

No. 20

1. Février 1944.

BULLETIN

DE

LA FACULTÉ DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITÉ FRANCO-CHINOISE DE PEIPING

ÉTUDE EXPERIMENTAL

SUR

LE PRINCIPE DE SYMÉTRIE DE CURIE

PAR

MA CHE-SIAU et WANG CHOU-YING

PUBLIÉ PAR

L'UNIVERSITÉ FRANCO-CHINOISE DE PEIPING

居禮對稱定理之試驗研究

導 言

一切物理現象，除強度外，尚佔有空間。對於各種物理現象之強度：恒分別採用適當之單位，加以估計；就中並選取數種作為基本，以究各單位間之關係；因之構成一種因次理論。（Théorie de dimensions）同一對於各種物理現象所據之空間：倘應用結晶學內之對稱理論，分析其特性；亦能得出一種普遍之定理，足以與因次理論相對峙。

在一種物理現象未發生之先，其附近空間各點，對於任何方向，均係對稱；逮物理現象發生之後，則其情形迥異。故物理現象之產生，實與空間各點對稱特性之消失相表裏。能與物理現象並存，且具最大限度之對稱要素（élément de symétrie）之羣；居禮曾指出 (A) (B) (C) (D) (E) 五種，其符號表示如次：⁽¹⁾

$$\begin{aligned} & \text{(B) } 2 L_{\infty}, \infty L_2. \\ \text{(A) } & \frac{2 L_{\infty}}{P_{\infty}}, \frac{\infty 2 L_2}{\infty P_2}, C. \quad \text{(C) } (L_{\infty} l_{\infty}), \infty P_1. \quad \text{(E) } (L_{\infty} l_{\infty}). \\ & \text{(D) } \frac{(L_{\infty} l_{\infty})}{P_{\infty}}, C. \end{aligned}$$

1. P. Curie, Oeuvres, p. 118—141.



3 1760 7762 0

(A) 種係正圓柱羣，對稱情形與正圓柱體相仿：中部主軸乃一無限次對稱複軸 $2L_{\infty}$ ；自主軸中點與之垂直，可作一無限次對稱面 P_{∞} 及無限個二次對稱複軸 $\infty 2L_2$ ；經過主軸，並可作無限個二次對稱面 ∞P_2 ；主軸中點即對稱中心 C。同質性 (isotrope) 物體順一方向受壓力或張力時：所具之對稱要素，在良好情形，恒與此羣相同。(B) 種與正圓柱體順主軸扭轉後所得之對稱情形相仿：僅具一無限次對稱複軸 $2L_{\infty}$ 及無限個二次對稱軸 ∞L_2 。(C) 種乃正截圓椎羣：對稱情形恒隨主軸方向不同而異，因之具兩種無限次對稱軸 L_{∞}, l_{∞} ；經過主軸並能作無限個一次對稱面 ∞P_1 。力，電場，電流等向量，其對稱要素與此羣相同。(D) 種具兩種無限次對稱軸 L_{∞}, l_{∞} 及一對稱中心 C；經過對稱中心與主軸垂直，更能作一無限次對稱面 P_{∞} ；恰與正圓柱體旋轉時所形成之對稱相仿。偶力及磁場之對稱，在理想情形，應屬於此羣。(E) 種只具兩種無限次對稱軸 L_{∞}, l_{∞} 。該兩種對稱軸係 (C) (D) 兩羣所公有。故此羣之對稱，應與 (C) (D) 兩羣重合時所具者相同。(C) 係正圓椎羣。(D) 羣之特徵為旋轉。二者重合時之對稱 應與一種旋轉正截圓椎體相似。

當物理現象產生，空間各點之對稱特性消失之際；非對稱特性隨之形成。用是知物理現象之存在，永有一種非對稱特性為之表徵，在理想情形，原因及結果之間，非對稱要素 (élément de dissymétrie) 永屬不變；但實際常因特殊關係，某種原因不能全部顯示其效果，致非對稱要素亦有時有局部之消失。因此更有下述定理：

當某一定原因產生某一定結果時：原因之對稱要素應復存於結果。

當某一定結果顯示一種非對稱要素時：此種非對稱要素 應亦存於產生該結果之原因。

此兩種定理之逆，至少在實用方面，並不真確；易言之，即結果

或較原因爲對稱。

以上所述，乃居禮對稱定理之全部。根據此定理，由電場及磁場之產生原因，固能規定電場與磁場之對稱；但實際電場與磁場所具對稱，是否確與所規定之對稱相符合？在符合時：對稱要素固屬不變；但非對稱要素之有時消失，究又因於何種關係？此二問題似均有解決之必要。本試驗之研究動機，即係以解決此二種問題爲目的。

I. 試驗之方法

A. 試驗方法之選擇：電場或磁場在強度不變時，非藉助於物質，無由顯示其存在；故欲明瞭二者在空間之對稱情形，必需以一種適當物質為工具。該種物質所應具之條件為：

- a. 在未受電場或磁場作用時，其物理特性於任何方向均大致相同。
- b. 由電場或磁場所引起之非對稱特性，易於為試驗方法所證實。

條件 (a) 係無轉偏極性能 (pouvoir rotatoire) 物質未結晶時之通性。至於條件 (b)，則因試驗方法之限制，其適合較為困難。

在採用物質，係一透明之非金屬物時：固可應用光學方法，由折射率 (indice de réfraction) 及偏極面 (plan de polarisation) 之變化，例如 Kerr 現象及 Faraday 效應，將電場與磁場之對稱情形加以觀察。反之，若採用物質，係一種不透明而易於導電之金屬物：則似只有應用電學方法，用電流代替光線，以窺測電場與磁場之對稱情形之一途。但電流所能測者，僅係電阻變化；不似光線之能兼及折射率與偏極面等之改變。以是在此場合：應另加金屬物以適當外力，俾電場與磁場之對稱，得以區分。

光學方法雖簡便；但光線性質則極為複雜，不若電流之簡單易曉。為理解便利計，終於採用電學方法：在電場或磁場內，將細金屬絲預行復熱，令復熱時之空間對稱特性保留。然後再加該金屬絲以適當扭力，作扭力循環；將已保留之對稱特性，實際加以觀察。

B. 復熱儀器之裝置：為避免氣體之影響：金屬絲係在抽空之玻璃管內部復熱，有如 Fig. 1. 所示。玻璃管上端，蓋一圓銅片，其半徑與玻璃管外徑相等，中心嵌一細銅管，管之底部封閉，內盛水銀，與上部凹形玻璃管間之 Platinor 絲，構成一種水銀接觸，以導引電流；以免 Platinor 絲

與下方金屬絲直接連接，致玻璃帽負較大重力；當強電流通過時，玻璃帽在

附着金屬絲處發生裂隙。此外當啓閉復熱玻璃管時，須用火簍融化抽空膠。因此玻璃帽外部，另套有銅箍：以防火簍直接與管壁接觸，日久發生裂痕。復熱金屬絲係用銅絲懸於細銅管下方，並塗以 20 gr. 鉛錘；由玻璃管上部之薄圓銅片及下部之星狀銅叉，永保持其位置於管之中軸。復熱玻璃管下端，係用一段較粗之玻璃管封閉。管內貯有水銀；由彈力極小之金屬螺旋線，將水銀與鉛錘底部連繫，以導引電流；令復熱金屬絲所受張力，不致隨水銀凝固發生更改。抽空玻璃管位於水銀面上方之一側，半徑較復熱玻璃管略小，經過凝結管，

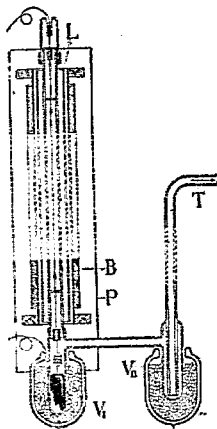


Fig. 1.

由玻璃管 T 與抽氣機相連：所以使一切易於揮發之物質，在未流入抽氣機之前，預行凝結；氣壓易於降低。抽氣機係 Gaede 式，具四級水銀分子擴散作用，能達到之最低氣壓為 10^{-6} mm. Hg. VI, VII 乃二滿貯冷劑之杜瓦 (dewar) 瓶：一置於復熱玻璃管下方，使水銀蒸氣之氣壓變小；一位於凝結管外部，使其內部之溫度降低。冷劑溫度約為 -50° C；係由冰屑與 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 末按七與十之重量比例混合而成。線圈 B 長度為 60 cm，每 cm. 內之匝數為 120，與復熱玻璃管按同一中軸固定於木板 P；在二者之間，並置有一長銅筒 L；以避免一切靜電及磁場變化之影響。

C. 四種方式之復熱：將預備復熱之金屬絲裝妥當後：先用抽空方法，檢驗各玻璃管是否封閉嚴密。嚴密時，再行抽空；爾時內部氣壓迅速

降低；十數分鐘後，即已降至 10^{-3} mm. Hg. 在低壓下，繼續抽空約一小時；始可行第一次復熱，通 0.5 A. 電流於復熱金屬絲，以後則一面繼續抽空，一面增強電流。每十五分鐘增強一次，每次約 0.1 A. 如此遞增至 I_1 後，維持強度不變近四小時，方將電流停止；意在使復熱金屬絲內部之含有氣體及玻璃管管壁之吸附 (adsorber) 氣體，均得以盡量放出。在舉行第二次復熱時：先於復熱玻璃管及凝結管下方加以冷劑，然後再一面抽空，一面連續加強電流。至 I_2 時，維持其強度十分鐘，驟行停止；所以使高溫下之金屬分子，易於保留其原有狀態。

應用上述方法，曾將金屬絲按下列之四種方式，加以復熱：

a. 兩次復熱均用交流電流。在此情形，復熱金屬絲除熱力外，並未受其他之影響；故對稱要素可視為不變。在金屬絲係純金屬原質場合，其符號表示為： $\frac{\infty 2 L_{\infty}}{\infty P_{\infty}}$ ，C.

b 除兩次復熱均用交流電流外；在第二次復熱時並加一固定磁場。在此情形，復熱金屬絲之對稱要素，應因該磁場之存在，發生更改。若更改後之對稱情形與磁場之對稱相同時；其符號表示為： $\frac{(L_{\infty} l_{\infty})}{P_{\infty}}$ ，C.

c. 兩次復熱均用直流電流。在此情形，對於金屬絲，電流除產生熱力影響外，尚具一定向電場作用。復熱金屬絲之對稱要素，應因該電場之存在，發生更改。若更改後之對稱情形與電場之對稱相同時；其符號表示為： $(L_{\infty} l_{\infty}), \infty P_1$.

d. 除兩次復熱均用直流電流外；在第二次復熱時並加一固定磁場。在此情形，作用於金屬絲之因子：除直流電流所具之電場外，尚有一固定磁場。復熱金屬絲之對稱要素，應因該二者之影響，發生更改，若更改後之對稱情形與電場及磁場重合時之對稱一致時；其符號表示為： $(L_{\infty} l_{\infty})$.

D. 測量器之裝置：測量復熱金屬絲電阻變化之方法：係將復熱金

屬絲 L_{II} 及電阻相等之另一同物質金屬絲 L_I ，分別與差繞電流計之兩線圈

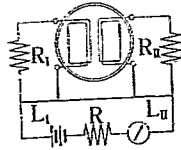


Fig. 2.

並聯；然後再串聯此兩金屬絲，通以電流。有如 Fig. 2. 所示。差繞電流計之靈敏度為 8.10^{-6} V，內電阻為 300Ω ；與兩線圈串聯之電阻 R_I, R_{II} ；其值均為 2000Ω 。R 係一可變電阻，其作用在變更金屬絲內電流，以調整測量電阻時所用之靈敏度。

在復熱金屬絲未受扭力之先：作用於兩線圈之電位相等，故電流計之返射鏡靜止於原處。一旦受有扭力：復熱金屬絲電阻隨扭力逐漸增加；並聯於該金屬絲之線圈兩端間電位，當隨之逐漸加大；返射鏡遂因之自行轉移。內電阻與串聯電阻之和，較金屬絲之電阻值甚大。故復熱金屬絲內通過之電流強度，恒大致不變；其電阻變化，永可視為與返射鏡之轉角成正比。

復熱金屬絲 L_{II} 與補償電阻之金屬絲 L_I 係同裝於一長絕緣板上。絕緣板長度為 80 cm，寬度為 4.9 cm；下部釘有一長鐵片，鐵片橫斷面彎作 Ω 形；其作用在增加彈力，以免絕緣板之彎曲。 L_{II} 絲長度為 45 cm；其兩端分別鑿固於圓銅棒及長方銅片。圓銅棒係安於絕緣圓板及絕緣槽 A 之中央，一端具分度盤 D，以量扭力。長方銅片則由三列滾珠嵌於銅質長方形槽 B 內部；二列居下，一列在上；所以減輕摩擦力，使外加之張力，易自滑車透過絕緣板，直達於 L_{II} 金屬絲。金屬絲 L_I 係在 L_{II} 絲一側，用螺旋彈簧張直。如 Fig. 3. 內上方之平面圖形所示。電流自 B 下方之水銀槽引入，由長方銅片傳於金屬絲 L_{II} ；再由 A 槽內部之水銀接觸導出，與金屬絲 L_I 相連。如 Fig. 3. 內下方之側面圖形所示。C 乃一銅質細圓柱。其一端之極小銅片彈簧，與 L_I 絲構成一種滑動接觸；係用以改正 L_I 絲

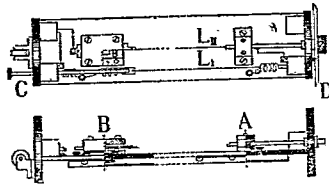


Fig. 3.

溫器係雙層，內徑為 5 cm，外徑為 10 cm，長度為 80 cm。在內外兩層之間，永貯滿淨水；以緩和銅筒內部之溫度變化

金屬絲 L_{II} 自復熱玻璃管內取出後，若稍受外力，則生永久應變，以致影響於試驗結果。故必預置長絕緣板於一旁，小心懸 L_{II} 絲於板之前方，輕輕將其兩端綰固；使碰擊之機會盡量減少。

電阻，使差繞電流計達於平衡。固定於長絕緣板兩端之圓板半徑，與銅筒恒溫器之內徑相等。俾恒溫器內納入長絕緣板時，其兩端開口適為絕緣圓板所封閉。銅筒恒

II. 試驗之結果

A. 真空內復熱之結果

純金屬原質，在普通情形，應視為與同質性物質相仿。至於合金，則

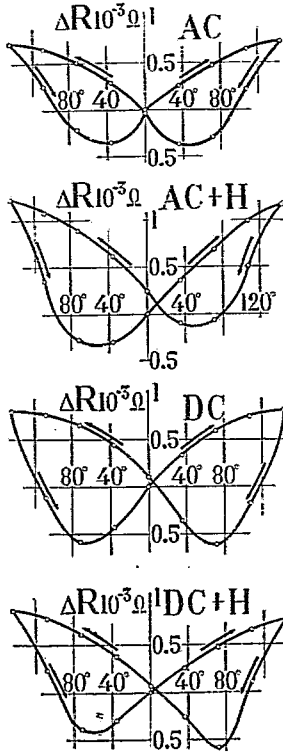


Fig. 4.

2. 因復熱時恆受地磁分場之影響，完全對稱乃不可能。

因係多種原質所組成，其對稱情形自不若前者之完善，故試驗步驟：

係先復熱純質金屬絲，以求電場與磁場之對稱特性，次再復熱合金絲，以定非同質性物質對於該二者之對稱特性之影響：

1. 鎳絲。採取 $I_1 = 0.9$ A, $I_2 = 1$ A. 按前述之(a) (b) (c) (d) 四種方式，將選取之若干段，直徑為 0.255 mm. 之鎳絲，分別加以復熱，然後通鎳絲以 50 M. A. 電流，並加以 20 gr. 張力，作相關之扭力曲線。所得結果，如 Fig. 4. 所示。

A.C; 係利用交流電流復熱時之扭力曲線：曲線形狀與一雙蝶翼相仿，左右兩方幾完全對稱⁽²⁾

A.C. + H; 係利用交流電流復熱，同時加以 100 gauss 之磁場時之扭力曲線：曲線形狀與 A.C. 曲線

大體相仿。惟左右兩方並不對稱：左方之蝶翼狀曲線較之右方為大。二者中間之交點，亦向右方遷移。極似扭力效果，隨加扭力之方向不同，而有一定比例之加大或減小。

D.C.；係利用直流電流復熱時之扭力曲線：曲線形狀較之 A. C. 更形加寬；左右兩方亦完全對稱。

D.C. + H.；係利用直流電流復熱，同時加以 100 gauss 之磁場時之扭力曲線：曲線形狀雖左右兩方大致相仿，但已傾斜變形，並非左右對稱。是與加扭力於鎢絲後，再按一定度數作扭力循環時之結果；極為近似。

在上述之四種曲線內：A.C. 及 A.C. + H. 曲線，得到甚易；至於 D.C. 及 D.C. + H. 曲線，則得到稍難。此種區分，或因在復熱時：外加電場隨電流停止而中斷，不能在鎢絲冷卻期間，始終存在之所致。

a. A.C. + H. 曲線之對稱：按反時計方向，加鎢絲以扭力，至一定度數後，復減少扭力，以至於零。然後更順時計方向，增加扭力，至達一相同度數，再行減少，如此使兩方對稱作鎢絲之扭力循環：在 A.C. + H. 場合，扭力曲線並不對稱；一似扭力效果，隨扭轉之方向不同，而生一定比例之加大或減小。此種不對稱現象之產生，是否係磁場作用？若係磁場作用：則在鎢絲復熱時，加以反向磁場；所得結果，亦當與前者相反，而與之形成一對對稱之曲線。但對於方向而言，磁場與測量電流，只具一種相對之關係。改換磁場方向，或採用反向電流，所得結果並無二致。因此復將鎢絲，按同一方法，加以復熱；並先後採用方向相反之測量電流，作對應之扭力曲線，在磁場強度為 50 gauss，測量電流強度為 50 M. A. 場合：所得結果，如 Fig. 5. 及 Fig. 6. 所示。

Fig. 5. 係磁場與測量電流方向相反時之扭力曲線；至於 Fig. 6. 則係二者方向相同時之結果。此兩種曲線幾完全對稱。由是知：鎢絲在磁場內

復熱後，應潛伏一種旋轉作用，與磁場之對稱情形相仿。此種旋轉作用，隨扭轉方向不同，能與扭力效果相加或相減；不對稱之曲線遂因之產生。

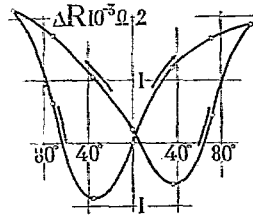


Fig. 5.

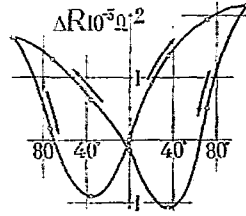


Fig. 6.

b. D.C. + H. 曲線之對稱：在磁場內，利用交流電流復熱線絲；所得結果，既與磁場之對稱相仿。在磁場內，用直流電流復熱線絲之結果，是否仍與電場及磁場重合時之對稱一致？電場之對稱係正截圓椎羣，而磁場則具旋轉特徵；二者重合時之對稱，恰與一旋轉正截圓椎體相仿。若正截圓椎體為左旋；則在磁場反方向之後，可得一右旋正截圓椎體，與前者適形成一種左右對稱 (énantiomorphe) 故在此情形：隨扭力曲線形狀，是否因測量電流方向不同，發生更改；能有一種或兩種左右對稱之成對曲線。

根據以上推論：復將二線絲，按同一方法，用直流電流復熱；同時分別加以方向相反之 50 gauss 之磁場，然後再加線絲以 20 gr 張力，通以 50 M. A. 電流，作相關之扭力曲線。所得結果乃左右對稱，恰與推論相符合。惟測量電流反向時之扭力曲線，仍與磁場反向時之結果相仿；則與以上推論並不一致。Fig. 7. 與 Fig. 8. 所示：乃直流電流與磁場方向相反時，所得之兩種結果。

Fig. 7. 係測量電流與磁場方向相反時之扭力曲線；至於 Fig. 8. 則係

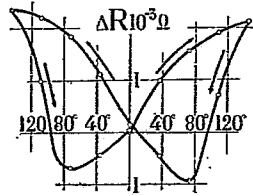


Fig. 7.

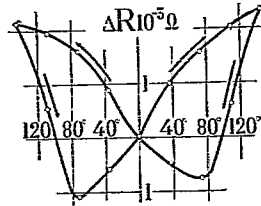


Fig. 8.

二者方向相同時之結果。此二曲線乃左右對稱。由是知：鎳絲復熱後之對稱情形，在此種場合，並非旋轉正截圓錐體，實與一扭轉之正圓柱體相當⁽³⁾。扭力曲線之傾斜變形，或係該種扭轉之所致。

關於上述之對稱特性變化歷程，倘採用對稱符號表示，則有：

$$\left. \begin{array}{l} (L_{\infty} l_{\infty}), \infty P_1. \\ \text{(電場)} \\ + \\ \frac{(L_{\infty} l_{\infty})}{P_{\infty}}, C. \\ \text{(磁場)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} (L_{\infty} l_{\infty}). \\ \text{(旋轉正截圓錐體)} \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} 2 L_{\infty}, \infty L_2. \\ \text{(扭轉正圓柱體)} \end{array}$$

2. 鋼絲。為便於與鎳絲比較計，最初擬採用 Nichrome 絲。但據初步試驗結果：知 Nichrome 絲受扭力時之電阻變化情形，與鋼絲相仿；且易於發生不連續現象，不若鋼絲之較為穩定。因此乃決定採取若干段，直徑為 0.306 mm. 之金錢牌鋼絲；以 $I_1 = 1 \text{ A}$, $I_2 = 1.1 \text{ A}$. 之電流強度，按前

3. 此種對稱與 Matteuci—Wiedemann 效應完全相同。

述之 (a) (b) (c) (d) 四種方式, 分別加以復熱, 然後通鋼絲以 100 M. A. 電流, 並加以 100 gr. 張力, 作相關之扭力曲線。在復熱電流為交流場合: 由扭力所產生之電阻變化, 似按正弦曲線規率逐漸增加; 至其餘三種, 則變化軌跡極為近似, 均係隨一種傾斜波線漸行加大。傾斜波線之形狀, 並不因測量電流反向發生更改; 其傾斜似只與扭轉方向相關。有如 Fig. 9. 及 Fig. 10. 所示。

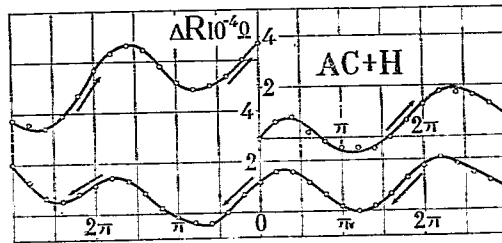


Fig. 9.

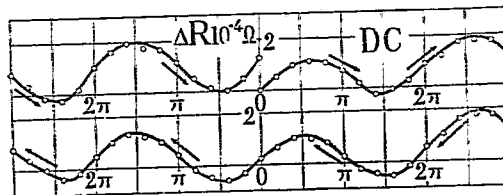


Fig. 10.

在以上兩圖形內, 扭轉方向相反之各段曲線, 除不連續現象存在之部分外, 均採用不同之橫坐標軸, 其標明 A.C.+ H. 於上側者, 乃在 50 gauss 之磁場內, 用交流電流復熱時之扭力曲線; 另一標明 D.C. 則係用直流電

流復熱時所得之結果。此兩種曲線極為相仿：起始時均係一種傾斜波線。波線之傾斜程度，隨扭轉反向，逐漸變小；直至反向扭力將原有扭力抵消之後，反向之傾斜，始更行顯出。倘在扭轉反向之際，發生不連續現象：(Fig. 9.) 則波線之反向傾斜，恒頓行顯露；其形狀，除振幅加大外，與初加扭力時之情形，幾完全相同。(4)

電場與磁場，一係正截圓椎羣，一係旋轉正圓柱羣，對稱情形迥不相似。但據以上結果：鋼絲在磁場內，用交流電流復熱，或直接採用直流電流；對稱情形則大體相仿。以是知在金屬絲係非同質性物質場合，磁場與電場之對稱要素，顯然增加。當測量電流反向時，波線形狀不生更改。故磁場之對稱，在此情形，已消失其旋轉特性，而屬於正圓柱羣；電場之對稱，既與磁場相仿，亦當已失圓椎羣之特性，而變為與正圓柱體相當。倘以 X_1 代替磁場與鋼絲之對稱重合時之對稱要素； X_2 代替電場在同一情形所得之結果。則上述之對稱特性變化歷程，以對稱符號表示，應為：

$$\left. \begin{array}{l} \text{鋼絲之對稱要素} \\ + \\ \frac{(L_{\infty} l_{\infty})}{P_{\infty}}, C. \\ \text{(磁場)} \end{array} \right\} X_1 \longrightarrow \frac{2 L_{\infty}}{P_{\infty}}, \frac{\infty 2 L_2}{\infty P_2}, C. \quad \text{(正圓柱體)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{鋼絲之對稱要素} \\ + \\ (L_{\infty} l_{\infty}), \infty P_1. \\ \text{(電場)} \end{array} \right\} X_2 \longrightarrow \frac{2 L_{\infty}}{P_{\infty}}, \frac{\infty 2 L_2}{\infty P_2}, C. \quad \text{(正圓柱體)}$$

4. 此種不連續現象，不外鋼絲內部，此類與彼種極小晶體，因扭力作用相互滑動所形成。故在不連續現象產生之後，原有之扭力影響，恒隨之自動消失。

B. 輕氣內復熱之結果 (5)

選取若干段鋼絲：在輕氣內，用同一強度之交流電流復熱；同時並分別加以不同之張力。然後以各鋼絲之電阻為縱標，對應之張力為橫標，作電阻之變化曲線。所得結果，與正弦曲線相仿。倘在復熱時，維持各鋼絲之張力不變，而分別加以強度不同之平行磁場，所得之電阻變化軌跡，仍與正弦曲線極相類似。由是知對於鋼絲，磁場之作用與張力相仿。與前述推論完全符合。但在輕氣內復熱之鋼絲性質，與在真空內復熱者迥不相同；其對稱特性，能否不因輕氣作用，已生更改？因此更將鋼絲在輕氣內復熱；以觀所得結果，與在真空內復熱所得者是否一致。

1. 復熱之方法：在輕氣內復熱時：復熱管管壁之溫度，極易各處不同，因是改用 Fig. 11. 所示方法，將復熱管平置，並以厚銅管代替玻璃管；俾



Fig. 11.

管壁溫度易於一致。復熱銅管 T，係利用一對三足銅叉，保持其位置於線圈內之 L 長銅筒中軸；其一端與輕氣發生器相連，另一端則接合於粗銅管 C。線圈 B 長度為 60 cm，每 cm 內之匝數為 120；可順復熱管方向與長銅筒一同移動；使復熱手續易於進行。L 長銅筒外部，平行纏繞一對細橡皮管，管內分別通以異向之水流；意在隔絕外部線圈之溫度影響，令每次復熱之情

形相同。復熱鋼絲長度為 45 cm；其兩端係由鐵環嵌於細鋼柱。一鋼柱固定於絕緣板 D，置於復熱銅管之一端；另一則掛於水銀槽 E，由粗銅管 C 內之滑車，加以張力。復熱電流由絕緣柱中間之細鋼柱引入；經過沾有水銀之薄金屬片，傳於鋼絲。然後再自水銀槽內，由另一絕緣柱中間之細鋼柱導出。E 水銀槽係絕緣電木製，外部包有銅殼；在復熱管內滑動極易。故鋼絲在復熱期間，長度雖不斷更改；而其所受張力，則永大致不變。

2. 試驗之結果：為試驗之結果普遍計；除已採用之金錢牌鋼絲外；另行選取直徑為 0.250 mm. 之鋼琴用鋼絲若干段。按前述之 (a) (b) (c) (d)

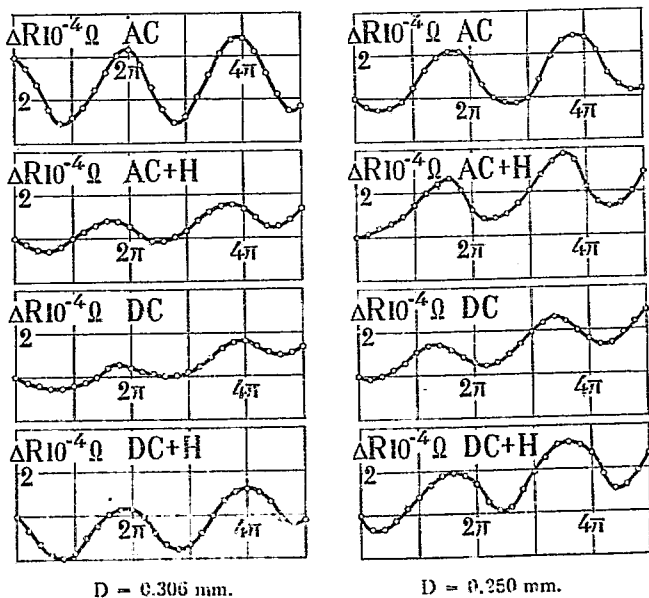


Fig. 12.

四種方式，在輕氣內加以復熱。茲將復熱情形，撮要如次：

	電流強度	磁場強度	復熱時間	鋼絲張力
金錢牌鋼絲	4.5 A.	50 gauss	5 Min.	150 gr.
鋼琴用鋼絲	3.6 A.	50 gauss	5 Min.	150 gr.

對於上述之兩種鋼絲：每種均依復熱次序，遞次通以 100 M. A. 電流，並加以 100 gr. 張力，作對應之扭力曲線。如是所得之兩組結果，略如 Fig. 12. 所示。

自直徑為 0.306 mm. 之金錢牌鋼絲所得結果，較諸自直徑為 0.250 mm. 之鋼琴用鋼絲所得者；除電阻增加之速率稍有不同外，諸對應曲線之變化情形，則極為近似。在用交流電流復熱之 A.C. 曲線：電阻之變化，似依正弦曲線規率逐漸增加。用交流電流復熱，同時並加以磁場之 A.C. + H. 曲線：其變化軌跡，與用直流電流復熱之 D.C. 曲線相仿；二者均隨一種傾斜波線，漸漸加大。至於在磁場內，用直流復熱之 D.C. + H. 曲線：其形狀宛若已發生不連續現象後之 A.C. + H. 曲線；(Fig. 9.) 係按一種振幅較大之傾斜波線，漸行增大。

根據以上結果，不難推知：鋼絲復熱後之對稱特性，並不因輕氣之存在，發生更改。⁽⁶⁾ 故前述推論，依然可以應用於此種場合。而變更各鋼絲復熱時張力；或在復熱時，加各鋼絲以強度不同磁場；所得之兩種類似結果：更可為前述推論之一實驗證明。但 D.C. + H. 曲線之形狀，與已發生不連續現象之 A.C. + H. 曲線相仿。此種事實是否仍具相當之意義？倘假定在 D.C. + H. 曲線場合：鋼絲於復熱時，曾受一種扭轉作用，該種扭轉

6 鋼絲之對稱，不因輕氣存在，發生變化之原因：或係輕氣在鐵質內擴散極易，不能形成特殊之相 (phase) 所致。

作用，隨鋼絲內部各組極小晶體之相互滑動，自行消失；因而產生與不連續現象類似之效果。則現象與推論極為一致。以是在此情形，鋼絲對稱特性之變化歷程；若以 X_3 代替電場及磁場與鋼絲之對稱重合時之對稱要素；其對稱符號表示，或為：

$$\begin{array}{l}
 \text{鋼絲之對稱要素} \\
 + \\
 (L_{\infty} |_{\infty}) \\
 (\text{電場+磁場})
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 X_3 \rightarrow 2 L_{\infty}, \infty L_2 \rightarrow \frac{2 L_{\infty}}{P_{\infty}}, \frac{\infty 2 L_2}{\infty P_2}, C. \\
 (\text{扭轉正圓柱體}) \qquad (\text{正圓柱體})
 \end{array}
 \right.$$

III. 結 論

電場與磁場之對稱。在採用鎳絲加以觀察時：電場屬於正截圓椎羣；而磁場屬於旋轉正圓柱羣；與居禮定理所規定者，確相符合。惟此兩種對稱重合時，應屬於旋轉正圓椎羣；而實際所測得者，則為扭轉正圓柱羣。在此情形，對稱要素已有增加。至若採用物質，係具非同質性 (non isotrope) 之鋼絲：則電場與磁場，均改為正圓柱羣；對稱要素之增加，更形顯著。

旋轉正截圓椎羣，除旋轉運動外，尚具一定方向；其對稱情形與一螺旋運動相仿。方向相反之兩螺旋運動重合時，能構成與扭轉正圓柱羣相同之對稱；倘推廣平衡定義，視該種對稱為旋轉正截圓椎羣之平衡；則依同一理由，正截圓椎羣或旋轉正圓柱羣之平衡，均應與正圓柱羣之對稱相當。故上述之試驗結果，更可改述之如次：

鎳絲受電場或磁場影響時：其平衡狀態之對稱，永與電場或磁場之對稱相仿。倘將電場與磁場重合，或改用具非同質性之鋼絲：則最初之平衡恒自行演變，使對稱要素增加，而變為另一較為對稱之平衡狀態。

由以上敘述，不難見出對稱要素與熱力學內之熵 (entropic) 極為相仿。在統計方面，該二者是否仍具類似之意義？關於此種問題，當另為文詳之。



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE SUR LE PRINCIPE DE SYMÉTRIE DE CURIE

INTRODUCTION

Tout phénomène physique est non seulement caractérisé par son intensité, mais occupe encore un espace bien déterminé. Les intensités des phénomènes physiques sont évaluées en unités convenablement choisis: ce choix a été fait en vue de rendre les relations entre les diverses grandeurs aussi simples que possible. Et les relations, qui en découlent, entre les diverses unités et les unités de grandeurs considérées comme fondamentales, constituent la théorie des dimensions. Si on analyse les propriétés des espaces occupés par les phénomènes physiques en partant de la théorie de symétrie de la cristallographie, on aboutira de même à une théorie générale qui forme le pendant de la théorie des dimensions.

L'espace est isotrope avant la production du phénomène physique; il ne l'est plus après. La production du phénomène physique est donc indissolublement liée à la disparition de la symétrie de l'espace. D'après le nombre maximum d'éléments de symétrie, qui persistent à la fois avec le phénomène physique, P. Curie distingue cinq groupes et les désigne à l'aide des symboles suivants:(1)

$$(B) 2 L_{\infty}, \infty L_2.$$

$$(A) \frac{2 L_{\infty}}{P_{\infty}}, \frac{\infty 2 L_2}{\infty P_2}, C. \quad (C) (L_{\infty} l_{\infty}), \infty P_1. \quad (E) (L_{\infty} l_{\infty}).$$

$$(D) \frac{(L_{\infty} l_{\infty})}{P_{\infty}}, C.$$

(A) Le premier est le groupe cylindrique, qui possède les éléments

de symétrie du cylindre circulaire droit. L'axe principal est un axe d'isotropie doublé $2L_{\infty}$. Les droites perpendiculaires à l'axe principal et passant par le centre constituent une infinité d'axes binaires doublés $\infty 2L_2$ et le plan perpendiculaire à l'axe principal passant par le centre est un plan de symétrie directe P_{∞} d'ordre infini. Une infinité de plans de symétrie directe ∞P_2 d'ordre 2 passent par l'axe principal. Le centre du cylindre est un centre de symétrie C.

Lorsqu'on comprime un corps isotrope suivant une seule direction. Il devient anisotrope et possède alors la symétrie de ce groupe.

(B) Le deuxième est le groupe de symétrie d'un cylindre circulaire droit, qu'on a tordu autour de son axe. Il possède seulement un axe d'isotropie doublé $2L_{\infty}$ et une infinité d'axes binaires ∞L_2 .

(C) Le troisième est le groupe de symétrie d'un tronc de cône circulaire droit. Il possède un axe d'isotropie L_{∞} et celui de sens contraire d'une autre espèce l_{∞} . Il a encore une infinité de plans de symétrie ∞P_1 passant par l'axe. C' est la symétrie d'une quantité vectorielle, comme une force, un courant ou un champ électrique.

(D) Le quatrième groupe possède un axe d'isotropie L_{∞} et un axe de sens contraire d'une autre espèce l_{∞} . Il possède un centre de symétrie C et un plan de symétrie d'ordre infini P_{∞} normal à l'axe d'isotropie. C' est la symétrie d'un cylindre circulaire droit qui tourne autour de son axe avec une certaine vitesse. Un couple, un champ magnétique se rattachent à ce groupe.

(E) Le cinquième groupe possède seulement un axe d'isotropie (L_{∞}, l_{∞}) non doublé. Cet axe étant commun aux groupes (C) et (D), la symétrie du groupe (E) doit résulter de la superposition de ces deux groupes. La symétrie du groupe (C) est celle d'un tronc de cône. Le groupe (D) est caractérisé par une rotation. La superposition de ces deux groupes doit engendrer la symétrie d'un tronc de cône tournant.

À mesure que le phénomène physique se produit, la symétrie des divers points de l'espace disparaît et un état dissymétrique se forme. La production d'un phénomène physique est toujours accompagnée de l'apparition d'une dissymétrie qui le caractérise. Dans les conditions idéales les éléments de dissymétrie des causes doivent se retrouver dans leurs effets. Mais en réalité très souvent pour une raison particulière quelconque, certaine cause ne peut pas produire intégralement son effet. Il en résulte une disparition partielle d'éléments de symétrie correspondants. En raison de cette diminution on peut énoncer le principe suivant:

Lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits.

Lorsque des effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui leur ont donné naissance.

Les réciproques de ce deux propositions ne sont pas vraies, au moins en pratique, autrement dit, les effets peuvent être plus symétriques que les causes.

C' est là l'énoncé complet du principe de symétrie de Curie dans son aspect le plus général. En s'appuyant sur ce principe on peut évidemment déterminer la symétrie du champ électrique ou magnétique à partir de la symétrie des causes de leur production. Mais la symétrie du champ électrique ou magnétique coïncide-t-elle réellement avec la symétrie ainsi déterminée? Lorsqu'elle coïncide et que les éléments de symétrie se conservent, il y a de temps en temps disparition d'éléments de dissymétrie. Quelle en est la raison? Ces deux questions ont toutes deux besoin d'être éclaircies et c'est dans ce but que nous avons entrepris nos expériences.

I. MÉTHODE SUIVIE DANS NOS EXPÉRIENCES.

A. Choix de la Méthode : Lorsque l'intensité du champ électrique ou magnétique reste constante, son existence ne peut se manifester que

par l'effet produit sur une matière. C'est pourquoi si l'on veut étudier les symétries du champ électrique et du champ magnétique dans l'espace, il est indispensable de choisir une matière convenable comme témoin. Cette matière doit satisfaire aux deux conditions suivantes:

a. Avant de subir l'action du champ électrique ou magnétique, elle doit pouvoir être considérée comme isotrope.

b. Les propriétés dissymétriques induites par le champ électrique ou magnétique doivent y être facilement décelables par l'expérience.

La condition (a) peut-être considérée comme satisfaite par toutes les matières dépourvues de pouvoir rotatoire et non cristallisées. La condition (b), qui comporte la restriction du contrôle de expérience, est relativement plus difficile à satisfaire.

Si on choisit une matière non métallique transparente, une méthode optique s'impose. On peut se rendre compte de la symétrie du champ électrique ou magnétique en déterminant les modifications que subissent l'indice de réfraction et le plan de polarisation, par exemple, par le phénomène de Kerr et l'effet de Faraday. Par contre si on choisit un métal non transparent comme sujet d'expérience, nous ne pouvons utiliser qu'une méthode électrique pour déterminer les symétries du champ électrique et magnétique. Au lieu de la lumière on utilise un courant électrique. Mais tandis qu'à l'aide de la lumière on peut déterminer à la fois les modifications de l'indice de réfraction et du plan de polarisation, avec le courant on ne peut mesurer qu'une variation de résistance. Par conséquent on doit faire intervenir dans ce cas une influence extérieure convenable pour permettre de distinguer la symétrie du champ électrique et celle du champ magnétique.

La méthode optique est sans doute la plus simple, mais la nature de la lumière comparée à celle du courant est beaucoup plus compliquée. Pour faciliter le raisonnement, nous avons adopté une méthode électrique.

Un fil métallique assez fin est d'abord recuit dans un champ électrique ou magnétique, de façon qu'il conserve la symétrie du moment du recuit. Puis on tord le fil en faisant décrire à la torsion un cycle fermé et observe la symétrie que le fil a ainsi conservée.

B. Montage des appareils pour le recuit: A fin d'éviter l'influence des gaz, le fil métallique est recuit dans le vide à l'intérieur d'un tube de verre, comme l'indique la figure I (voir la figure 1 de la page 5). L'extrémité supérieure du fil est fixée sur le fond d'un petit tube de cuivre rempli de mercure. Ce tube est encastré au centre d'un disque de cuivre de diamètre égal au diamètre extérieur du tube de verre. Le disque de cuivre repose à son tour sur l'ouverture supérieure du tube de verre et supporte ainsi le fil et son poids tenseur de 20g. suspendu à son extrémité inférieure. Le tube de verre est fermé en haut par un couvercle de verre. Un fil de platinoir le traverse, plonge dans le mercure du tube de cuivre et permet d'amener le courant dans le fil à recuire. On s'est abstenu de suspendre le fil à recuire directement au fil de platinoir du couvercle de verre. En effet si ce fil était soumis à une tension trop grande des fissures pourraient se produire à la soudure avec le couvercle au moment où un courant intense passe. L'étanchéité entre le couvercle et le tube est assurée avec du mastic à vide. Il est nécessaire de chauffer à la flamme à la fermeture comme à l'ouverture. A fin d'éviter que le contact direct de la flamme ne détériore à la longue le couvercle, celui-ci est entouré d'un anneau de cuivre au niveau du joint avec le tube de verre. Le fil à recuire est maintenu suivant l'axe du tube de verre en haut par un mince disque de cuivre et en bas par une fourche étoilée. L'extrémité inférieure du tube de verre se termine par un autre tube de diamètre légèrement plus grand, dont le fond est rempli de mercure. Le courant, ayant traversé le fil à recuire, aboutit au mercure par un fil fin soudé au poids tenseur de plomb. A fin de rendre la liaison aussi souple que possible, le fil fin est enroulé en forme de spirale. De cette façon la tension du fil à recuire conserve presque toujours la même valeur, même si le

mercure est solidifié. Un tube latéral de diamètre légèrement inférieur débouchant au dessus du niveau de mercure assure la communication du tube de recuit avec un tube de condensation. Celui-ci communique à son tour par un tube T à la pompe à vide. De cette façon les matières volatiles avant d'arriver à la pompe sont éliminées dans le tube de condensation et l'abaissement de la pression se trouve facilité. Le vide est fait à l'aide d'une pompe métallique de diffusion à mercure à quatre étages du type Gæde. La limite que la pompe permet d'atteindre est de 10^{-6} mm. de mercure. Deux vases de Dewar V_I , V_{II} remplis de mélange réfrigérant entourent, l'un le fond du tube de recuit pour y diminuer la pression du mercure, l'autre le tube de condensation pour y abaisser la température. La température que le mélange réfrigérant permet d'atteindre est d'environ -50°C . Ce mélange est formée de glace pilée et de poudre de $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dans le rapport de 7 à 10. La bobine B, destinée à produire le champ, de 60 cm. de longueur, a 120 spires par cm. Elle est fixée comme le tube de recuit sur une planche P, de façon que son axe coïncide avec celui du tube. Entre le tube de recuit et la bobine un gros tube de cuivre L forme un écran pour éliminer l'effet des phénomènes électrostatiques de toutes sortes ou celui de la variation du champ magnétique.

C. Modes de recuit: Après avoir disposé le fil à recuire au milieu du tube de verre, on fait fonctionner une première fois la pompe à vide pour voir si les jonctions des tubes sont bien étanches. Si l'étanchéité est bonne la pression baisse rapidement: au bout de 10 minutes de temps elle peut atteindre déjà la valeur de 10^{-3} mm. de mercure. Après avoir fait fonctionner la pompe d'une façon continue pendant une heure, On lance à travers le fil un courant de 0,5 A. d'intensité et on effectue un premier recuit du fil. Pendant ce premier recuit on augmente progressivement l'intensité du courant de 0,1 A. par l'intervalle de 15 minutes jusqu' à ce qu'elle atteigne une valeur I_1 . L'intensité est maintenue constante ensuite pendant quatre heures consécutives et le courant est

coupé finalement. Pendant toute la durée de l'opération le fonctionnement de la pompe n'a pas été interrompu à aucun moment. Le but en est d'éliminer les gaz absorbés par le fil à recuire ou adsorbés par les parois du tube. Pendant le deuxième recuit on installe d'abord le réfrigérant au dessous du tube de recuit et du tube de condensation et on fait le vide ensuite. L'intensité du courant est augmentée progressivement jusqu'à une valeur I_2 , puis maintenue constante pendant 10 minutes. Le courant est alors coupé brusquement, afin que les molécules métalliques conservent plus facilement les modifications subies sous haute température.

Conformément au processus, que nous venons de décrire, nous avons recuit des fils suivant quatre modes différents.

a. Les deux recuits sont effectués avec un courant alternatif. Dans ce cas, à part l'effet thermique, le fil recuit n'a subi aucune autre influence. On doit considérer leur état de symétrie comme n'ayant pas changé. Si le métal est pur, le symbole de cette symétrie doit être

$$\frac{\infty 2 L_{\infty}}{\infty P_{\infty}}, C.$$

b. Les deux recuits sont effectués encore avec un courant alternatif. Mais pendant le deuxième recuit le fil est soumis à un champ magnétique longitudinal constant. Dans ce cas, par suite de l'action du champ magnétique, l'état de symétrie du fil recuit doit se modifier. Si, après modification, son état de symétrie est identique à celui du champ magnétique, le symbole de cette symétrie doit être $\frac{(L_{\infty}, l_{\infty})}{P_{\infty}}, C.$

c. Les deux recuits sont tous deux effectués avec un courant continu. Dans ce cas aux effets thermiques produits par le courant s'ajoute l'action d'un champ électrique de sens défini. Par suite de l'existence de ce champ l'état de symétrie du fil de recuit doit se modifier. Si, après modification, sa symétrie devient identique à celle du champ électrique,

le symbole doit être $(L_{\infty}, l_{\infty}), \infty P_1$.

d. Les deux recuits sont encore effectués avec un courant continu. Mais pendant le second recuit le fil est soumis en plus à un champ magnétique longitudinal constant. Dans ce cas on fait agir sur le fil non seulement le champ électrique, qui produit le courant continu, mais encore un champ magnétique constant. Par suite de l'influence de ces deux facteurs l'état de symétrie du fil doit se modifier. Si, après modification, sa symétrie devient identique à celle qui résulte de la superposition de la symétrie du champ électrique à celle du champ magnétique, le symbole doit être (L_{∞}, l_{∞}) .

D. Montage des appareils de mesure: La variation de résistance électrique du fil recuit est mesurée à l'aide d'un galvanomètre différentiel. Le fil recuit LI est relié en parallèle à l'un des deux enroulements du galvanomètre et un autre fil LI de matière identique est relié à l'autre enroulement. Après avoir relié les deux fils en série, comme l'indique la figure 2 (voir la figure 2 de la page 7.), on lance un courant d'intensité déterminée. La sensibilité du galvanomètre différentiel est de l'ordre de $3 \cdot 10^{-6}$ V. Sa résistance intérieure est égale à 300 Ω . Les deux résistances RI, RII en série avec les deux enroulements du galvanomètre ont tous deux une valeur de 2000 Ω . R est une résistance variable, dont le but est de modifier l'intensité du courant qui traverse le fil et de permettre le réglage de la sensibilité de la mesure de résistance.

Avant qu'on tord le fil recuit, les différences de potentiel aux bornes des deux enroulements galvanométriques sont égales. Le miroir reste donc immobile au zéro. Lorsque le fil recuit subit une torsion, sa résistance augmente. La différence de potentiel aux bornes de l'enroulement galvanométrique relié au fil tordu augmente aussi. Il y a rupture d'équilibre et le miroir du galvanomètre dévie. La résistance du fil recuit est infime en comparaison de la somme de la résistance intérieure du

galvanomètre et de la résistance extérieure reliée en série avec elle. Le courant qui traverse le fil peut donc être considéré comme ensemblement constant. On peut par suite considérer la variation de résistance du fil recuit comme directement proportionnelle à l'angle de déviation du miroir galvanométrique.

Pour effectuer les mesures le fil recuit LII et le fil LI sont fixés ensemble sur une planche de bakélite de 80 cm. de longueur et de 4,9 cm. de largeur. Pour augmenter sa résistance et éviter qu'elle fléchisse, la planche de bakélite est renforcée en dessous par une tôle dont la section est en forme de Ω . Le fil LII a une longueur de 45 cm. Ses deux extrémités sont soudées l'une à une tige cylindrique de cuivre et l'autre à un bloc carré de cuivre assez épais. La tige cylindrique est en contact avec le mercure contenu dans un auget en bakélite et traverse ensuite en son centre un disque également en bakélite. Elle porte fixé à son extrémité un disque gradué qui permet de mesurer l'angle de torsion. Le bloc carré de cuivre peut coulisser à l'intérieur d'une cavité de forme carrée. Trois roulements à billes rectilignes, deux au dessous et un au dessus, sont prévus pour diminuer le frottement et faciliter la transmission de la tension au fil recuit. Cette tension s'exerce à travers un deuxième disque de bakélite par l'intermédiaire d'une petite poulie. Le fil LI est placé à côté de LII et tendu par un ressort en boudin comme l'indique en plan la partie supérieure de la figure 3 (voir la figure 3 de la page 8). Le courant est amené par le mercure contenu dans l'auget B, transmis au fil recuit par l'intermédiaire du bloc carré de cuivre et en suite au fil LI par le contact de mercure de l'auget A, comme l'indique en élévation la partie inférieure de la figure 3. Une baquette C en cuivre forme en son extrémité un contact mobile avec le fil LI. Elle permet de régler la résistance de LI et de faciliter la réalisation de l'équilibre du galvanomètre. Les disques fixés aux extrémités de la planche de bakélite ont tous deux le même diamètre, égal au diamètre intérieur d'un thermostat cylindrique en laiton. De cette façon lorsque la planche

de bakélite est poussée à l'intérieur du thermostat, les disques en assurent automatiquement la fermeture. Le thermostat de 80 cm. de longueur est constitué par un réservoir cylindrique à double paroi. Le cylindre intérieur a un diamètre de 5 cm. Le diamètre extérieur est de 10 cm. Le réservoir du thermostat est rempli d'eau afin d'atténuer l'effet d'une variation de température à l'extérieur.

Lorsqu'on retire le fil LII du tube de recuit, un effort extérieur appliqué par inattention produit facilement une déformation permanente qui peut influencer les résultats d'expérience. Pour diminuer autant que possible les chances de pareils accidents, on place à l'avance la planche de bakélite à côté du fil. Le fil retiré du tube de recuit est amené soigneusement contre la planche de bakélite et on effectue deux points de soudure aux extrémités.

II. RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES

A. Résultats obtenus avec des fils recuits dans le vide.

Les métaux purs peuvent être considérés, dans le cas général, comme des substances isotropes, tandis que les alliages, à cause de leur constitution hétérogène, sont sans doute moins symétriques. C'est pourquoi la marche à suivre pour effectuer nos expériences a été la suivante: nous avons recuit d'abord des fils de métal pur pour étudier les symétries du champ électrique et du champ magnétique, et ensuite des fils d'alliage afin d'observer l'influence d'une substance hétérogène sur leur symétrie.

1. **Fil de nickel:** Nous avons recuit plusieurs fils de nickel de 0.255 mm. de diamètre suivant les quatre modes (a) (b) (c) (d), en adoptant $I_1 = 0,9$ A. et $I_2 = 1,0$ A. Ensuite nous avons fait décrire un cycle de torsion à chaque fil traversé par un courant de 50 M A. et tendu par un poids de 20 gr. Les résultats obtenus sont indiqués sur la figure 4 (voir la figure 4 de la page 9).

La courbe A. C. est la courbe de torsion obtenue avec un fil recuit par un courant alternatif. La courbe est semblable au contour des ailes d'un papillon. Elle est presque symétrique par rapport à l'axe des ordonnées. (2)

La courbe A. C. +H est obtenue avec un fil recuit par un courant alternatif dans un champ magnétique de 100 gauss. Cette courbe ressemble à la courbe A. C, mais elle n'est pas symétrique par rapport à l'axe des ordonnées. La boucle du côté gauche est plus grande que celle de droite et le point d'intersection s'est déplacé en même temps vers la droite. Tout semble indiquer que les effets de la torsion augmentent dans un sens et diminuent dans l'autre dans un rapport bien déterminé.

La courbe D. C. est obtenue avec un fil recuit par un courant continu. Cette courbe ressemble beaucoup à la courbe A. C. Elle est aussi à peu près symétrique par rapport à l'axe des ordonnées. Mais les deux boucles sont plus larges.

La courbe D. C. +H est obtenue avec un fil recuit par un courant continu dans un champ magnétique de 100 gauss. La ressemblance des deux boucles n'est qu'approchée. La dissymétrie résulte de ce qu'une boucle paraît nettement inclinée par rapport à l'autre. L'allure de la courbe ressemble à celle que l'on obtiendrait en appliquant d'avance une certaine torsion au fil de nickel et en décrivant ensuite un cycle de torsion bien déterminé.

L'obtention des quatre courbes ne présente pas les mêmes difficultés. Il est très facile de reproduire les courbes A. C. et A. C. +H. La reproduction des courbes D. C et D. C. +H est relativement beaucoup moins aisée. Cette différence est peut-être due à ce que le champ électrique n'

2. Pendant le recuit le fil subit l'influence du champ magnétique terrestre. C'est pourquoi la symétrie parfaite de la courbe n'est pas possible.

agit pas pendant toute la durée du recuit: son action est interrompue dès qu' on coupe le courant.

a. **Symétrie de la courbe A.C.+H.** On tord le fil de nickel d' un certain angle d'abord dans le sens inverse des aiguilles d' une montre. On le détord ensuite jusqu' au zéro. Puis on retord le fil dans le sens des aiguilles d' une montre d' un même angle de torsion et on le détord ensuite. On fait subir ainsi au fil de nickel un cycle de torsion symétrique. Mais, dans le cas de A. C. +H, la courbe obtenue n' est pas symétrique. Il semble que les effets de la torsion augmentent pour l' un des sens de rotation et diminuent pour l' autre. La production de ce phénomène dissymétrique est-elle due au champ magnétique? Si l' hypothèse est exacte, en inversant le champ magnétique au moment du recuit du fil, on devra obtenir un résultat inverse, c' est à dire, une courbe symétrique de la première courbe A. C. +H. Or le sens du champ pendant le recuit et le sens du courant pendant les mesures sont en correspondance relative. Qu' on change le sens du champ ou qu' on inverse le sens du courant le résultat est le même. En appliquant ce raisonnement nous avons recuit suivant la même méthode un fil de nickel dans un champ de 50 gauss. Nous avons fait subir au fil des cycles de torsion en lançant un courant de 50 M. A. d'abord dans un sens puis dans l' autre. Les résultats obtenus sont indiqués sur les figures 5 et 6 (voir les figures 5 et 6 de la page 11).

La figure 5 représente la courbe obtenue avec un courant en sens inverse du champ, tandis que la figure 6 représente les résultats obtenus dans le cas où le courant et le champ sont de même sens. Les deux courbes 5 et 6 sont symétriques l' une de l' autre. Il en résulte la conclusion suivante: *l' action d' un champ magnétique longitudinal pendant le recuit du fil de nickel y induit un pouvoir rotatoire latent, dont la symétrie est analogue à celle du champ magnétique.* son action augmente ou diminue l' effet de la torsion suivant le sens de la torsion. C' est

ce qui explique l'allure dissymétrique de la courbe.

b. Symétrie de la courbe D. C. + H. Puisqu' en effectuant le recuit dans un champ magnétique avec un courant alternatif, le fil possède la symétrie du champ magnétique, en effectuant le recuit dans un champ magnétique avec un courant continu, obtiendra-t-on la symétrie qui résulte de la superposition du champ électrique et du champ magnétique? Le champ électrique a la symétrie d' un tronc de cône et le champ magnétique est caractérisé par une rotation. De leur superposition résulte exactement la symétrie d' un tronc de cône tournant. Si le tronc de cône était d' abord dextrogyre, après inversion du sens du champ magnétique, on devra obtenir un tronc de cône lévogyre qui forme avec le précédent une symétrie énantiomorphe. Dans ces conditions suivant que l'allure de la courbe est modifiée ou non par l'inversion du sens du courant de mesure, on a un ou deux paires de courbes énantiomorphes.

En nous appuyant sur le raisonnement précédent, nous avons recuit deux fils de nickel avec un courant continu dans champs magnétiques de 50 gauss de sens inverses. Nous avons fait décrire ensuite des cycles de torsion aux deux fils tendus chacun par un poids de 20 gr. et parcourus par un courant de 50 M. A. Les courbes obtenues ainsi présentent une symétrie énantiomorphe et confirment nos prévisions. Mais les courbes obtenues en changeant le sens du courant de mesure sont à peu près identiques à celles obtenues en changeant le sens du champ magnétique. Ceci est en contradiction avec le raisonnement exposé plus haut. Les figures 7 et 8 (voir les figures 7 et 8 de la page 12) représentent les résultats obtenus avec un courant de recuit de même sens que le champ magnétique. La figure 7 représente la courbe de torsion dans le cas où le courant de mesure est de sens contraire à celui du champ magnétique, tandis que la figure 8 représente celle obtenue avec un courant de mesure de même sens que le champ. Ces deux courbes ont une symétrie énantiomorphe. On en déduit que, dans le cas présent, la symétrie du

fil de nickel après recuit n'est pas celle d'un tronc de cône tournant, mais celle d'un cylindre tordu. (3) C'est à cet effet de torsion qu'est due peut-être la déformation de la courbe de torsion.

On peut représenter les étapes du changement de symétrie de la façon suivante:

$$\left. \begin{array}{l} (L_{\infty}, l_{\infty}), \infty P_1. \\ \text{(champ électrique)} \\ + \\ \frac{(L_{\infty}, l_{\infty})}{P_{\infty}}, C. \\ \text{(champ magnétique)} \end{array} \right\} (L_{\infty}, l_{\infty}). \rightarrow 2 L_{\infty}, \infty L_2. \\ \text{(tronc de cône} \qquad \qquad \qquad \text{(cylindre circulaire} \\ \text{tournant)} \qquad \qquad \qquad \text{droit tordu)}$$

2. Fil d'acier: Pour faciliter la comparaison avec le fil de nickel, nous avons pensé au début à employer un fil de nichrome pour effectuer nos études sur les alliages. Mais un premier essai nous a permis de constater que la variation de résistance du fil de nichrome est à peu près identique à celle du fil d'acier. Mais il se produit souvent pour le fil de nichrome des phénomènes de discontinuité, tandis que le fil d'acier conserve une stabilité assez grande. C'est pourquoi nous avons adopté des fils d'acier (Roslau stahdraht de 0,306 mm. de diamètre) comme sujet d'expérience. Ces fils ont été d'abord recuits suivant les quatre modes (a) (b) (c) (d), en utilisant des courants $I_1 = 1$ A, et $I_2 = 1,1$ A. Nous avons fait ensuite décrire des cycles de torsion aux fils parcourus par un courant de 100 M. A. et tendus par un poids de 100 gr. Dans le cas du fil recuit avec un courant alternatif, la courbe de variation de résistance sous l'effet de la torsion monte lentement suivant une sinusoïde. Les courbes de variation de résistance dans les trois autres cas sont à peu près identiques: elles montent lentement suivant une ondulation inclinée (voir les figures 9 et 10 de la page 13). L'

3. Symétrie identique à celle de l'effet Matteuci—Wiedemann.

inclinaison de l'ondulation ne change pas lorsqu'on inverse le sens du courant. Elle semble ne dépendre que du sens de la torsion.

Pour plus de clarté sur les figures 9 et 10, les courbes de torsion qui correspondent aux deux sens de rotation ont été décalées l'une par rapport à l'autre en changeant d'axe des abscisses. La courbe A.C.+H est obtenue avec un fil recuit par un courant alternatif dans un champ magnétique de 50 gauss. La courbe D. C. est obtenue avec un fil recuit par un courant continu. Les courbes A. C.+H et D. C. sont semblables. Au début les deux courbes ont toutes les deux une allure d'ondulations inclinées. L'inclinaison diminue à mesure qu'on détord le fil. L'inclinaison en sens inverse n'apparaît que lorsque la torsion inverse contre-balance suffisamment la torsion que le fil possédait antérieurement. Pendant qu'on détord le fil il peut se produire par hasard une discontinuité (fil 9). Dans ce cas l'inclinaison inverse apparaît subitement. La forme de la courbe est semblable à la courbe de la première torsion, (4) mais l'amplitude a augmentée.

La symétrie du champ électrique fait partie du groupe du tronc de cône; celle du champ magnétique appartient au groupe du cylindre tournant. Les deux sortes de symétrie sont totalement différentes. Cependant, d'après les résultats obtenus plus haut, un fil d'acier recuit par un courant alternatif dans un champ magnétique, ou recuit par un courant continu, possèdent des propriétés de symétrie à peu près analogues. Il en résulte que, dans le cas d'un fil métallique hétérogène, les éléments de symétrie du champ électrique et du champ magnétique sont nettement augmentés. L'allure ondulée de la courbe ne change pas lorsqu'on

4. Le phénomène de discontinuité est dû aux glissements des divers groupes de petits cristaux l'un par rapport à l'autre par suite de la torsion. C'est pourquoi l'effet d'une torsion antérieure du fil disparaît après la production du phénomène de discontinuité.

inverse le sens du courant, la symétrie du champ magnétique doit avoir perdu dans ce cas l'élément de rotation et appartenir au groupe du cylindre. Puisque la symétrie du champ électrique est devenu semblable à celle du champ magnétique, elle doit avoir perdu les propriétés du groupe du tronc de cône, et faire partie également du groupe du cylindre. Si nous désignons par X_1 les éléments de symétrie qui résultent de la superposition de la symétrie du champ magnétique et celle du fil d'acier, par X_2 les éléments de symétrie qui résultent de la superposition de la symétrie du champ électrique et celle du fil d'acier, nous devons avoir:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Éléments de symétrie du fil} \\ \text{d'acier} \\ + \\ (L_{\infty}, l_{\infty}), \quad C. \\ \text{(champ magnétique)} \end{array} \right\} X_1 \rightarrow \frac{2 L_{\infty}}{P_{\infty}}, \frac{\infty 2 L_2}{\infty P_2}, \quad C. \\ \text{(cylindre circulaire droit)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Éléments de symétrie du fil} \\ \text{d'acier} \\ + \\ (L_{\infty}, l_{\infty}), \quad \infty P_1 \\ \text{(champ électrique)} \end{array} \right\} X_2 \rightarrow \frac{2 L_{\infty}}{P_{\infty}}, \frac{\infty 2 L_2}{\infty P_2}, \quad C. \\ \text{(cylindre circulaire droit)}$$

B. Résultats obtenus avec des fils recuits dans de l'hydrogène. (5)

Recuons dans de l'hydrogène des fils d'acier avec un courant alternatif de même intensité, mais en variant l'effort de tension que le fil subit pendant le recuit. Construisons les courbes en adoptant la tension comme abscisse et la résistance des différents fils comme ordonnée. On obtient une courbe semblable à une sinusoïde. Si pendant le recuit

des fils, nous leur faisons supporter la même tension, mais faisons varier l'intensité du champ magnétique longitudinale, la courbe de variation de résistance est encore semblable à une sinusoïde. On doit en conclure que pour les fils d'acier l'action du champ magnétique est analogue à celle d'une tension. Ceci est en accord avec la théorie que nous avons exposée. Mais les propriétés du fil d'acier après recuit dans de l'hydrogène sont très différentes de celles du fil recuit dans le vide. L'état de symétrie ne se modifie-t-il pas par l'action de l'hydrogène. Pour répondre à cette question nous avons recuit de nouveau des fils d'acier dans de l'hydrogène et observé si les résultats obtenus sont identiques à ceux du recuit dans le vide.

I. Méthode de recuit: Pendant le recuit du fil dans de l'hydrogène la température des parois du tube devient facilement inégale. Pour éviter ce défaut nous avons changé de la méthode et opéré avec le dispositif indiqué sur la figure 11 (voir la figure 11 de la page 15). Le tube de verre est remplacé par un tube de cuivre d'assez grande épaisseur et il est placé horizontalement pour faciliter l'uniformisation de la température. Le tube de cuivre T est maintenue dans sa position coaxiale d'un long cylindre de cuivre L par deux fourchettes étoilées. Par une extrémité du tube T débouche le tube d'arrivée de l'hydrogène, l'autre est en communication par soudure avec un gros tube cylindrique C. La bobine B qui produit le champ est à l'extérieur du cylindre L. Elle a 120 spires par cm. et une longueur de 60 cm. et peut se déplacer ensemble avec le cylindre L suivant la direction de l'axe du tube T de façon à faciliter les opérations de recuit. A l'extérieur du tube L nous avons enroulé parallèlement deux tubes fins en caoutchouc. Pendant le recuits ils sont parcourus par deux courants d'eau en sens inverses. Le but en est d'éviter l'influence de la chaleur dégagée par la bobine extérieure et de pouvoir maintenir les conditions identiques pour chaque recuit. Le fil d'acier a une longueur de 45 cm.

Les extrémités sont pincées à l'aide d'anneaux de fer dans de petites tiges d'acier. L'une des tiges est fixée à un disque de bakélite D placée à une extrémité du tube de recuit. L'autre tige est solidaire d'un auget E contenant du mercure. Une ficelle passant sur une poulie à l'intérieur du gros tube C est attachée à E et permet d'appliquer la tension au fil à recuire. Le courant du recuit est amené par une tige fine de cuivre à travers un bouchon en bakélite dont l'extrémité est en contact avec une lame de cuivre amalgamée. Le courant sort par un fil de cuivre traversant un autre bouchon de bakélite et dont l'extrémité plonge dans le mercure de l'auget E. L'auget est fait en isolant et enveloppé extérieurement par du cuivre. Il glisse librement à l'intérieur du tube de recuit. C' est pourquoi quoique le fil s'allonge par dilatation au moment du recuit; sa tension conserve une valeur à peu près constante.

2. Résultats des expériences: Afin d'avoir des résultats d'une généralité plus grande, outre les fils d'acier nous avons utilisé également des cordes de piano de 0.250 mm. de diamètre. Nous avons recuit ces deux sortes de fils dans de l'hydrogène suivant les quatre modes (a) (b) (c) (d). Les conditions de recuit sont résumées dans le tableau suivant:

Nature du fil	Intensité du courant	Intensité du champ	Durée du recuit	Tension du fil
Roslau stahldraht	4,5 A.	50 gauss	5 min.	150 gr.
Corde de piano	3,6 A.	50 gauss	5 min.	150 gr.

La torsion a été appliquée à ces deux sortes de fil d'acier parcourus chacun par un courant de 100 M. A. et tendu par un poids de 100 gr. Les deux séries de courbes obtenues ont été représentée suivant l'ordre

des modes de recuit sur la figure 12 (voir la figure 12 de la page 16).

En comparant les résultats obtenus pour les fils d'acier de 0.306 mm. de diamètre avec ceux des cordes de piano, on voit que les changements d'allures des courbes correspondantes sont à peu près identiques, seulement la rapidité d'augmentation de la résistance diffère un peu. Pour les courbes A. C. obtenues dans le cas de recuit par courant alternatif, la résistance augmente lentement suivant une loi sinusoïdale. Les courbes A. C.+H, obtenues dans le cas de recuit par courant alternatif dans un champ magnétique, ont une allure identique à celle des courbes D. C, obtenues avec des fils recuits par courant continu. Les deux sortes de courbes montent lentement suivant une ondulation inclinée. Les courbes D. C.+H, obtenues avec recuit par courant continu dans un champ magnétique, ont une allure semblable à la courbe A. C.+H, après la production d'un phénomène de discontinuité (fig. 9). Autrement dit la courbe monte suivant une ondulation inclinée d'amplitude plus grande.

En s'appuyant sur les résultats précédents, On voit clairement que la symétrie du fil d'acier après le recuit ne se modifie pas par suite de la présence de l'hydrogène. (6) Le raisonnement exposé plus haut peut donc s'appliquer dans ce cas. Le fait qu'en variant la tension du fil au moment du recuit, ou en variant l'intensité du champ magnétique, on obtienne des résultats semblables, est une vérification expérimentale de cette façon de voir. D'autre part l'aspect de la courbe D. C.+H. est semblable à celui de la courbe A. C.+H. après la production de la discontinuité. Ce fait n'a-t-il point une certaine signification? Si l'on suppose que dans le cas D. C.+H le fil d'acier ait subi un effet de torsion au

6. Raison pour laquelle l'état de symétrie du fil d'acier ne se modifie pas par suite de la présence de l'hydrogène : Ceci est peut-être due à l'impossibilité de former une phase distincte par suite de la facilité de diffusion de l'hydrogène à l'intérieur du fer.

moment du recuit et cet effet de torsion ait disparu par suite de glissements des petits cristaux à l'intérieur du fil et que la production de la discontinuité en est le résultat, le phénomène observé peut être complètement expliqué par la théorie. Dans le cas présent, si nous désignons par X_3 les éléments de symétrie qui résultent de la superposition des symétries du champ électrique et du champ magnétique avec celle du fil d'acier, les divers étapes du changement de symétrie peuvent être représentés symboliquement de la façon suivante:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Élément de symétrie} \\ \text{du fil d'acier} \\ + \\ (L_\infty, l_\infty). \\ \text{(champ élec. +} \\ \text{champ magn.)} \end{array} \right\} X_3 \rightarrow 2L_\infty, \infty L_2 \rightarrow \frac{2L_\infty}{P_\infty}, \frac{\infty 2L_2}{\infty P_2}, C.$$

(cylindre circulaire droit tordu) (cylindre circulaire droit)

III. CONCLUSION.

Si on adopte le fil de nickel pour étudier la symétrie du champ électrique et celle du champ magnétique, on trouve que le champ électrique appartient au groupe du tronc de cône et le champ magnétique au groupe du cylindre tournant. La symétrie déterminée expérimentalement s'accorde avec celle déterminée par le principe de Curie. Si on superpose l'action des deux champs, la symétrie qui en résulte devrait appartenir au groupe du tronc de cône tournant. Mais la symétrie que l'on observe effectivement fait partie du groupe du cylindre tordu. Les éléments de symétrie ont donc augmenté dans ce cas. En opérant avec une substance hétérogène, comme le fil d'acier, les symétries du champ électrique et du champ magnétique évoluent alors vers le groupe du cylindre circulaire. L'augmentation des éléments de symétrie est encore plus nette dans ce cas.

Le tronc de cône tournant, outre le mouvement de rotation, possède encore une direction privilégiée. Sa symétrie est identique à celle d'un

mouvement hélicoïdal. Deux mouvements hélicoïdaux identiques mais de sens contraire en se superposant forment la symétrie d'un cylindre tordu. Si on élargit le sens de la définition de l'équilibre, on peut considérer cette sorte de symétrie comme l'équilibre des symétries du groupe de tronc de cône tournant. Par un raisonnement analogue on voit que l'équilibre du groupe du tronc de cône ou celui du groupe du cylindre tournant sont équivalents tous deux à la symétrie du groupe du cylindre circulaire. Par conséquent les résultats des expériences précédentes peuvent s'énoncer de la manière suivante:

Lorsqu'un fil de nickel subit l'action d'un champ électrique ou du champ magnétique, les symétries de leur état d'équilibre est analogue à la symétrie du champ auquel il a été soumis. Mais si on superpose le champ électrique et le champ magnétique, ou qu'on adopte une substance hétérogène, comme le fil d'acier, la symétrie de l'état d'équilibre initial évolue dans le sens d'une augmentation d'éléments de symétrie vers un état d'équilibre plus symétrique que l'état d'équilibre initial.

D'après cet énoncé on voit clairement qu'il existe une analogie remarquable entre la symétrie et l'entropie. Ces deux notions ont-elles une signification analogue au point de vue statistique? C'est ce que nous chercherons à éclaircir dans une autre discussion.

第二十號

中華民國三十三年二月一日

北平中法大學

理學院特刊

居禮對稱定理

之

試驗研究

馬士修

王述英

北平中法大學出版