

# 電磁波概論

謝 處 方 譯

龍門聯合書局印行

同濟電工叢書

# 電磁波概論

Fundamentals of Electric Waves

Skilling原著

謝處方譯

黃席椿校

同濟大學工學院電機系

編審委員會編輯

龍門聯合書局印行

# 電 磁 波 概 論

Fundamentals of Electric Waves

Skilling

1948 John Wiley & Sons, Inc.

版權所有



不准翻印

一九五一年十月初版

定價人民幣 21,500 元

譯 者

謝

處

方

出版者

龍 門 聯 合 書 局

上海南京東路六一號一〇一室

電 話 一 八 八 一 九

總發行所

中國科技圖書聯合發行所

上海中央路二四號三〇四室

電 話 一 九 五 六 六

電報掛號 二 一 九 六 八

分 銷 處

龍門聯合書局及各地分局

上海總店 河南中路210號

上海支店 南京東路157號

北京分局 東安門大街82號

北京南城支店 琉璃廠103號

北京西城支店 西單福壽商場6號

重慶分局 中山一路368號

漢口分局 江漢一路3號

瀋陽分局 太原街40號

天津分局 羅斯福路308號

西安分局 中山大街217號

## 電工叢書引言

中國科學的所以落後，原因固然很多，中文科學書籍的缺乏，也是主要原因之一。有許多科學工作者，對於他們所研究的部門都是深具心得，甚或是有獨特的貢獻的，祇因大都不習慣於中文的寫作，不願從事編著中文科學書籍；即使有論文發表，也往往應用外國文字，這就對於中國科學的地位和發展，成為很大的障礙。

由於中文科學書籍的缺乏，大學裏所採用的教本和參考書，幾乎全都是外國文的，因此學生除了學習業務之外，還不得不在外國文上面化費許多的時間和精力，以致降低了學習的效率，這是何等值得惋惜的事。

同濟大學電機系全體師生有鑒於此，深感編譯中文書籍，刻不容緩，乃決定成立電工叢書編譯委員會，着手編譯電工書籍。我們相信如果這個工作能夠搞好的話，對於研究電工的學者，是有相當的幫助的。

我們希望在本叢書內，對於每一門電工學科都能有專冊介紹；只因電工技術發展奇速，所牽涉的範圍異常廣泛，這點能否辦到，實在難有把握；但是我們總盡力向這目標進行。

到目前為止，英文還是為我國最普遍的外國語，平常看到的科學書籍，也以英文的為最多。其實德國的學術地位，不在英美之下，德文電工書籍也不乏精湛和獨到之作。祇由於德文在國內不普遍，能閱讀的人很少，致使寶貴的知識湮沒無聞，何等可惜。同濟向以德文為第一外國語，和德文書籍接觸較多，我們自當致力於德文電工書籍的翻譯，以介紹並推廣德國學術。如果在某些學科方面，沒有適當或完善的外國書籍可資翻譯時，則預備利用本校教學的參考資料，並參考有關書籍，從事撰述。

本系全體教授講師助教，和本校的校友，都預備共同擔負這編譯的工作。為求內容充實和完善，有所編譯，必縝密校訂。因為現在還在嘗試時期，我們預備先譯應用技術書籍，將來再從事編譯較高深的著作。

承龍門聯合書局擔負本叢書的出版和發行，我們表示萬分的謝意。他們提倡中文科學書籍的熱忱，也是值得我們敬佩的。

這任務是非常艱巨的，我們的學力和經驗都有限得很，希望各電工界先進對我們不吝指教，多多批評，使我們的工作得以改善。同時更希望我們的工作能引起各界對於編譯中文科學書籍的興趣，一齊來從事這項工作。如果優良精湛的巨著因此源源而來，中國的科學地位因此而提高的話，那麼即使我們的成績是渺小而不足道的，我們也可引以自慰了。

黃席椿 一九五〇年八月

## 原 序

電磁波概論的範圍在第二版裏擴大了，有些很重要的應用問題，這裏已有了比較詳盡的討論，在理論方面也略見深入。

波導方面包羅了新的資料，天線一章已重新寫過。反射問題討論得更加詳細，並已重新加以組織。此外並討論到波在半導電媒質裏的傳播情形。游離區裏的傳播問題則在談及游離層的短章裏討論。

在這一版裏完全採用以米-千克-秒為單位的有理化系統，即 Giorgi 系統。為了給比較熟習厘-千克-秒系統的讀者以方便起見，我們在前面幾章的註解裏將它們之間的轉換關係寫出來。顯然的，學生們在新出版的書籍雜誌裏將發現大多數著者都是採用 *MKS* 單位，而且我們看到這一點；學生們愈是提早學習這個系統，他們的作業也愈感容易。

在寫第一版的時候，大部份在 1941 年寫的，電磁理論這一科對於電機工程師們毋寧說還是一種奢侈品。戰時的發展，很快的改變了這種觀念。在這篇序言裏，我們已經無需再講解電波的實用價值，或是說明波導的重要性了。

我們發現，這本書頗適合於大學電機系後期的學生。但讀者並不需要任何電磁理論的基礎：需要知道的祇是大學的普通物理和祇到微積分為止的數學程度。書裏也用到向量分析，但是讀者並不需要任何關於這方面的基本認識。

本書開始數章講靜電學，向量分析的應用，和類似的材料，這些材料對不耐煩的讀者會感覺到厭倦。開始的幾章對一部份人認為很玄妙，對另一部份人就感到嚙嚙。但是這是無法避免的，一個波不能沒有電場和磁場，同時，假使不完全明瞭場的基本觀念，也就不會了解波。

Maxwell 方程式大約出現在本書中部，它將前面幾章邏輯地總結起來。藉這些方程式的幫助，即可很容易的推論放射和波的傳播的原理，再由這些論題引到天線，傳輸線，和波導的簡單描述。

每章附有習題，它們是本書主要部份之一。大多數的習題，可以補充書本裏沒有詳細討論的幾點觀念。它們依着書本內容同樣的次序歸列在每章的後面。讀者應在這些習題裏面每天選做一二題，並且——這一點很重要——書裏許多概念，對於讀者還很新奇，只有在不斷的重複應用之後才不致再顯得生疏。Abraham 和 Becker 在他們的“電學理論”一書中的習題的前面，曾叫學生注意新約全書雅各書第一章(二十二):“不過你們須行道，不要單是聽道，自己欺騙自己”；我想不出更好的忠告了。

我應該感謝許多人幫助我寫著這本書。第一是我的妻子 Hazel Dillon Skilling，她的名字照理應該印在書面列為合著者，不過她不願意這樣做。

Stanford 大學有一種獎勵出版的遠大的目光和寬大的作風，本書便是這種政策的產品，執行這項政策的人是名譽校長 Wilbur，校長 Tresidder，和院長 Terman。

在技術方面我應該感謝 Terman 和其他許多著者的幫助。這些著者包括 Stratton, Schelkunoff, Everitt, Fink, Albert, Harnwell, Guillemain, Ramo 與 Whinnery, Pierce, Page, Mason 與 Weaver, Abraham 與 Becker, King, Slater, Barrow, Ballantine, Carson, Chu, Southworth——全部寫出來實在太多了。

我以十二分的誠意希望讀者能在本書範圍以外繼續閱讀更深的理論與更多的應用。目前有關工程的電磁理論方面的書籍和雜誌實在太多了，多至不可能列出書單來。在 King 的工程電磁學一書裏 (McGraw-Hill 圖書公司，1945 年，第一本，第 539 頁) 有一張書單。除了可認為標準的教科書和參考書之外，我們對於新出版的期刊常感到特殊的興趣，這些期刊都備有最新閱讀文件的清單。

在這裏我對於許多大學教授促我重新修訂這本書的盛情表示由衷的感謝。我深深的感激他們給我的許多經驗，這些經驗是他們在五十個以上學校裏採用電磁波概論作為課本所得到的。他們的建議使我在寫新版書時有一明確的方向。

Hugh Hildreth Skilling    Stanford 大學 1948 年 5 月

## 譯 序

自第二次世界大戰使用雷達作戰以來，電磁波之學理及技術突顯重要。目前關於電磁波之西文書籍雖已不少，但中文版本則可謂絕無僅有。譯者因感此種科學，現正方興未艾，普遍介紹於吾國實為刻不容緩之事。H. H. Skilling 博士所著電磁波概論一書，內容扼要，敘理簡明，而在闡述電磁場之基本觀念時尤能深入淺出，別創一格，實乃初學者不可多得之佳著。爰於課餘之暇譯成中文以饗國人。

譯者學識簡陋，初未敢擅持譯事，但因睹國內學者每以公務冗忙無暇執筆，譯者果能拋磚引玉，兼以喚起國人對此種科學之注意，則實所深禱者也。

本書譯成蒙黃席椿先生指教匡正之處頗多，謹此致謝。然以倉猝脫稿，遺漏謬誤之點仍必不少，尙祈海內讀者不吝賜教焉。

謝處方 一九五一年夏於同濟大學工學院

## 凡 例

- 一 西文人名及地名因未有適當標準，故悉用原名，未加強譯。其他譯名則儘量依照前教育部公佈之名詞標準，但遇有一部份譯名略覺欠妥或未能達意者，則參照其他已出版之譯著加以修改。凡無適當譯名或已有譯名而並不普遍者，均附註原文以備商榷。
- 二 原書註釋凡須參讀西文書籍或涉及英文拼音部份，因與譯書原旨不符，故特刪略。



# 目 錄

|      |                 |     |
|------|-----------------|-----|
| 第一章  | 靜電場實驗           | 1   |
| 第二章  | 向量分析            | 9   |
| 第三章  | 與場有關的幾個定理       | 35  |
| 第四章  | 靜電場             | 48  |
| 第五章  | 電流              | 65  |
| 第六章  | 磁場              | 72  |
| 第七章  | 例題和說明           | 92  |
| 第八章  | Maxwell 假說      | 101 |
| 第九章  | 平面波             | 111 |
| 第十章  | 反射              | 129 |
| 第十一章 | 放射              | 149 |
| 第十二章 | 天線              | 161 |
| 第十三章 | 波導              | 180 |
| 第十四章 | 在游離層裏的波         | 214 |
| 附表一  | 單位與符號           | 227 |
| 附表二  | 向量分析的公式和定理      | 229 |
| 附表三  | 電磁方程式           | 232 |
| 附表四  | 動態位             | 150 |
| 附表五  | 地體的特性           | 172 |
| 附表六  | 長方形波導裏，橫向電場波的分量 | 197 |
| 附表七  | 長方形波導裏，橫向磁場波的分量 | 197 |
| 附表八  | 長方形波導裏，波的輔助公式   | 198 |
| 附表九  | 圓柱形波導裏的幾種波式     | 201 |
|      | 漢英譯名索引          | 233 |

# 第一章

## 靜電場實驗

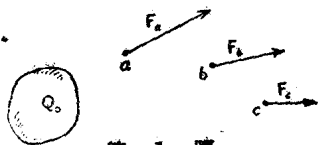
**場** 通常研究電學總是從電路原理開始。我們設想電流在線裏流動是因為有適量的電壓驅使它通過電阻，電感，和電容。這是討論電學的自然起點；因為電路是可以觸覺到的實物，而且大多數的人對它有相當的了解。但是這個主題在歷史上發展的過程卻完全與此相反：我們對於磁場和靜電場的認識早在電路原理發生以前——甚至在 Ohm 定律發現之前——就很明瞭了。而且，我們以後將知道，電路原理論理應該看作更一般性的電磁場原理之特例。

場有許多種，分向量場和無向場兩種。例如，重力場是一個向量場。試以室內重力場來說，假使一單位質量的物體放在室內空間任意一點，即有一力作用於此物體。這是力場特別簡單的一個例，因為在這個場裏，室內各點所受的力事實上是一樣的；大小一樣，方向都是垂直向下。這是一個向量場，因為只有當所有各點的力的大小和方向都知道之後，場量才算完全確定。

力場都是向量場。無向場可用溫度來說明。假使用一只溫度計，將室內每點的溫度測量下來，即可確定一個溫度場。每一點有一溫度，此溫度與方向無關。所以溫度場是一個無向場。

電場和磁場都是向量場。我們將先討論靜電場，因為它在某幾方面說來是最簡單的一種。

**實驗 I. 電場** 由實驗知道任何帶電體的附近有力場存在。假使我們將一個本身帶有小量電荷的試驗質點置在帶電體的附近範圍裏，我們就可以證實這個力場是存在的。假使將它放在第 1 圖的  $a$  點，即有一力  $F_a$  作用於



第 1 圖

此點；在  $b$  點或  $c$  點，各有力  $F_b$  或  $F_c$ 。若改變試驗質點上所帶的電荷，則它所受的力也依比改變。由這個實驗——我們以後稱它為實驗 I——可以得到以下的靜電場的定義。

按定義，每點靜電場強度與單位正電荷的小質點在該點所受力的方向和方向相等。

以符號表示是

$$F = \alpha QE \quad (1)$$

這裏的  $F$  和  $E$  各表示力和電場強度， $Q$  是試驗質點上的電荷。我們應注意：這方程式並不限定只適用於某一點，而是可以適用到所有各點。因此，它是一個場方程式，又因為它同時表明了大小和方向，所以是一個向量場方程式。

$\alpha$  僅表示一比例常數，它的大小由選用的單位來決定。若是電荷和電場強度的單位規定得恰當，則可使  $\alpha = 1$ ，因而

$$F = QE \quad (2)$$

因此，在〔2〕式裏， $Q$  可用靜電庫倫來計值， $E$  用靜電伏特/公分，而  $F$  用達因來計值；或是  $Q$  用庫倫， $E$  用伏特/公尺，而  $F$  用牛頓。

〔2〕式確定了電場的定義。

電場的定義確定之後，我們即可研究它的性質。它是怎樣分佈在空間的呢？要解決這個問題，我們須做更多的實驗。現在我們再來討論試驗質點的另外三個實驗。

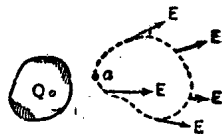
這些實驗並不能在實驗室裏當作真正的實驗去做。因為這是很難做得好的。但是拿它們作為解釋一個學說的基礎卻是非常有用。為了討論場量分佈的問題，我們假定下面的實驗已經做過，它的結果如下所述。

**實驗 II.** 假使我們將一帶有少量電荷的質點在一靜電場範圍裏移動，使質點走一條閉合路線，意即使它回到原來的出發點，我們發現，質點本身既沒有做出功來而我們也無需對它做功。

例如在第 2 圖裏將一質點繞虛線一周。雖然在質點移開帶電體時，從帶電體射出來的電場（如圖中  $E$  的箭頭所示）對質點做了功，但是

當質點循另一條路回到帶電體時，它必須克服力場的阻力將同樣大小的功送出來。

我們知道這個結論是和能量不滅原理一致的。假使質點回到它的起點之後多出一部份能量來，那末它將藉這個能量再繞一周而且繼續的繞



第 2 圖

下去，每繞一次得到一小部份能量，但在這個系統的其他部份卻並未損失這小部份的能量，這樣很容易就得到永久不停的運動，這是和能量不滅原理相違背的。同樣，質點回到起點之後缺少了一部份能量也是不可能的，因為（假定沒有摩擦）這個系統的總能量將因此減小。

實驗 II 的結論與質點所循的路徑完全無關；這路徑可以是圓的，橢圓的，方的，或其他任意閉合路徑。這結論對電場的來源也沒有關係，電場可能是由一個帶電體發出來的，或是由許多帶電體發出來的，或是由分散在空間的一個電荷所產生的。在質點循着它自己的路徑運行一周時，產生電場的電荷絕對不能改變，因為這是一個靜電的實驗。因此質點上的電荷應該很小，使得主電荷的分佈不因它的存在而改變太大。

因為能量等於力和距離的乘積，而總能量是循着閉合路徑每一小段距離上部份能量的總和或積分，所以

$$\oint \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = 0. \quad (3)$$

因為由(2)式知道，力場和電場之間有一個常數的關係，所以

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 0. \quad (4)$$

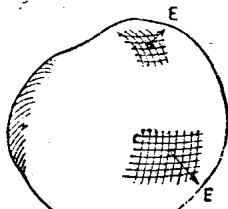
這是一個線積分， $s$ 代表積分路徑上的距離。積分符號上加的小圓圈表示應該循一條閉合路徑去積分。這樣的符號，我們在第二章裏將再解釋。

**實驗 III.** 空間有一個閉合面。這個閉合面可為任意形狀：球體的，橢圓體的，立方體的，或不規則的，但是它應該是完全閉合的，而不是有如開有一個小孔的球體。它是一個純粹的假想面，祇用來隔離這個面的內部和外部的空間。

設我們選擇的假想閉合面並不經過任何固體或液體的物質。（現

在用這個規定可以使討論簡單化，以後這個規定可以取消）。從理論的觀點來說，這假想面最好不經過任何物質，包括空氣在內。但空氣對實驗 III 所得結果的影響小於千分之一，故通常可以忽略不計。

實驗 III 是（用一質點）測量閉合面上每一點的電場強度。最好將表面分成許多小塊，每塊的面積是  $da$ ，如第 3 圖所示。在小塊面積  $da$  上定出電場的垂直分量。垂直分量向外的為正，向內的為負。然後將所有的垂直分量各乘以相應的面積求出它的總和（如(5)式的左邊）。將這實驗對各種不同情況下，所有可能想像得到的閉合面都做過一次之後，我們最後的結論是電場的垂直分量在面積上的總和正比於測量面內所包含的電荷總值。設  $\epsilon_0$  是一個常數， $Q$  是閉合面內的電荷值，則



第 3 圖

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{a} = Q \quad (\text{在真空裏}). \quad (5)$$

這是一個面積分， $a$  表示面積。這裏積分符號上的小圓圈表示應該在一閉合面上積分。

假使第 3 圖中  $E$  的垂直分量在整個面積上的總和是零，則在此面的內部沒有電荷存在，假使有任何正電荷在裏面，也就有等量的負電荷在裏面。但若總和不為零，閉合面內必有電荷存在，所含電荷的總值正比於電場強度在此面上的總和，如(5)式所示。

$\epsilon_0$  的值視測量電場強度，面積，與電荷時所用的單位而決定<sup>①</sup>。

- ① 靜電學裏常用的單位系有用靜電伏特，靜電安培，靜電歐姆等等“靜電”CGS (Centimeter Gram-Second) 系與採用伏特，安培，與歐姆的“實用”MKS (Meter-Kilogram-Second) 系兩種。這兩種系統對本章的全部方程式都可適用。在以後第——頁裏將再繼續討論單位的問題。

這裏我們還須在足以影響單位的“有理化”和“未有理化”兩系方程式之間選定一系。這兩個系統在確定  $\epsilon_0$  時相差一常數  $4\pi$ 。(5)式是“有理化”的，“未有理化”的形式是

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{a} = 4\pi Q. \quad (5a)$$

“有理化”方程式可以用 CGS 單位，也可以用 MKS 單位；同樣，“未有理化”的方程式也可任擇一種單位。“未有理化的 CGS 系統即 Gauss 系統。“有理化”的 MKS 系統即 Giorgi 系統。(5a)式內  $\epsilon_0$  的數值在 Gauss 系統裏是 1。

若是採用“實用”單位， $E$  用伏特/公尺， $a$  用平方公尺， $Q$  用庫倫，則  $\epsilon_0$  的值與  $\frac{10^{-9}}{(9 \times 4\pi)}$  極其相近，即約為  $8.855 \times 10^{-12}$

**實驗 IV.** 現在我們將實驗 III 再做一遍，這次是在油內測量假想面上各點的電場強度。仍如上面的辦法，由帶電荷質點所受的力測定每點的電場強度，在實驗 III 裏帶電荷質點是在空氣內（或是嚴格些說，在真空內），現在所測的質點卻是在油內。我們可以證明此時〔5〕式，即在包有定量電荷的閉合面上的電場積分，不再等於當閉合面在空氣中含有同量電荷時的積分。

由實驗知在煤油裏〔5〕式的積分值約為空氣裏的一半。假使換了其他的物質重複做此實驗，即得其他不同的結果。欲使〔5〕式適用於所有的物質，則方程式內必須包含一因數，這個因數應代表測量時所用的物質的特性。我們用  $\kappa$  來表示這個因數，並且稱它為物質的相對介電係數，有時稱為“比感電容”（specific inductive capacity）。

於是

$$\kappa \epsilon_0 \oint E \cdot da = Q. \quad [6]$$

常數  $\kappa$  之所以稱它為相對的，是因為它表明了在某一定物質裏的靜電力比在真空裏的所少的倍數。 $\kappa$  的值主要視物質的性質而定。但它也隨溫度和其他的物理條件而略為改變。對於石油的大多數衍生油類，它的值在 2 與 2.5 之間。在棉子油或橄欖油中，它的值約為 3。對於常溫的酒精約為 25，純蒸餾水約為 80。當然，在真空裏  $\kappa$  應是 1，在空氣裏它約為 1.0006。

最後，我們再對通過不同物質的閉合面加以測定，以為實驗 IV 的結束。因此，積分面的一部份可以在空氣裏，一部份可以在油裏。當我們從一物質積分到另一物質時， $\kappa$  的值應該跟着改變，所以〔6〕式比較恰當的寫法是

$$\oint \kappa \epsilon_0 E \cdot da = Q, \quad [7]$$

因為在積分過程裏  $\kappa$  是跟着變的。

通常將電場裏與物質特性有關的常數  $\kappa$  和代表因次與單位的常數

$\epsilon_0$  合組成一個單獨的常數  $\epsilon$ 。因此，①由  $\epsilon = \kappa\epsilon_0$ ,

$$\oint \epsilon E \cdot da = Q \quad [8]$$

靜電通〔量〕 在介紹靜電通量時，可假設一向量  $D$  的定義是

$$D = \epsilon E. \quad [9]$$

假使我們採用這個新的符號，則[8]式變為

$$\oint D \cdot da = Q. \quad [10]$$

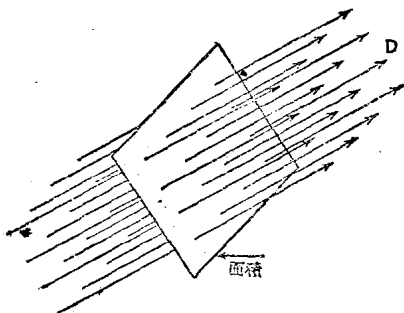
我們對於  $D$  與面積的乘積發生興趣。 $D$  稱為電通〔量〕密度， $D$  與面積的乘積稱為電通〔量〕。

按定義，

$$\text{靜電通〔量〕} = \int D \cdot da. \quad [11]$$

（這式子的符號將在下章內說明，但是它的意義在此處已很明白）。

第4圖表示電通密度的場量垂直於一表面。很簡單的，穿過此面的電通量是  $D$  乘以面積。假使場量並不垂直於表面，則電通量等於面積與場量的垂直分量的乘積。在極端情形時， $D$  與表面平行，既沒有垂直分量，所以也沒有電通量穿過這個表面。



第 4 圖

由這樣一個電通量的定義，[10]式的左邊應代表穿過閉合積分面的電通量。因此，這個方程式是下面這句話的數學的寫法：穿過一閉合面的電通量應等於②此面內部所包含的電荷。

從正電荷出發，我們可以將電通線繪出來（或者，至少我們可以這

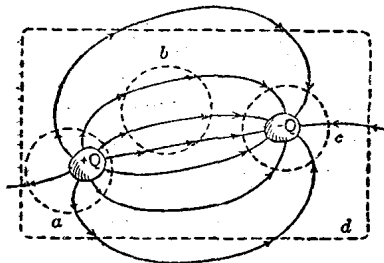
① 以 Gauss 單位表示時，由  $\epsilon_0 = 1$ ，並由未有理化的方程式(5a)，得

$$\oint \kappa E \cdot da = 4\pi Q.$$

② 在 Gauss 單位裏， $\oint D \cdot da = 4\pi Q$ ，從一個單位電荷放出來的電通線數是  $4\pi$ 。

樣設想), 順着電場的方向穿過空間, 終止於負電荷上。假使每一根線代表電通量的一個單位, 則自每一單位正電荷將有一根線放出來, 而在每一單位負電荷上有一根線終止在它的上面。在沒有電荷存在的空間裏, 電通線應該是連續的, 因為它們不可能終止下來。

當電通線從 $+Q$ 電荷流到 $-Q$ 電荷, 如第5圖所示, 全部電通線將穿出完全包圍 $+Q$ 電荷的任何面。這樣一個閉合面以虛線 $a$ 來表示。計算穿過此面的電通線數即可知道此面內部有多少電荷。穿出的線算正的, 穿入的線算負的。因此, 在 $b$ 面裏應沒有電荷, 因為穿過這個面的電通線的代數和是零。在 $c$ 裏的電荷是負的。在 $d$ 裏的電荷的淨數是零; 穿越此面的電通線的代數和是零, 面內正電荷的數目等於負電荷的數目。



第5圖

單位 除電荷 $Q$ 之外, 現在已經介紹過五種電學上的數量了, 最好將它們再複習一遍。

$E$  是電場強度, 是一個向量, 由帶電荷的試驗質點所受的力而決定。在實用單位裏它以每公尺若干伏特計算。

$D$  是電通量密度, 是一個向量, 由電通線的方向與密度而決定。這些電通線是由電荷放出來且沿着電場的方向的。在實用單位裏, 它以每平方公尺若干庫倫計算。

$\epsilon$  是 $D$ 與 $E$ 的比值; 不同的物質有不同的 $\epsilon$ 。我們稱它為絕對介電係數。

$\epsilon_0$  是真空裏的 $D$ 與 $E$ 的比值; 在實用單位裏它是 $8.855 \times 10^{-12}$ 。我們稱它為真空的絕對介電係數。

$\kappa$  是 $\epsilon/\epsilon_0$ 。我們稱它為相對介電係數, 或比感電容, 它代表介電物質的特性。

本章裏所謂“實用單位”是指包括伏特, 安培, 庫倫, 法拉, 亨利, 歐姆, 瓦特, 安培匝數, 與距離用公尺, 質量用仟克, 時間用秒的系統。功的單位是朱爾(或瓦-秒), 力的單位是牛頓(或朱爾/公尺)。一牛



頓等於  $10^5$  達因，它約等於 102.0 克，較  $3\frac{1}{2}$  英兩略大一點，是一個頗為適用的力的單位。這個包括實用電學單位的系統稱為有理化的 MKS 系統，或 Giorgi 系統。

單位和因次的問題是一個令人迷惑費解的問題。因為每一個著者都歡喜加一點新玩意兒來適合他自己的胃口，因而使這個問題更形複雜。然而，現在大多數有關電磁學理論的電工書籍都採用有理化的 MKS，即 Giorgi 系統的實用單位。這種單位有時或者經過著者個人的略加修改。此外，許多國際會議也都推薦 MKS 系統。

MKS 系統的顯特的優點是它採用了我們所熟悉的伏特，安培，歐姆和其他電學單位。它的缺點是真空的介電係數與導磁係數應給以特殊的數值。各種系統都有它的不方便之處，但是我們在 Giorgi 系統裏卻將 10 的冪數， $3 \times 10^{10}$  的因數，與大多數的  $4\pi$  的因數很巧妙地組合到  $\epsilon_0$  與  $\mu_0$  的裏面。我們苟能記住這兩個難記的常數；則許多零碎的困難大部可以避免。

從方程式[2]，[4]，和[8]可以導出以後幾章裏需用的關於靜電場的許多報導。這須用數學的方法來做，而最方便的數學是用向量分析。因此在繼續研究電場之前最好介紹些向量分析裏一般的數學公式。

## 習 題

1. 一個具有 1000 微微( $1000 \times 10^{-12}$ ) 庫倫的正電荷的物體在一個強度為每公分 5000 伏特的電場裏。問物體上所受的電力是多少牛頓？合多少毫克？

2. 空氣裏半徑為 10 公分的球面上各點的電場強度已經測定。我們發現每點的大小是 10,000 伏特/公尺，方向則垂直於球面且指向外方。問球面內部包含多少（微庫倫）電荷？

3. 從習題 2 裏的球面內部出來的電通量是多少？同一電荷在石油裏出來的是多少？球面上的  $E$  在石油裏是多少？