周縁に於ける點の「ストレス」が必要なことが多く、其ならば上述の方法により簡単に求め得られるのであります。

板の内部の一點例へば B の如き點に於きましては主「ストレス」が二つ存在しますから上述の様に此實驗丈で簡単に「ストレス」は定まりません。前と同様 II を B 點にて I の主「ストレス」 $p$  に垂直に  $q$  に平行になる様に重ね (B 點での主「ストレス」の方向は形の上より直に分る場合もあり、分らぬ



場合には後に述べる方法で決定することが出来ます)偏光で調べ乍ら  $Q$  を加減し  $B$  の像が真暗になつた時  $II$  の「ストレス」を  $q'$  とし  $I$  の  $B$  點での主「ストレス」を  $p, q$  としますと (5) 式の  $(p-q)$  の處は  $\{p-(q+q')\}$  となり且つ (5) 式の  $\delta$  が  $\delta=0$  でなくてはなりませんから(衝立上で  $B$  の部の像が真暗となりし故)

$$\therefore p-q=q' \dots\dots\dots (7)$$

$q'$  は前に述べたと同様にして直に計算から出ます故(7)により  $B$  點の  $p-q$  が分ります。之に次に述べる方法により  $p+q$  を求め之と組合せ、 $p$  及び  $q$  を得るのであります。次に  $p+q$  の求め方を述べませう。

## 第六章

### 主「ストレス」の和の測定

$I$  を引張る力  $P=0$  のとき  $B$  點の厚さを精密に測定し之を  $d$  とします。次に  $P$  を働かせたとき又厚さを測り厚さの差違を  $\Delta d$  とします。 $I$  板の  $B$  點は  $p$  の「ストレス」の爲に厚さが薄くなり、又  $q$  の「ストレス」の爲にも亦厚さが薄くなつたのでありますから、 $B$  部の厚さの差違  $\Delta d$  は結局  $p+q$  の「ストレス」の爲であり (4) 式の  $f$  の代りに今は  $p+q$  を置く可きであります、即ち

$$p+q = \frac{E}{\sigma \cdot d} \Delta d \dots\dots\dots (8)$$

別に  $II$  の板に  $Q$  を働かせぬときの厚みを測り、次で  $Q$  を働かせ厚みの差  $\Delta d'$  を測ります、此時  $II$  の内部の「ストレス」は  $q'$  とします、之を (4) 式の  $f$  に代入しますると

$$q_1' = \frac{E}{\sigma \cdot d} \Delta d' \dots\dots\dots (9)$$

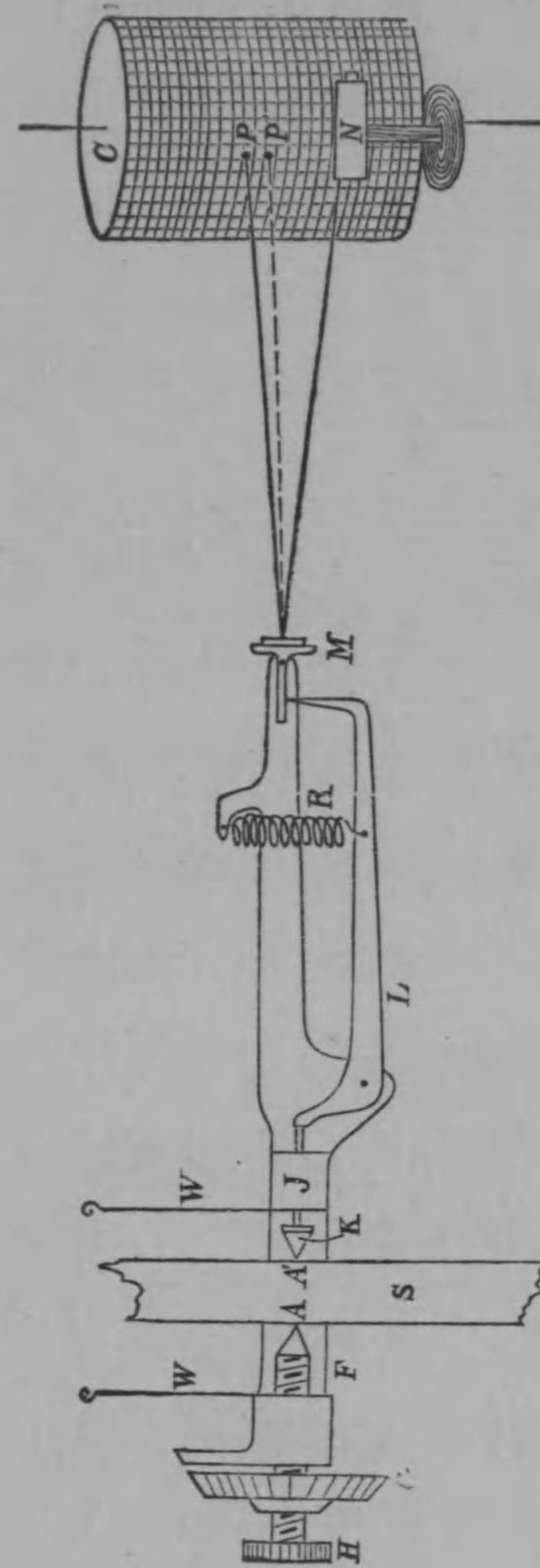
(8)(9)の兩式より

$$p+q = q_1' \times \frac{\Delta d}{\Delta d'} \dots\dots\dots (10)$$

$q_1'$ は直ぐ計算が出来  $\Delta d, \Delta d'$ は實際測定したのでありますから既知であり従て(10)式の右邊は凡て分りますから(10)により  $p+q$ が得られます。次に(7)と(10)とから

$$\left. \begin{aligned} p &= \frac{(10)+(7)}{2} \\ q &= \frac{(10)-(7)}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

次に厚みの變化  $\Delta d$  及び  $\Delta d'$  の測定法を述べませう。



圖に於て  $s$  は試験板で板上の一點  $A$  の處の厚みの變化を測るものとしませう。  $A$  と  $A'$  に對したる板の裏面の點  $A'$  を兩側から測微螺旋  $FGH$  の螺旋の尖端  $F$  と針の尖端  $K$  との間に挟みます。針  $K$  は  $J$  の部分に貫き通されて居て軽く自由に左右に動きます。  $K$  の右端は挺子  $L$  の左端に接して居り、  $L$  の右臂は  $R$  の「ゼンマイ」で始終引

上げられ従て K は左方に押され板面に軽く接して居ります。L の右端は上方に曲り其先で鏡 M の柄を支へて居ります。K が左右に動けば L が動き従て鏡 M の傾が變ります。測微螺旋 FGH の一廻轉の分數は G の周圍の目盛にて讀めます。此全體の装置は W なる細い針金で上より吊り下げられ、又 W は圖には示して居りませんが前後左右に自由に動かすことが出来る臺に引懸けられ、従て FK の尖端を板の任意の點に軽く當ることが出来ます。N は「ネルンスト、ランプ」で之から出た光が M で反射し鉛直軸の周りに廻ることの出来る圓筒 C の表面に卷かれたる方眼紙上に P なる像を作ります。AA' の部の板の厚みが薄くなると K は左に動き L の右端は上に動き、M は下に傾き光の像は P' に移ります。PP' は實際 AA' の厚みの變化を約一萬

倍されたもので其倍率が分れば PP' の長さを測ることにより AA' の部分の厚みの變化を知ることが出来ます。此倍率を決定するには H を振り G によりて廻轉の分量が分り、又螺旋の歩みが分つて居ますから其から F の部が右へ何程出たかを知れ、又實際圓筒上の光の像が何程移動するかを測り倍率が計算出来ます。實際に於ては (10) 式に於て見る様に試験板の厚みの變化  $\Delta d$  と比較板の厚みの變化  $\Delta d'$  との比が必要なる故圓筒上にて光點 P の動く距離の比をとれば其にて  $\frac{\Delta d}{\Delta d'}$  が直に分ることとなり一々倍率を求めずとも宜しい譯であります。

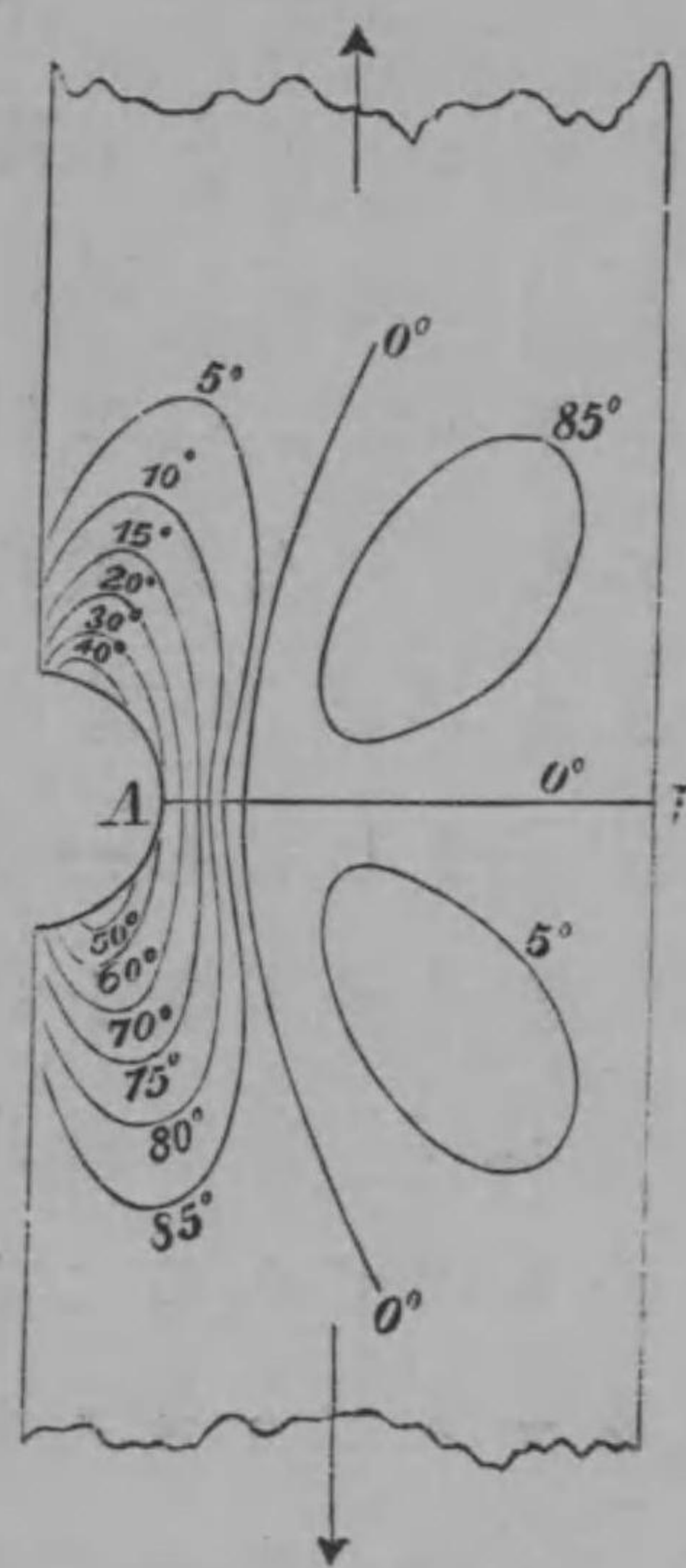
## 第七章

### 主「ストレス」の方向決定並に 主「ストレス」曲線を求める法

次に「ストレス」の起て居る試験板の一點に於ける主「ストレス」の方向を定め、又主「ストレス」曲線を引く方法を説明して見ませう。前に述べた装置の中で二つの四分一波長板を取除き「クロスド、ニコル」の間に試験板を入れ衝立上の板の像を検べて見ますと板の像は全體として明く其中に暗黒な曲線の現れて居るのを認めます。(2)式によつて考て見ますと「ニコル」の一方の方向の振動方向と主「ストレス」の方向が一致しますると  $\alpha=0$  か  $\alpha=90^\circ$  になりますから従て  $\sin 2\alpha=0$  となり  $I=0$  となり暗黒部を生ずる譯になります。従て上に述べた暗黒の曲線は「ニコル」の一方の方向の振動方向

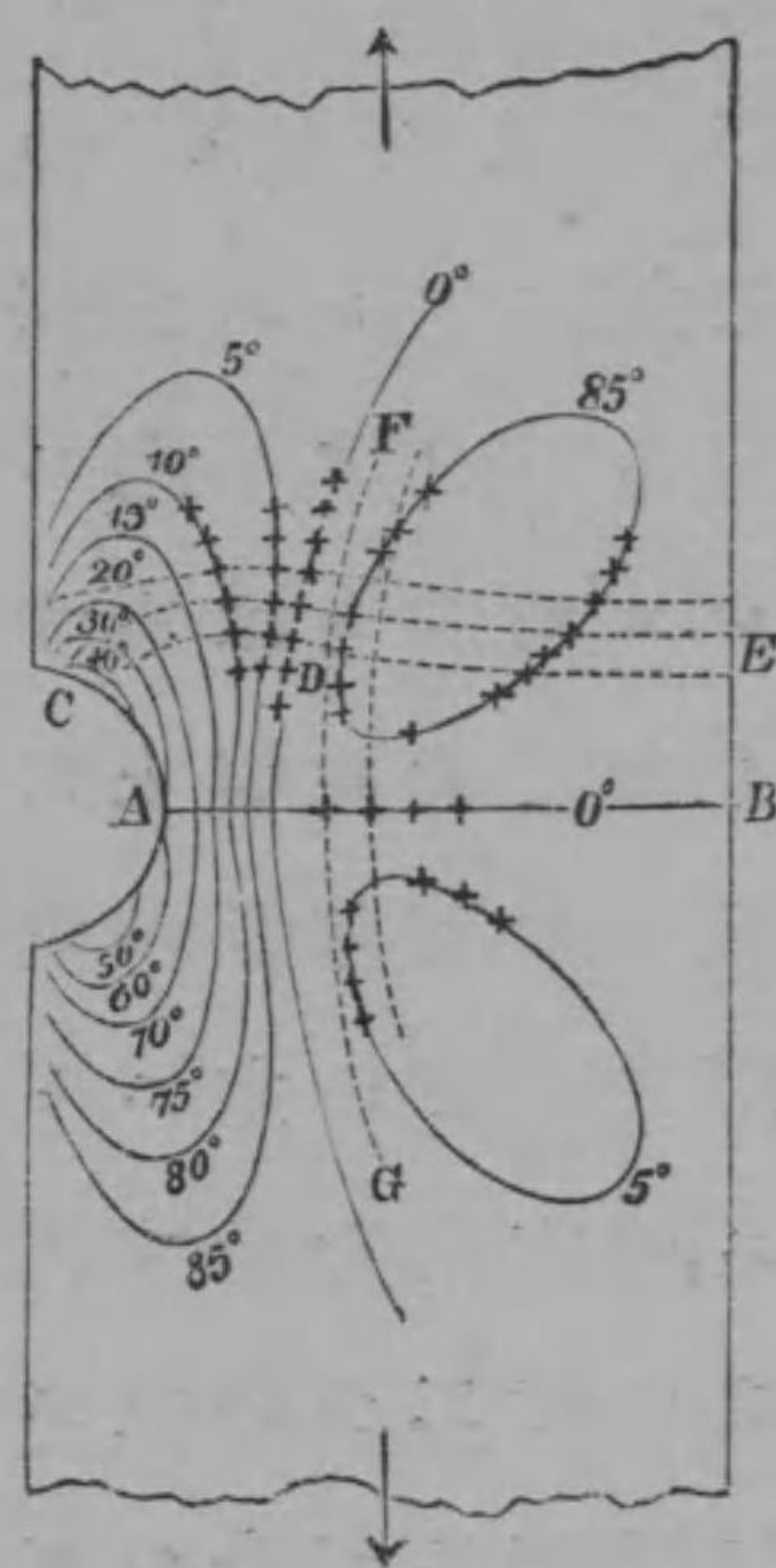
と主「ストレス」の方向とが一致した様な各點の軌跡になる譯であります。換言すれば主「ストレス」の傾角が等しい點の軌跡即ち等傾角線が暗黒曲線となるのであります。試験板の形の上から對稱の考を以て想像して見ますれば此の等傾角線中の一つがよく分つて居るものがあります。今兩「ニコル」を「クロス」の位置を保ち乍ら廻轉し初め想像して居た等傾角線の處へ暗黒線を生ずる様にします。例へば下圖の様に板の一つの縁に半圓の切目のある試験板を實例にとつて申しますれば AB 線は對稱の考よりしますればどうしても一つの等傾角線であります。即ち AB 線上の各點の主「ストレス」の方向は AB 線に垂直であるか AB 線に沿ふたものであることが想像されます。依て「クロスド、ニコル」を「クロス」したまゝ廻轉し AB 線の處へ暗黒

線が出来る様に致します。此時 AB 線以外に圖に於て  $0^\circ$  と記した暗黒曲線を得るのであります。此曲線上の各點の主「ストレス」の方向も AB 線上の各點の主「ストレス」の方向と一致して居り AB 線に垂直及び平行であります。次に兩「ニコル」を「クロス」



のまゝで  $5^\circ$  丈廻轉しますると圖に  $5^\circ$  と記した様な暗黒曲線を得られます。此曲線上の各點の主「ストレス」の方向は  $0^\circ$  と記した曲線上の各點の主「ストレス」とは  $5^\circ$  の傾きをなして居るのであります。次に更に同じ方向に兩「ニコル」を「クロス」したまゝで

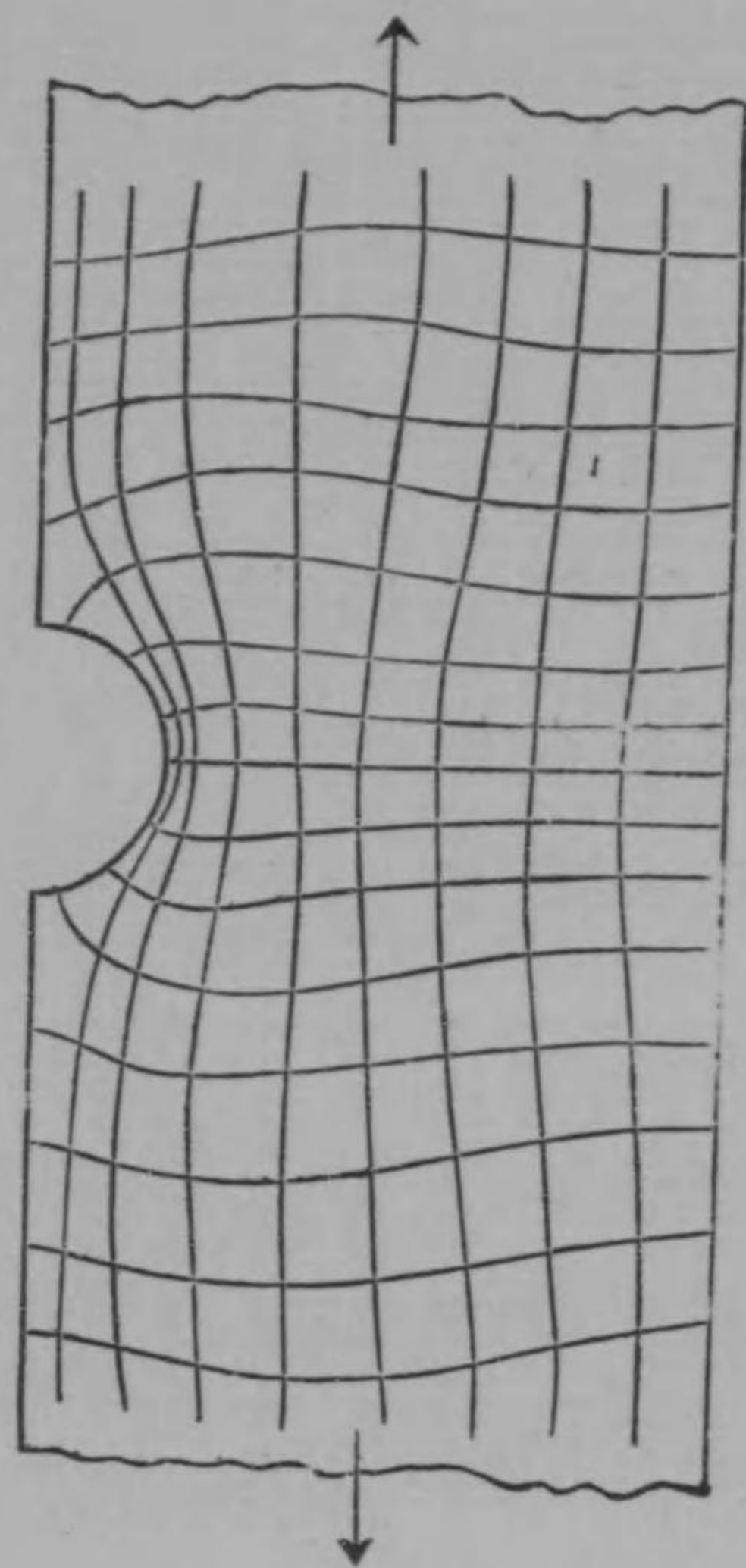
$5^\circ$  丈廻し即ち初めより申しますと  $10^\circ$  廻しますと圖に  $10^\circ$  と記したる様な暗黒曲線を生じます。此曲線上の各點の主「ストレス」の方向は  $0^\circ$  曲線上の各點の主「ストレス」の方向とは  $10^\circ$  の傾きを有したものであります。追て斯の如くして  $15^\circ, 20^\circ, 30^\circ \dots$



...の各等傾角線を求め得られます。此等の等傾角線が分れば即ち各點での主「ストレス」の方向が分つた譯であります。尙次に主「ストレス」曲線を引く方法を申しませう。  $0^\circ$  の等傾角線上の各點に AB 線に垂直並に平行なる短い

十字線を圖の様に多く引きます。次に  $5^\circ$

の等傾角線上の各點を通して AB 線とは  
 $5^\circ$  の傾き(「ニコル」を廻した方へ角を測る)  
 と  $95^\circ$  の傾きをした短十字線を多く引き  
 ます。追て斯の如くして各傾角線に十字



線を多く引き、偕此等  
 の十字線に接する曲  
 線を適當に引けば  
 CDE 又は FDG の様  
 な主「ストレス」曲線が  
 得られます。主「スト  
 レス」曲線とは申す迄  
 もなく此曲線上の各  
 點での切線及び垂線  
 が其點での主「スト  
 レス」の方向を示す處の  
 もので二つの主「スト

レス」曲線は何れも互に垂直に切合つて居  
 ます。今一例として前の圖から求めた主

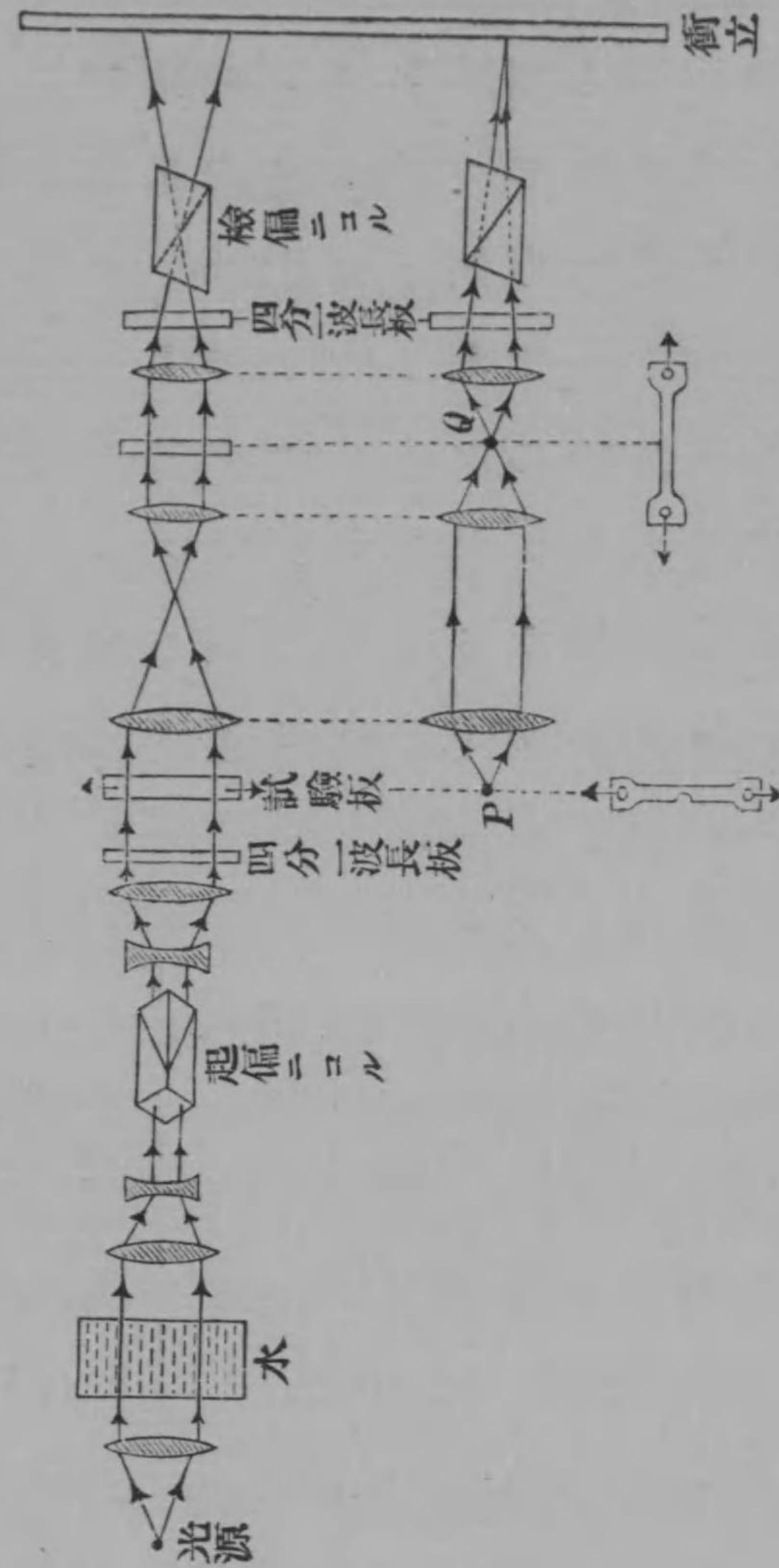
「ストレス」曲線を示して見れば前頁の圖の  
 様になります。

## 第八章

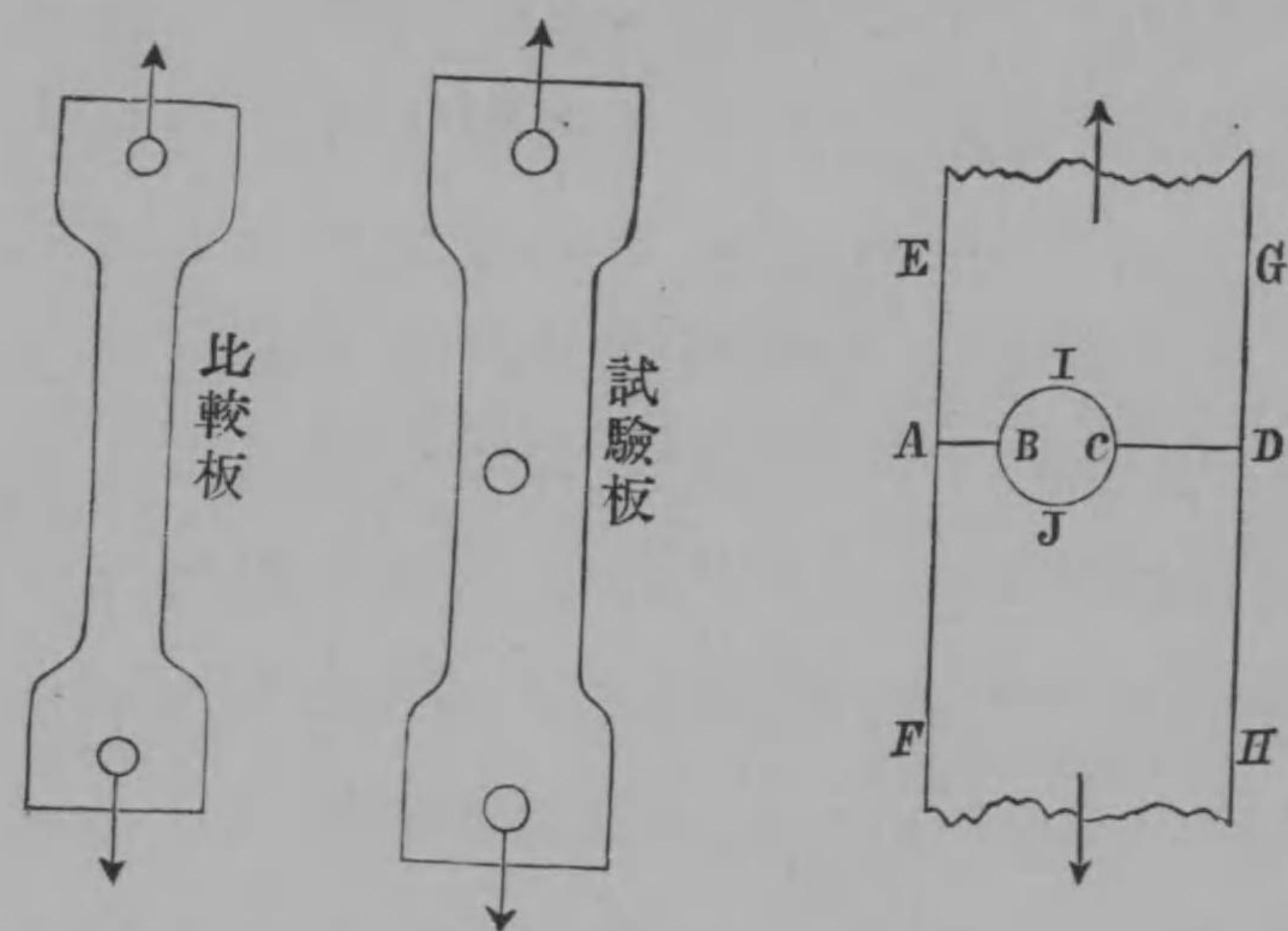
### 実験の実際と實例

以上一通り「ストレス」の定め方を述べましたが尙此處に實際実験に於て使ふ偏光装置の全體を圖で説明致しませう。光源は弧光燈又は「ポイント、ライト」を用ひ光は水を通し熱を吸収させて後「ニコル」に當てます。試験板の一點 P から出た光が一點に集る Q 點に断面が一樣であつて其「ストレス」が容易に計算し得る板を置くのであります。光の進み具合は圖に明でありますから茲には委しくは申しません。

終に當り茲に私が「ストレス」分布を調べた一つの板に就て其結果を申しませう。其板は幅 1" で中央から一方へ片寄つた處に直径 0.380" の圓形の孔が穿たれ居り、此板の一つの縁から孔の縁迄が 0.435" で他の縁から孔の他の縁迄が 0.185" でありま



す。厚さは 0.1203" の板であります。板は大抵初めから多少「ストレス」が起きて居ますから此初の「ストレス」の影響を除く爲に初め小さい力例へば 10 lbs. の力で引張り其時の厚みを測り次に 60 lbs. の力で板を引張り其時の厚みを測り其二つの値の差は結局 50 lbs. 荷重に対する「ストレス」を與へることになります。尙平均をとるの意味を以て又 20 lbs. の荷重と 70 lbs. の荷



重の時の差から又 50 lbs. 荷重に対する値を得之と前のものとの和を求め 100 lbs. 荷重に対する「ストレス」を出します。厚みの變化の時のみならず偏光を用ひ  $p-q$  を求めるときも同様の手段をとります。

$p+q$  を求めるには試験板とは別の断面の一樣な比較板をとり之の厚みの變化  $\Delta d'$  を測り又其「ストレス」  $q_1'$  を求め (10) 式で  $p+q$  を求めるのです。今比較板には前に述べたと同じ様な方法で 80 lbs. の荷重をかけたときの  $\Delta d'$  を測りますと圓筒上の讀取平均(約一萬倍されたるもの)は 2.75" となります。此測定結果は第一表の通りです。

比較板の幅は 0.3745" 厚みは 0.1203" ですから「ストレス」  $q_1'$  は

$$q_1' = \frac{80}{0.3745 \times 0.1203} \text{ lbs./in}^2$$

其故 (10) 式は次の様になります。



$$p+q = \frac{80}{0.3745 \times 0.1203} \times \frac{\Delta d}{2.75}$$

$$= 645 \cdot \Delta d \dots \dots \dots (12)$$

表 1. 比較板厚みの変化

縁よりの距離	圓筒上の讀取 $\Delta d'$		
	(A) (50-10) lbs. に對し	(B) (60-20) lbs. に對し	(C) (A)+(B)=80lbs. に對し
0.065"	1.34"	1.33"	2.67"
0.100	1.36	1.36	2.72
0.135	1.40	1.38	2.78
0.170	1.38	1.37	2.75
0.205	1.36	1.38	2.74
0.240	1.36	1.39	2.75
0.275	1.36	1.41	2.77
0.310	1.38	1.36	2.74
(最上欄の値は不良故除きて平均をとる)			平均 2.75"

表 2. AB 部分の  $p+q$

A よりの距離	圓筒上の讀取 $\Delta d$			$(p+q)$ lbs./□"
	(A) (60-10) lbs. に對し	(B) (70-20) lbs. に對し	(C) (A)+(B)=100 lbs. に對し	
0.020"	0.94"	0.84"	1.78"	1150
0.050	1.07	1.01	2.08	1340
0.080	1.23	1.21	2.44	1570
0.110	1.53	1.52	3.05	1970
0.140	1.79	1.84	3.63	2340
0.170	2.13	2.25	4.38	2830

此第二表の右方の欄の  $p+q$  は (12) 式により計算したものであります。

次に  $p-q$  の値の計算には (7) によるので此時用いた比較板の厚さは 0.122" で幅は 0.3745" 故「ストレス」 $q'$  は

$$q' = \text{荷重} / (0.122 \times 0.3745)$$

で計算して求めます。

表 3. AB 部分の  $p-q$

A よりの距離	比較板に加へし荷重							$(p-q)$ lbs./□"
	試験板荷重							
	(A) 10lbs. に對し	(B) 20lbs. に對し	(C) 60lbs. に對し	(D) 70lbs. に對し	(E) (C)-(A) =50lbs. に對し	(F) (D)-(B) =50lbs. に對し	(G) (E)+(F) =100lbs. に對し	
0.015"	15lbs.	18lbs.	38lbs.	41lbs.	23lbs.	23lbs.	46lbs.	1010
0.035	8	10	28	37	29	27	47	1030
0.075	5	12	31	37	26	25	51	1120
0.105	5	12	33	41	28	29	57	1250
0.135	8	14	45	52	37	38	75	1640
0.155	13	20	63	68	50	48	98	2140
0.170	21	33	77	94	56	61	117	2560

測定値                      計算値

第二表及び第三表に得た値を圖の上に記し其等の點を通る二曲線を引き更に此

二つの曲線を組合せることにより(和の半分から  $p$  を得差の半分から  $q$  が得られます)  $p$  並に  $q$  が得られます。今第四表に  $p$ ,  $q$  の値を與へて見ませう。尙試験板の CD

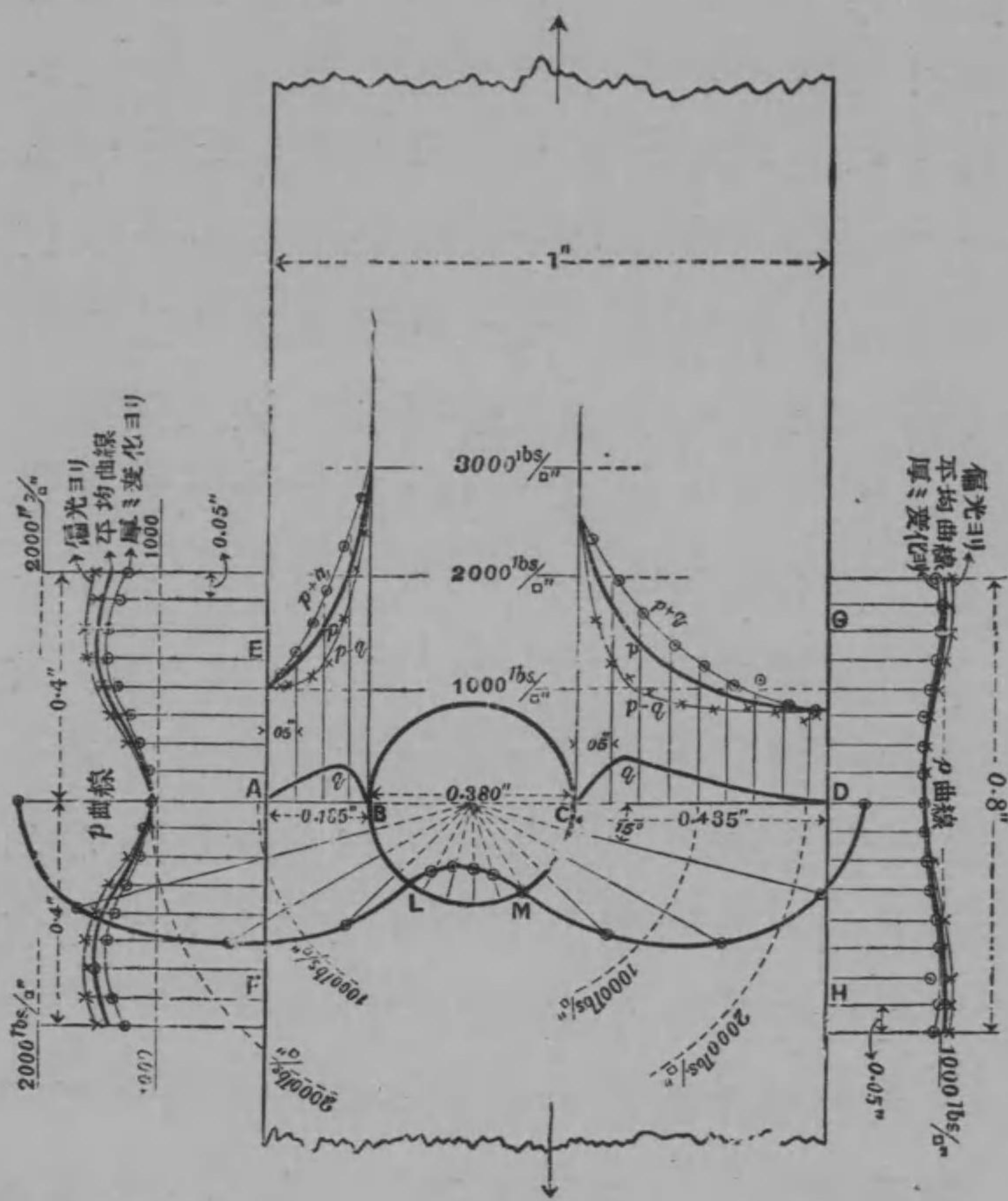
A よりの距離	$p$ lbs./in <sup>2</sup>	$q$ lbs./in <sup>2</sup>
0	1030	0
0.020"	1030	65
0.040	1150	115
0.060	1250	170
0.080	1350	225
0.100	1510	290
0.120	1710	330
0.140	2030	310
0.160	2450	200
0.180	3000	65
0.185	3100	0

の部分及び兩縁 EAF, GDH 並に孔の周縁 IBJC の部分の「ストレス」の数値も上に述べたと同じ様にして私は得て居りますが計算の仕方も同じであるし又どれ程の精密さで實測が出来て居るか云ふ様なこと

は上に示した AB 部分の實測結果を御覽になれば充分御分りになると思ひますから他の部分の實測結果は茲に掲げること省略します。但し此處に御斷り致して置くことは板の兩縁や孔の周縁では主「ストレス」の一つは縁に沿ひ他の一つの主「ストレス」は零になつて居ります何となれば縁は自由端でありますから縁に垂直方向には「ストレス」が起りません。依て縁では偏光によりて  $p-q$  を測りましても  $q=0$  の爲  $p$  が得られますし、厚みの變化から  $p+q$  を測りましても  $q=0$  で  $p$  が得られます。其故縁に沿ふての「ストレス」は (7) 式の方法からと (10) 式の方法からと二通に得られ比較して見て精密さを知り又平均して精密さを増すことが出来ます。

次に示す圖は「ストレス」分布の測定結果を曲線で示すものでありまして AB 線及

次CD線上の各點の「ストレス」の大きさはAB, CD線から上の方へ立てた垂線の長さを以て示して居ります。AB, CD線上の各點



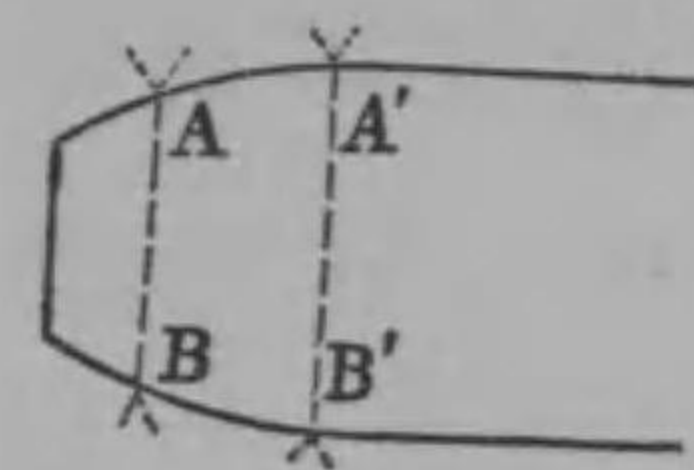
での主「ストレス」は一つは AB, CD 線に垂直に即ち圖では上下の方向に縦に働くもの  $p$  で、他は AB, CD 線に沿ふた方向即ち圖では左右の方向に横に働く  $q$  であります。偏光を用ひ  $p-q$  を測り、厚みの變化より  $p+q$  を測り其等の曲線を圖の様に表し、次で此二つの和の半分に相當する  $p$  曲線と差の半分に相當する  $q$  曲線とを引たものです。縦の「ストレス」は伸張「ストレス」で A から B に進むに従ひ「ストレス」は段々増加し B の處で一番大きくなります。

CD では縦の「ストレス」は矢張伸張「ストレス」で板の縁 D から孔の縁 C の方へ進むにつれ「ストレス」は漸次増大し C で一番大きくなります、然し CD 部は AB より幅が廣い爲 C 點の「ストレス」は B 點の「ストレス」よりも小さく D 點のものは A 點のものよりも小さくなつて居ります。横の「ストレス」

は又伸張「ストレス」で A から B の方へ進むにつれ段々増加し或點で極大値に達し其から漸次減少して B では A と同様自由端の爲横「ストレス」は 0 になります。CD でも同様な曲線で横「ストレス」の分布が表されます。AB, CD に斯様な横「ストレス」の現れて来るのは板が縦に引張られるとき圓い孔が縦に引延され幾分橢圓になり其爲 B, C 部が横に歪み AB, CD に伸張「ストレス」が起つて来るのであります。

次に板の兩縁 EAF, GDH に沿ふた「ストレス」の大きさは此等の縁の線から左又は右へ垂線を立て其長さで表して居ります。前にも申した様に此等の縁の各點は自由に左右に動き得る自由端にありますから縁に垂直な主「ストレス」は 0 となり、縁に沿ふた處では上下の方向の「ストレス」丈となります、今横の方へ其の大きさをとつて曲線

で表してあります。二つの主「ストレス」の中  $q$  が 0 で他の  $p$  丈が存在するので之は偏光よりと厚みの變化とより兩方から得られます。此兩曲線の一致しないのは實驗の誤差によるので實驗に用ふる板を切つて用意した後時日がたつにつれ板の縁に收縮が起り其爲縁は圖の様に厚みが

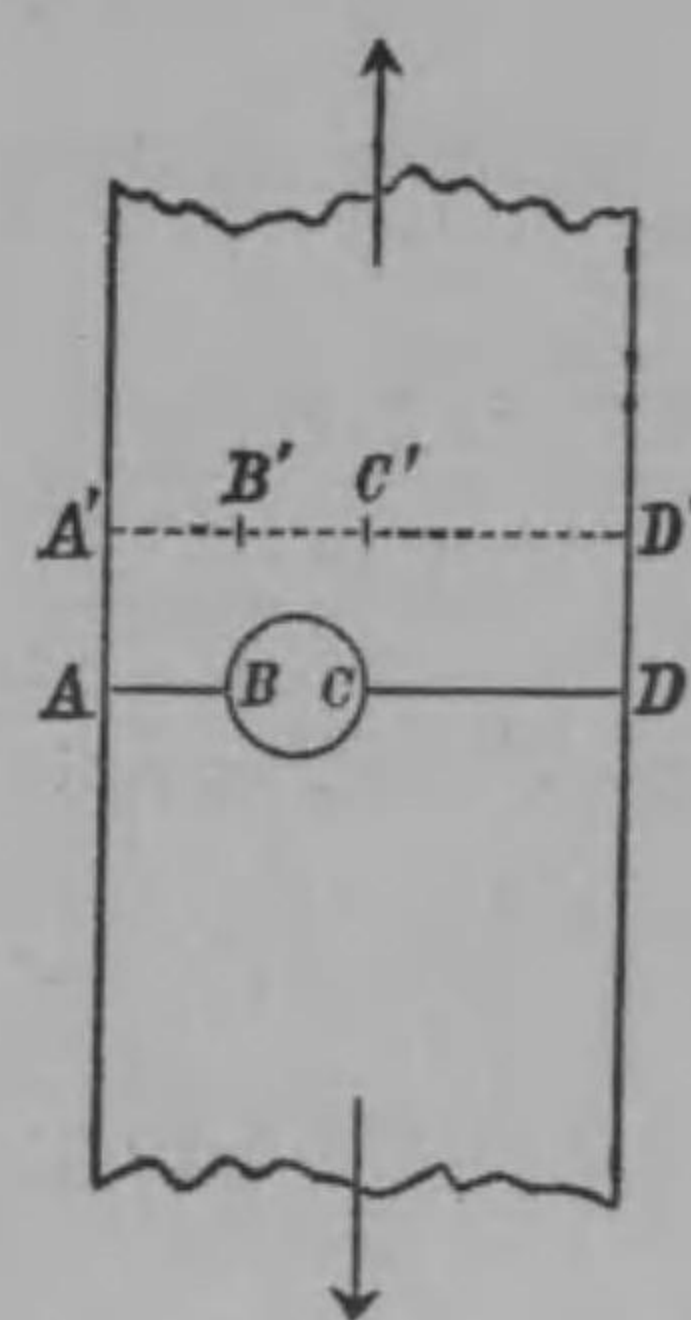


一様でありませぬ。厚み測定装置の針を A'B' に當て板に張力を加へると板

が多少横にづれます其爲針の接觸點が僅かばかりですが横にづれ AB に来ます、そうすると A'B' 部と AB 部とは厚みの違ひがありますから板の眞の厚みの變化を測つた積りが實は針のづれの爲 A'B' 部と AB 部との厚みの差が其測定結果の中に混入して來まして誤差を起すのであります。其故斯様な縁での厚みの變化の測定は誠

にやりにくいのであります。偏光の方でも板の縁では初めから「ストレス」が多少存在して居る爲に測定が困難であり誤差が大いす。EAF部GDH部と比較しまするとEAF部の方が孔に近く「ストレス」が大いすから従て偏光による測定結果と厚み變化による測定結果との相違が大いす。今圖には兩側共二つの曲線の平均の $p$ 曲線を引きました。此等EAF, GDH部の「ストレス」曲線は最も面白い結果を示して居ります。ABCD部は板の横断面中最も小さい部分ですからA及びDでは「ストレス」が極大になりそうに考へられますが實際此實驗で此結果を得る迄は誤り考へられてAD部の「ストレス」を極大にした想像曲線を引いた圖を見受けますが今此實驗でやつて見ますると上圖に示す様にA, D部は想像と全く反對に「ストレス」の極小部

となり却てADより離れたE, F, G, H邊に「ストレス」の極大部を生ずるのであります。此結果は一寸不思議に考へられますが物理的に説明のつかぬこともありませぬ。



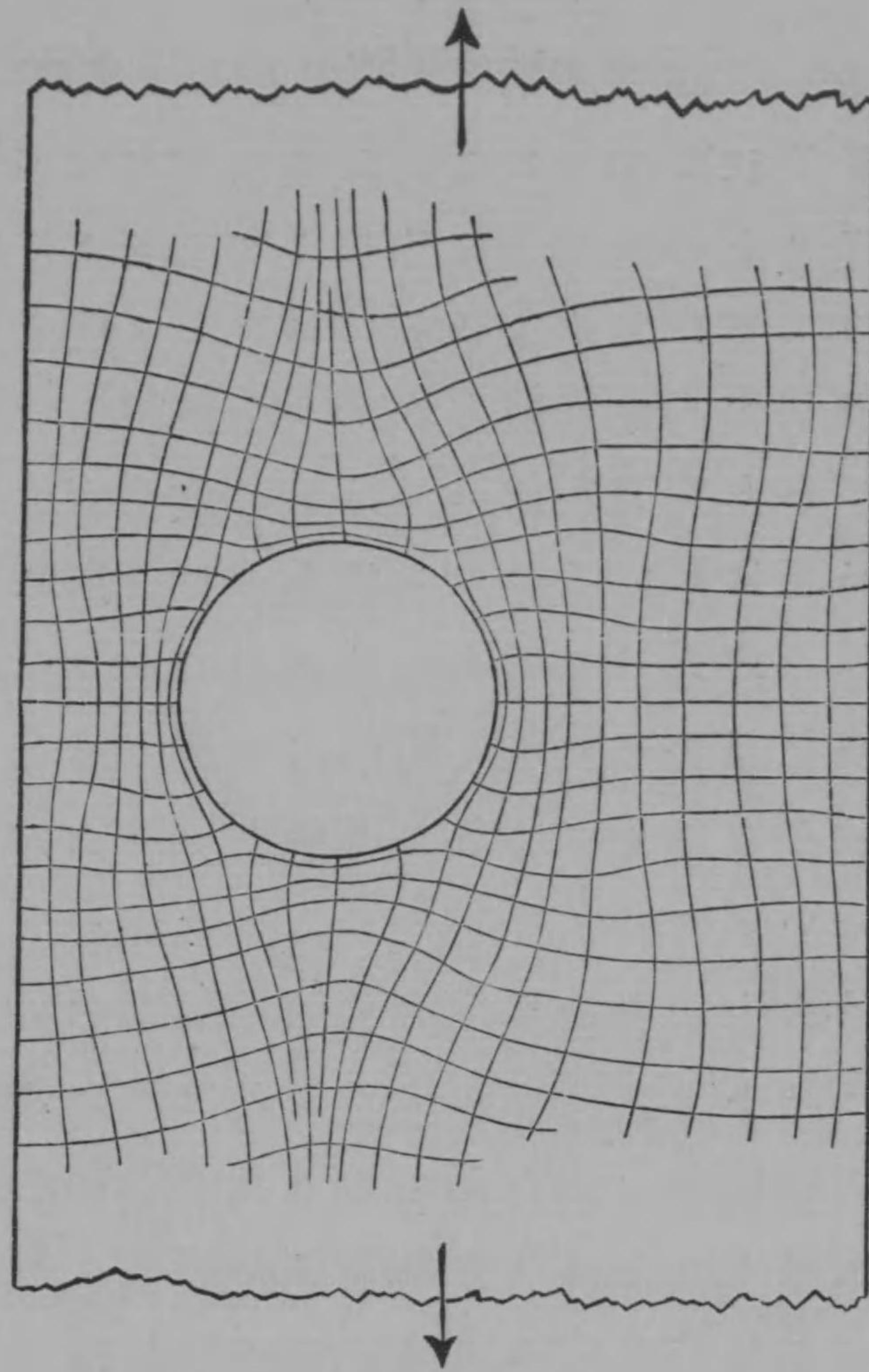
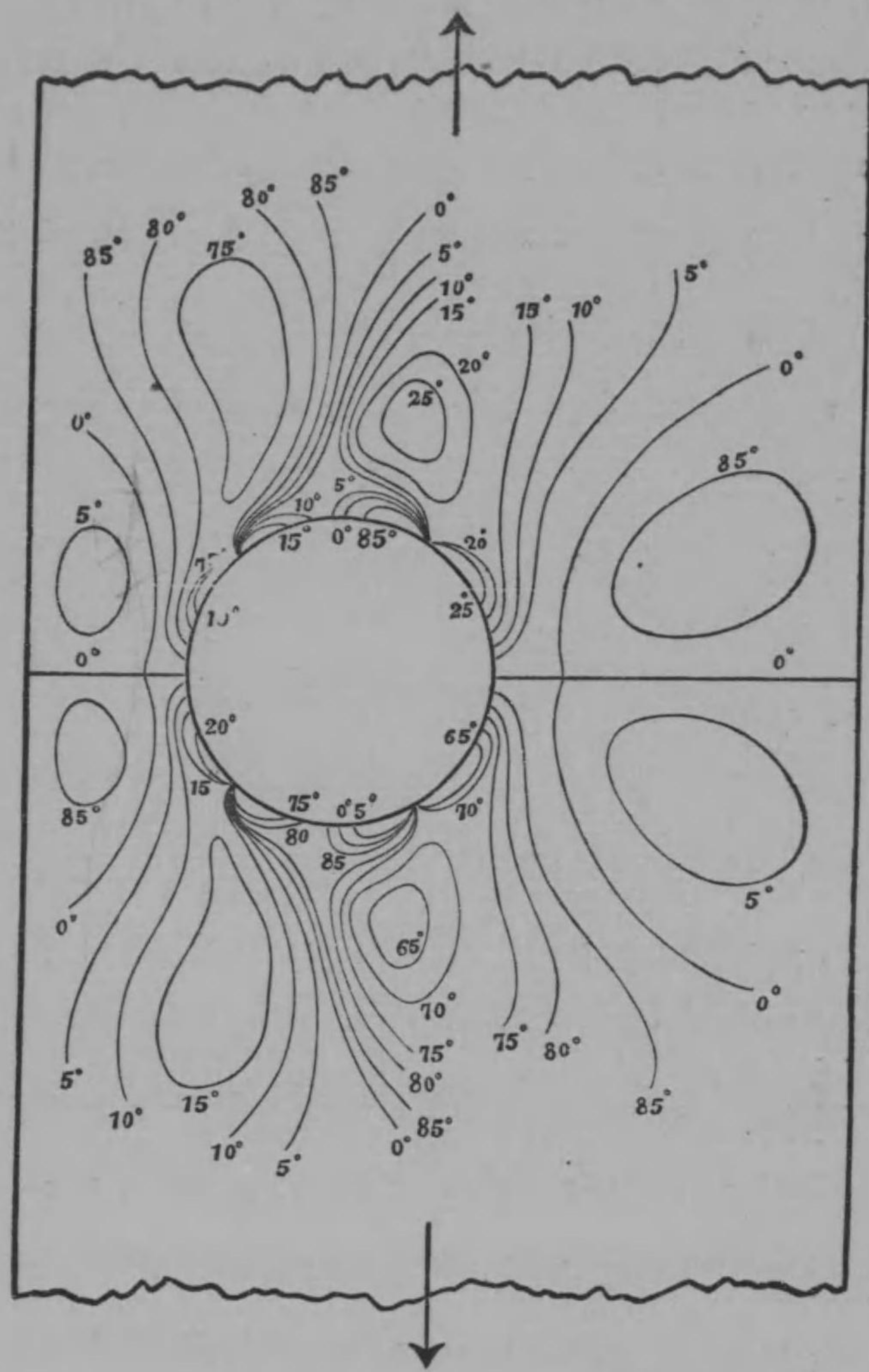
板を引張つたとき孔の上の方のB'C'部は孔が變形して縦に長くなる結果全體としてづれが起り歪むことが少く従てB'C'邊には餘り大きな「ストレス」が起りませぬ、従て板を引張る張力を支へるに足る「ストレス」は勢ひ縁の方に寄つたA'D'邊に大きく起り其等の「ストレス」が板の張力と釣合ふ主なるものとなるのです。然るにABCDではB, C點で甚だ大きな「ストレス」が起き其が主として板の張力と釣合ふ役目をして居りますからA, D部には餘り大

なる「ストレス」が起る必要がなくなつて居り、従て A, D 部の「ストレス」は A'D' 部(前の圖では E, G 部)の「ストレス」よりも小さいと云ふ關係を生じます。孔のあいてある板を引張つたとき最小斷面部の A, D 部よりも少し離れた E, F, G, H 部に板の弱點を生ずると云ふことは注意に價する事柄です。

次に孔の周縁に沿ふた各點での「ストレス」は之亦自由端ですから一方の主「ストレス」が 0 になり唯縁に沿ふた「ストレス」丈になります。今此「ストレス」の大きさを表すには孔の圓の中心から十五度の間隔で輻射線を引き此線の圓からの長さを以て「ストレス」を表し「ストレス」が伸張「ストレス」なら圓より外へ、壓縮「ストレス」なら圓より内へ長さをとると云ふ約束で曲線を引きますと、前に示した様な圖になります。孔の上

半分は下半分と全く同様ですから圖の混雜を避ける爲下半分丈を示しました。「ストレス」は BL 間と CM 間とは伸張「ストレス」となり B<sub>上</sub>點で一番強く B より L に至るに従ひ漸次強さが弱り L で 0 によります。CM の部分でも C が一番強く M の方に至るに従ひ漸次弱くなり M で 0 になります。LM 間は壓縮「ストレス」となり LM 間に壓縮の最も強い處があります。LM 間に壓縮「ストレス」の生ずる譯を物理的に考て見ますと板を引張つた爲に板は一般に伸び圓孔の左右兩側の部は伸びますから孔の縁の左右側には伸張「ストレス」が働きますが孔の形が上下に長く左右に短い楕圓形に變化します結果孔の上下兩部では物質が左右から押し寄せて來て壓縮「ストレス」となるのであります。

次に試験板の主「ストレス」曲線並に其を求める基となつた等傾角曲線を示します。



## 第九章

### 結論

最後に申述ることは此方法の數學を用ふることの少き爲に物足りなく思ふ人がありますが元來數學的に「ストレス」分布が分る様なら此實驗方法が全く無用となる譯であります。但し數學では無限に廣がつて居る板に圓い孔の在る場合の如き極めて簡単な理想的な場合の他實際吾々日常用ふる複雑な形の板に對しては吾々の知れる貧弱な數學ではとても論ずることが出來ないので、其數學の用をなさない、然も日常最も大切なる場合に就て此實驗方法により「ストレス」分布の分ることは實に此方法の有難味のある處であります。但し遺憾に思ふことは此方法の適用されるのは平板に限られ立體的に固體内部に於ける「ストレス」を検べることが出來ないこと

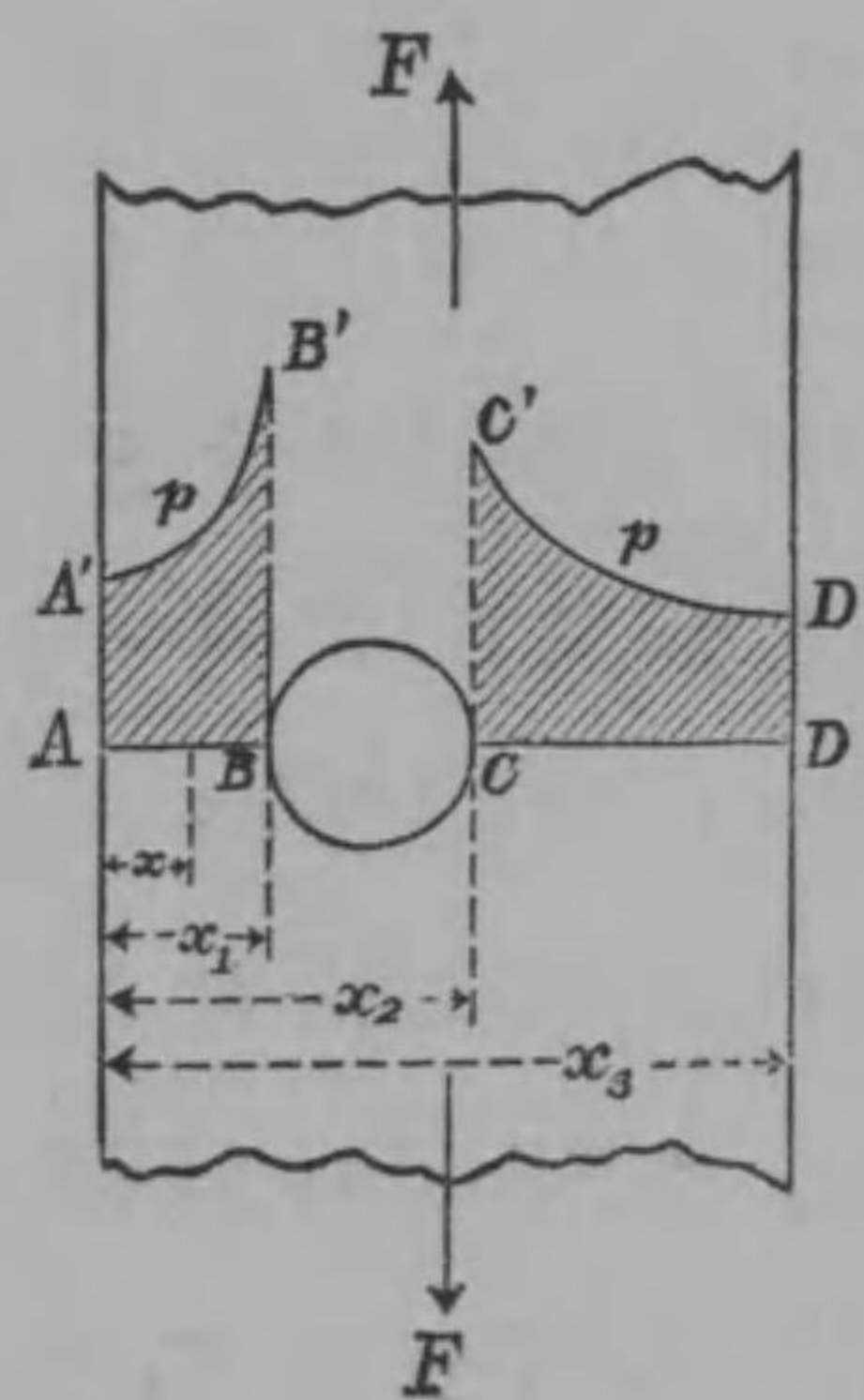
です。此實驗方法の弱點は偏光を用ひて暗黒點を定めるとき一點が暗黒となる範圍が廣く、光度計を用ひ光度を比較するときに感ずる困難と同様最暗黒と云ふことを定めるに非常に困難を感じ其處に可なり大きい誤差を生ずるのであります。又板の厚みの變化測定に於ては板の厚さの一樣なものを得難きこと殊に板の端に收縮が起り端の厚みに不規則があること等の爲厚み變化を測るときに可なり困難があり測定結果に誤差を生じます。其故測定結果の數値に對し絶對的に信用は出來ませんが然し比較的は何れの點が「ストレス」が大きく何れが小であるか又は何れの點に伸張「ストレス」を生じ何れに壓縮「ストレス」を生ずるか、又主「ストレス」の方向如何等は此實驗方法によりてよく分り材料強弱學上大に利益を與へるのであります。



前に説明した場合に就て板の厚みを  $t$  とし板の左の縁から距離を測り之を  $x$  とし、 $x$  での上向の「ストレス」を  $p$  とし、 $t \times dx$  の断面に上向に働く力は  $p \times t \times dx$  で全断面積に就て寄せ集めれば其値は板を上下に引張る力  $F$  に等しくならなければなりません即ち

$$F = \int_0^{x_1} p \cdot t \cdot dx + \int_{x_2}^{x_3} p \cdot t \cdot dx = t \int_0^{x_1} p dx + t \int_{x_2}^{x_3} p dx$$

$$= \{(\text{面積 } A'ABB') + (\text{面積 } C'CDD')\} \times t$$



私の実験の結果に就て申しますと(「プランメータ」で面積を測りました)  
 (面積  $A'ABB'$ ) = 6.16 平方吋  
 (面積  $C'CDD'$ ) = 10.22 平方吋  
 依て合計

總面積 = 16.38 平方吋  
 圖に於て  $x$  の尺度は 10

倍に書いてあります即ち 0.1" を 1" に書いてあり又縦の尺度  $p$  の方では 1" の長さで 500 lbs. を表して居ります、又板の厚み  $t$  は 0.122" です依て

$$16.38 \times 0.1 \times 500 \times 0.122 = 99.9 \text{ 封度}$$

然るに此時働かせた張力  $F$  は 100 封度でありますから 0.1% の違いが起つて居る譯で之はちと結果がよすぎて、あやしいですが兎に角餘り大なる差を生じないことから考へて見ても相當實驗に信用が置けることが分ります、即ち此方法で實驗の精密さを試すことが出来ます。

試験板を「セルロイド」で作る理由は「セルロイド」は割合軟くて細工がし易く任意の形の板を調べ易いからと、もう一つは比較的小さい力で板に種々の色を生ぜしめ易いからです。以前には硝子板を用ひたですが硬くて細工がしにくく、又張力を加へ

ても容易に歪まず色が出にくいから硝子板を捨て、「セルロイド」を採用したのが「コーカー」教授の工夫によるのであります。「セルロイド」板を切る時には餘程手際よく切らないと切口に「ストレス」が起きて宜しくありません。又切つた後永く捨て、置くと切つた端が収縮して實驗しにくいから成る可く早く實驗に用ふるが宜しい。「セルロイド」板でやつた實驗結果を直に鐵板の場合に適用することが出来るかどうかと云ふことは問題であります。飛行機の形の研究に模型を風洞に入れて研究し其を實際のものに持行くことや實驗「タンク」中で船に對する水の抵抗を調べ其を實際大な船に適用するのと同じ様に「セルロイド」で研究したことを鐵板の場合に適用するのもたいした不都合はなからうと思ひます。理想から云へば此「セルロイド」に

施した方法と同じ方法を鐵板に直接施して「ストレス」を定めることが出来れば模型でなく實際用ひられたる材料に就て、用ひられて居る状態に於て「ストレス」を定めることは材料強弱學上非常に有益のこと、信じますが未だ斯様な方法が工夫されて居りません。將來X線の様なものを用ひ斯様な方法が行はるゝなら幸であると思ひます。

尙「セルロイド」板に衝撃の様な短時間大きい力が働き板に「ストレス」が傳はつて行く有様即ち彈性波が板を傳播する有様を活動寫真的に早く寫すことの出来る色寫真で寫すことが出来たらさぞ面白い結果が得られるだらうと思ふて居りますが不幸にして天然色寫真の感度が遅く一寸活動寫真流に極めて速く傳る「ストレス」の波の撮影には成功しさうもありませんから

此等のことに對しては讀者諸君の將來の  
御研究御工夫に待つと致し之で話を終り  
ます。

—(終り)—

大正十二年五月廿七日印刷

大正十二年七月廿五日發行

(版權所有)

發行者



著者



色光應用材料強弱學  
定價金壹圓七十錢

著者 福田爲造

東京市日本橋區大傳馬町二丁目十六

發行兼印刷者 內田作藏

發行所

內田老鶴圃

東京市日本橋區大傳馬町二丁目十六番地

振替東京壹貳壹四六番

電話堀留壹參參五番

(秀英舍印刷)

增訂五版 物理學通論

理學博士 本多光太郎氏共著  
理學士 川北清氏 定價金 八圓  
送料金 貳拾四錢

質點及剛體の力學

理學士 玉城嘉十郎氏著 定價金 貳圓五拾錢  
送料金 拾八錢

物理學上卷

理學士 川北清氏著 近刊

物理學詳解講義

理學博士 本多光太郎氏著 定價金 參圓五拾錢  
送料金 貳拾四錢

新式實用對數表

理學士 福井私城氏編 定價金 五拾錢  
送料金 六錢

質疑復習用物理學

理學士 福井私城氏著 近刊

書換へられたる物理學

(アイシユタインの相對性理論)

理學士 竹内時男氏著 定價金 貳圓  
送料金 拾八錢

アイシユタインと其思想

全 定價金 壹圓  
送料金 拾貳錢

量 子 論

全 定價金 壹圓  
送料金 拾貳錢

電 子 論

全 定價金 九拾錢  
送料金 拾貳錢

## テムゼー元素と電子

政所重三郎氏著 定價金貳圓 送料金拾五錢

## 色光應用材料強弱學

理學士 福田爲造氏著 定價金壹圓七拾錢 送料金拾貳錢

ダクチルタンダステン<sup>の</sup>發明

理學士 木村駿吉氏著 定價金貳圓 送料金八錢

## 實用基本電氣叢書全參冊

## 第一冊 レジスタンス

理學士 木村駿吉氏著 定價金參圓五拾錢 送料金貳拾壹錢

## 第二冊 イムピーダンス

全 定價金四圓 送料金貳拾四錢

## 第三冊 ポテンシオメートル

全 定價金貳圓八拾錢 送料金貳拾四錢

## 世界の無線電信

全 定價金貳圓 送料金貳拾四錢

## 鐵及鋼の研究 第一卷

理學博士 本多光太郎氏著 定價金參圓五拾錢 送料金貳拾七錢

## 鐵及鋼の研究 第二卷

全 定價金參圓五拾錢 送料金貳拾七錢

東京内田老鶴園刊行

## 天文學汎論

理學博士 日下部四郎太氏 菊田善三氏 共著 定價金六圓八拾錢 送料金貳拾四錢

## 火及火災

理學博士 日下部四郎太氏著 定價金壹圓八拾錢 送料金拾八錢

## 最近科學上より見たる音樂の原理

理學士 田邊尙雄氏著 定價金四圓五拾錢 送料金二拾四錢

## 化學本論

理學博士 片山正夫氏著 定價金八圓五拾錢 送料金貳拾四錢

## 化學語彙

理學博士 櫻井鏡二氏 工學博士 高松豐吉氏 共著 定價金貳圓 送料金拾貳錢

## 無機化學實驗法詳解

理學博士 近重眞澄氏 理學博士 村上武次郎氏 共著 定價金六圓 送料金貳拾四錢

## 近世化學講義無機の部

理學士 塚本又三郎氏著 定價金五圓 送料金貳拾四錢

## 近世化學講義有機の部

理學士 加納清三氏著 定價金四圓五拾錢 送料金貳拾四錢

## 香料製造化學

藥學士 關根重治氏 藥學士 赤井左一郎氏 共編 定價金七圓 送料金貳拾四錢

## 營養品嗜好品製造化學

藥學士 石尾貞明氏著 近刊

東京内田老鶴園刊行

- 酸 アルカリ 製造法**  
 理學士 鈴木達治氏校閱 白土萬次郎氏共編 定價金參圓五拾錢 送料金拾八錢
- 定性化學分析**  
 理學博士 片山正夫氏校閱 白土萬次郎氏著 定價金四圓五拾錢 送料金貳拾錢
- 中等化學通解**  
 片山理學博士補校 楠引純二氏著 定價金參圓 送料金貳拾錢
- 新式化學理論詳解**  
 稻葉幾太郎氏著 定價金壹圓八拾錢 送料金拾八錢
- 化學計算問題解義**  
 理學士 江見節男氏著 定價金參拾五錢 送料金八錢
- ローレンツ微分積分學**  
 理學士 山田光雄氏譯 定價金拾圓 送料金貳拾四錢
- オスグード微分積分學**  
 理學士 梶島二郎氏譯 近刊
- 非ゆらくりつど幾何學**  
 理學士 梶島二郎氏著 定價金參圓 送料金貳拾四錢
- テンソール解析入門**  
 理學士 竹内時男氏著 近刊
- 代數學通論**  
 理學士 山崎榮作氏著 近刊
- 代數學精要**  
 理學士 宮本久太郎氏著 定價金五圓 送料金貳拾四錢

東京内田老鶴園刊行

- 應用數學**  
 理學士 池田芳郎氏著 定價金貳圓八拾錢 送料金貳拾七錢
- 商業數學**  
 橋本戊子郎氏著 定價金參圓五拾錢 送料金貳拾錢
- 會計上の諸問題**  
 橋本戊子郎氏著 定價金壹圓 送料金拾二錢
- 統計學概論**  
 鈴木孔三氏著 近刊
- 海藻と人生**  
 理學博士 岡村金太郎氏著 定價金參圓五拾錢 送料金拾八錢
- 植物の構造と生殖**  
 理學士 石川光春氏著 定價金參圓 送料金拾貳錢
- 生活の始まり**  
 理學士 石井重美氏著 定價金貳圓 送料金拾八錢
- 石炭略説**  
 理學士 岩崎重三氏著 定價金壹圓貳拾錢 送料金六錢
- 本邦石炭の研究と其研究法**  
 理學士 岩崎重三氏著 定價金四圓 送料金貳拾錢
- 日本礦石學 第一卷 石炭篇**  
 理學士 岩崎重三氏著 定價金五圓五拾錢 送料金貳拾四錢
- 日本礦石學 第二卷 金篇**  
 理學士 岩崎重三氏著 定價金五圓 送料金拾八錢

東京内田老鶴園刊行

- 日本礦石學 第三卷 銀篇  
 理學士 岩崎重三氏著 定價金四圓五拾錢  
 送料金拾八錢
- 日本礦石學 第四卷 銅篇  
 理學士 岩崎重三氏著 定價金五圓五拾錢  
 送料金廿四錢
- 探 礦 法  
 理學士 岩崎重三氏著 定價金參圓  
 送料金拾貳錢
- 本 邦 岩 石 圖  
 理學士 岩崎重三氏著 定價金七圓  
 送料金參拾錢
- 燃 料 學  
 理學士 岩崎重三氏著 近 刊
- 實用 礦物岩石鑑定及地質表  
 理學士 岩崎重三氏著 定價金參圓  
 送料金拾貳錢
- 主要岩石肉眼的鑑定便覽  
 小 泉 忠 夫 氏 著 定價金壹圓五拾錢  
 送料金八錢
- 此 の 鑛 物  
 小 泉 忠 夫 氏 共著 定價金參圓  
 送料金拾五錢
- フルン 最近乾式試金術  
 永 野 英 輔 氏 譯 定價金四圓  
 送料金拾八錢
- 鑛 業 法 講 話  
 淺 野 兼 助 氏 著 定價金貳圓五拾錢  
 送料金拾貳錢

東京内田考鶴圃刊行

385  
284

終