

53.62
SLP

105462

105462

~~27442~~

A

B

静电学的教学

宋良平 著



1962.11.20



新 知 識 出 版 社

借 期 7

靜 電 學 的 教 學

宋 良 平 著

新 知 識 出 版 社

靜電學的教學

宋良平著

新知識出版社

(上海湖南路9号)

上海市書刊出版業營業許可証出字第

上海國光印刷厂印刷 新華書店上海 总經售

开本：787

787 1/4 字数：27,000

1958年1月第3次印刷

17,001—27,000本

統一書号：7076·223

定 价：(6) 0.12元

前 言

一般的物体都是由帶电的具有磁性的微小粒子所組成。因此研究电力和磁力,对現象的物理本質的了解就具有重大意义。

塔姆在“电学原理”一書中說:“近代物理学的任务是确定所有在自然界中遇到的物質的电的構造(物質中的电粒子的数目、排列和运动特性),并从电荷相互作用的基本定律推出物理現象和化学現象的定律。唯一的例外是那些重力和原子核力起主要作用的現象,因为只有这些力不能归結为电荷的相互作用”。①

从这段話我們可以知道电学在現代物理学中是怎样重要了。

人类对电的发现和最初对电現象基本規律的掌握,都是从靜电現象开始的。在整个电学知識領域中,靜电学知識是最基础的电学知識。学生对靜电学(“高中物理学”第三册第一章“电場”)的学习質量如何,在很大程度上要影响他們主动地自覺地对电学其他各个部分教材的掌握(当然,对整个物理学的其他部分,也有各种不同程度的影响)。

要讓学生获得巩固的、在教学大綱規定范围之內的靜电学知識,对每一个中学物理教师来講,都不是一項輕而易举的工作,在这里存在着各式各样的困难。其中較重要的是:

- (1) 在学生們的生活經驗里,很少和靜电学的概念有联系;
- (2) 相对于过去来講,靜电学新的概念太多;
- (3) 研究的对象缺乏直觀性,知識的获得在很多情況下都

① 塔姆:“电学原理”,參看商务印書館 1956 年版上册 1 頁。

要依靠学生的抽象思维。

在“中学物理教学大纲”(修订草案)总说明中说:“在课堂教学中真正使学生了解物理概念、定律和原理,是使学生学好这一门科学知识的关键。”所以作者也就着重于如何使学生了解物理概念、定律和原理的叙述。

但也必须指出,由于静电学主要研究静止电荷所产生的静电场和带电体在静电场中的受力情形及其平衡条件,因而静电场的两种重要性质就是电场强度和电势,这样就使库仑定律成为静电学中的基本定律。其次,电荷在电场力的作用下或外力反抗电场力的作用下的任何移动过程(即电场力作功过程或外力反抗电场力作功过程),都是电能转换为其他形态的能的过程,或其他形态的能转换为电能的过程,而且在转换中能量是守恒的。很明显,如能让学生充分掌握库仑定律跟能的转换和守恒定律,这对静电学教学会起很重要的作用。

教师感到静电学不好教,学生感到静电学不好学,这是普遍存在着的一个问题。作者在这本小册子里,提出了自己对静电学教学的粗浅看法与做法,以供物理教师们参考。

本书初稿承北京师范大学物理系刘锡璠同志审阅,并提出了许多宝贵意见,特此表示衷心的感谢。

宋良平 1957年5月

目 录

一 靜电場	1
1. 庫侖定律	1
2. 电量的單位	4
3. 电量的守恒和电子論	5
4. 靜电場	7
5. 电場强度	8
6. 电力綫	9
7. 在靜电場中移动电荷所需的功	10
8. 电荷在靜电場中的靜电势能	11
9. 电势	15
10. 电势差	18
11. 电場强度与电势的关系	20
12. 等电势面	21
二 靜电場中的导体和电介質	22
1. 靜电場中的导体	22
2. 导体的电势	23
3. 电介質的极化	23
4. 导体的电容	26
5. 电容器	28
6. 靜电場的能	31
三 靜电学重要公式和各量的单位	33
表 1. 靜电学的重要公式	33
表 2. 靜电学各量的單位	34
附录 主要参考資料	34

一 靜 電 場

1. 庫 倫 定 律

当知道了获得正負电荷的方法以及用接触法使物体帶电和电量的概念之后,学生們就具备了学习庫倫定律的条件。

当我们指出: **两个电荷之間的作用力的方向是在两个电荷的連綫上;作用力的大小跟每一个的电量成正比,跟电荷間的距離的平方成反比**,并說明这就叫庫倫定律之后,接着就介紹庫倫定律公式。如果直接写出 $F = K q_1 q_2 / r^2$, 要求学生理會庫倫定律的数学表現形式为什么是那样,那是很困难的。

用下面的方法来引出庫倫定律公式,能收到良好的效果。在使用这种方法时首先要承認, **两个帶电体間的作用力的大小跟每一个的电量成正比,跟电荷間的距離的平方成反比。**

假定我們取 A、B、C、D 四个具有絕緣柄的同样的金屬球,最初 A 球帶电,其余三个球不帶电。先使 A、B 兩球接触一下,然后分开;其次使 B、C 兩球接触一下,然后分开;最后使 C、D 兩球接触一下,然后分开。这样 A、B、C、D 四个球帶电的情况是: A 球所帶的电量是 B 球的 2 倍; B 球所帶的电量是 C 球(或 D 球)的 2 倍; C、D 兩球所帶的电量相等。

現在我們把 B 球所帶的电量作为标准,取作电量的單位,那末 A 球的电量就是 2 个單位, C、D 兩球的电量均为 0.5 个單位。

与此同时,我們把物理課本的長作为距离的标准,把它定为

距離的單位。

設有兩個小球 M 、 N ，它們各自所帶的電量均與 B 球所帶的電量相等（即單位電量），在真空中它們的距離等於物理課本的長（即單位距離）；它們之間有力的作用，這個作用力的大小是一個定值（如果想要測定它是多大，也是辦得到的）。現在我們設這個作用力在數值上等於 K ，也就是說用 K 來表示兩個取作單位電量的帶電體在真空中相距單位距離時的作用力的數值。

於是提出下面幾個問題，要求學生回答：

(1) 用 A 球代替 M 球，距離仍等於物理課本的長，仍在真空中，說出 A 、 N 兩球間的作用力是多少？

(2) 若其他條件不變，用 C 球代替 M 球，說出 C 、 N 兩球間的作用力是多少？

(3) 若其他條件不變，用 A 球代替 M 球，用 C 球代替 N 球，說出 A 、 C 兩球間的作用力是多少？

(4) 使 M 、 N 兩球的距離等於物理課本長的 2 倍，仍在真空中，說出 M 、 N 兩球間的作用力是多少？

(5) 上述條件不變，僅使 M 、 N 兩球的距離等於物理課本長的 $1/2$ ，說出 M 、 N 兩球之間的作用力是多少？

(6) 一個小球的帶電量是 2 個單位，另一個小球的帶電量是 8 個單位，在真空中它們相距 2 個單位距離。說出兩個小球之間的作用力是多少（電量和距離的單位與上列各問中相同）？

經過上面一系列的闡述與練習，便給引出庫侖定律公式打下了鞏固的基礎。按照下面的層次便可順利地引出庫侖定律的公式。

設兩個都帶有取作單位的電量的帶電體，在真空中相距單位距離時，它們的作用力在數值上等於 K ，那末在真空中：

A 电 荷	B 电 荷	距 离	作 用 力 F
1 單位	1 單位	1 單位	K
q_1 單位	1 單位	1 單位	$K q_1$
q_1 單位	q_2 單位	1 單位	$K q_1 q_2$
q_1 單位	q_2 單位	r 單位	$K q_1 q_2 / r^2$

因此
$$F = \frac{K q_1 q_2}{r^2}。$$

用这种方法来引出庫侖定律公式，不仅可以使学生更深刻具体地了解庫侖定律公式的意义，使他們对公式中恆量 K 的了解更为清楚，使他們意識到 K 的数值大小是决定于选用的力、电量和距离的單位。

引出庫侖定律公式的方法，还有下面一种比較普遍，即：

$$F \propto q_1 q_2,$$

又

$$F \propto \frac{1}{r^2},$$

故

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

因此

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}。$$

經驗証明，对中学生来講，这种引出庫侖定律公式的方法，远不及前面所提出的方法效果好。

在这一节中学生还应该了解：

(1) 点电荷的概念；

(2) 庫侖定律只适用于点电荷；如果互相作用的帶电体不能看成是点电荷，那末它們之間的作用力就是帶电体各个部分 电荷間的作用力的合

力——电力服从力的矢量和法则；电荷的独立作用原理的内容和应用；

(3) 电荷间的作用是相互的，这种相互间的力的作用，应看成是作用力与反作用力；力的量值相等，方向相反，分别作用在两个相互作用的电荷上。

2. 电量的单位

在講完庫倫定律之后，我們就可以根据庫倫定律来确定电量的單位。在未指出电量的單位是怎样确定之前，先讓学生考虑以下几个問題，这样可以加深学生对电量單位的規定的認識：

(1) 假如有两个点电荷，在真空中相距 1 厘米，它們之間的作用力是 1 达因，它們的电量是否都是定值？

(2) 有两个等量的点电荷，它們在真空中的作用力是 1 达因，这两个电荷是否都是一个固定不变的量？

(3) 有两个等量的点电荷，在不同的电介質里相距 1 厘米，如果作用力都是 1 达因，那末这两个电荷是否为一定量？

上面三个問題，会引起学生們的爭論，最后会被学生否定。

經過上面的討論之后，学生將确信：在真空中两个等量的电荷相距 1 厘米，作用力是 1 达因时，其中任何一个的电量都是一个固定不变的数值。

既然上面所講的两个点电荷都是定值的話，不可能多些也不可能少些，因此我們就可以把上面所講的这两个帶电体任一个所負的电荷作为电量的單位。这种电量單位称为电量的靜电系單位。

接着我們可以講解在厘米·克·秒制靜电單位系中，庫倫定律公式 $F = K q_1 q_2 / r^2$ 的恆量 K 在数值上等于 1。因此真空中的庫倫定律公式可簡化为 $F = q_1 q_2 / r^2$ 。

讓学生先考虑一下，当电量的單位是庫倫，距离的單位是米，力的單位是千克重时，庫倫定律公式應該怎样写法（应写为

$F = 9.2 \times 10^8 \frac{q_1 q_2}{r^2}$), 这是很有意义的。因为这不仅能进一步加

深学生了解库仑定律公式中恒量 K 的数值决定于选用的力、电量和距离的单位, 同时还可以纠正这样一种错误, 即认为两个等量的点电荷, 在真空中相距 1 米远, 作用力为 1 千克重时, 每一个电荷都是 1 库仑 (有部分学生认为电量的实用单位——库仑是象上面那样规定的)。

当引出公式 $F = 9.2 \times 10^8 \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 之后, 要检查一下学生能否

答出: 当两个微小的带电体的电量都是 1 库仑 (假定这是可能的), 在真空中相距 1 米远时, 它们之间的作用力是 9.2×10^8 千克重。

3. 电量的守恒和电子论

在未讲电子论之前, 先讲一下电量的守恒是很必要的, 因为这是符合人类对电的认识过程的。电量守恒的事实, 将使学生对电子论更为信服。

通过演示和说明, 使学生了解, 在不带电的实物体中, 事实上是存在着等量的正负电荷。

当使带正电荷的物体带负电荷时, 先要使正电荷完全中和。相反的, 当使带负电荷的物体带正电荷时, 也必须先使负电荷完全中和。异种电荷能发生中和现象, 可以帮助学生认识电荷的本质。为了说明这一问题, 可以作下面的演示实验:

先使金箔验电器带正电荷, 然后用毛皮摩擦过的硬橡胶棒断续地与验电器的金属球相接触, 这时可发现验电器的金箔逐渐下垂, 以至完全合拢起来, 然后又逐渐张开。

不难了解, 金箔在合拢之前是带正电荷的; 合拢在一起时,

不帶電；合攏后又張開時，帶了負電荷。

摩擦起電說明了任何實物體內部都存在着電荷。

當一個帶電體與另一個不帶電的物體相接觸時，不帶電的物體就得到了電荷，但電量的總量並不發生變化。

法拉第的研究指出，一種符號的電荷的出現，必有另一種反符號的等量的電荷隨着出現，即在自然界中電量的代數和保持不變。

綜合上述，學生將不難想象：在不帶電的實物體中，也有正負兩種電荷存在，只是因為它們的電量相等，發生中和，因而不顯帶電的性質。

順便指出，使物體帶正電荷或負電荷，就是使物體所帶的正電荷或負電荷超過它中和時的數量。這種超過中和數量的電荷叫做過剩電荷或淨電荷，這個電荷的總量，也就是一般所說的該物體所帶的電量。實質上，帶正電荷的物體是缺少電子，帶負電荷的物體是電子過剩。因為固體的帶電現象只能由於負電荷的移動。

在這個基礎上再過渡到電子論的講述。

在電子論中應揭露下列事實：

- (1) 自然界中只存在兩種電荷；
- (2) 帶電現象的實質；
- (3) 自然界總的電量是保持恆定的；
- (4) 電荷的顆粒性（即原子性）。電子（或質子）的電量是自然界中最小的電量單位（ 4.8×10^{-10} 靜電系單位電量）；
- (5) 任何一種元素的原子核中的質子與核外電子是沒有區別的，這種元素的原子所以區別於另一種元素的原子，是由於原子核中質子數目的不同；
- (6) 在正常狀態下，原子核中的質子數與核外的電子數是相同的；
- (7) 關於離子的概念；

(8) 原子核中的質子數是不能增多或減少的,否則將意味着原子核發生變化(由於解釋金屬中的許多靜電現象,要採用兩種電荷都能移動的概念,而個別學生對這一概念理解的不夠,往往錯誤地認為質子是可以隨便增多或減少的,所以在这里要特別強調一下)。

4. 靜 電 場

靜電場是靜電學中極重要的一個觀念,同時也是我們在教學中感到很困難的課題之一。

“場”對學生來講,是一個新的觀念,因此,在講述電場是客觀存在和電場的物質性時,應強調指出物質有兩種基本形式:由分子、原子組成的形式(即實物的形式)和場的形式。帶電體的周圍空間瀰漫着一種物質,這種物質就叫做電場。

電場與一般空間的區別,在於電荷在電場中要受到力的作用以及電荷在電場中移動時電場力做功。指出這兩點,不僅我們說電場是客觀存在有了根據,同時也給我們以後講“電場強度”和“電勢”作了準備。

電荷間的相互作用是通過電場來傳遞的(電場只對電荷起作用)。這裡學生應該了解:A、B兩個電荷的相互作用,應理解為A電荷處在B電荷的電場中,受B電荷的電場力的作用;B電荷處在A電荷的電場中,受A電荷的電場力的作用。反映這個作用力大小和方向的是庫侖定律。

學生在這一節里還應該了解下面幾個問題:

- (1) 電荷和它的電場不可分,有電荷存在就有這個電荷的電場;
- (2) 要產生一個電場,就是說要分開電荷;要維持一個電場,就是說要阻止電荷的結合;
- (3) 電場對電荷的作用力稱為電場力;
- (4) 相對於觀察者來講,是靜止的電荷所產生的電場叫靜電場。在靜電學中討論的電場,都是指的靜電場;

(5) 电介質对电場有影响。以后討論的,除特別指出外,都指真空的情形。

5. 电場强度

学生剛学习电場强度时,一般來說存在下面两个問題:

- (1) 不清楚电場强度是描繪在电場中給定的点上电場性質的物理量;
- (2) 电場强度是矢量常被遺忘(对力也是如此)。

在講述这一节时,可以这样:

把檢驗电荷 q 放在一个不变的点电荷 Q 所产生的电場中的各点上,考察檢驗电荷 q 在电場中各点受力的情形。根据庫侖定律可以了解,檢驗电荷 q 在电場中各点所受的力是不同的(不要忽略力的方向)。

然后再把檢驗电荷 q 放在电場中的任意一点 A , 假設它所受的电場力为 F 。当改变檢驗电荷为 mq 时,根据庫侖定律可以了解,檢驗电荷的任何变化都要引起它所受的电場力成正比的变化,因之,檢驗电荷在 A 点所受的作用力为 mF 。同时指出,檢驗电荷在电場中 A 点所受的电場力 F 和檢驗电荷 q 的比 F/q , 是一个恆量,这个恆量与檢驗电荷无关。由于 A 点是电場中的任意一点,所以电場中其他各点都具有这种特性。前面已經說过,同一个檢驗电荷 q 在电場中不同的点,所受的力是不同的。显然,在点电荷 Q 所产生的电場中的各点上,这个恆量的数值也是不同的。

最后給出电場强度的定义。 $E = \frac{F}{q}$ 是电場强度的普遍定义式,它适用于一切电場的任一点。 $E = \frac{Q}{r^2}$ 只代表点电荷 Q 在真空中所形成的电場在距离点电荷 Q 距离为 r 处的电場强度的量值。同时指出电場强度是矢量和电場叠加原理的内容。

为了加深学生对电场强度的认识，可向学生提問以下几个問題：

(1) 有一个檢驗电荷 q ，处在一个不变的电荷所产生的电场中某一点 N ，受到的电场力为 F 。 N 点的电场强度是多大？当檢驗电荷为 $\frac{q}{2}$ 或零时， N 点的电场强度怎样？

(2) 有一个点电荷 Q 产生了一个电场，現在以点电荷 Q 为球心，以任意長 r 为半径，完成一个球面，在球面上各点的电场强度是否相同（本題可加深学生对电场强度为矢量的概念）？

(3) 有一个帶电的平板，它所帶的电量为 Q ，計算离这个帶电的平板为 r 远的点 M 的电场强度时，可否利用公式 $E = \frac{Q}{r^2}$ ？

6. 电 力 綫

电力綫是一个重要的概念，它所以重要，是因为它能反映电场中各点的电场强度的大小和方向，使我們对电场各点电场力的性質的了解形象化。

“电力綫只是为了研究电场方便而假想的，利用电力綫的观念可以使电场形象化，但实际上电场中并没有实在的电力綫存在。”旧課本（指 1956 年版）对这一点講得很清楚。

虽然我們可以通过演示的方法，使学生更好地把这个概念建立起来，但在很多情况下，因为教师对演示沒有加以充分說明，于是使学生对电力綫概念产生了錯誤的认识。

在旧課本“电力綫”一节中有：“电力綫的形狀可以从实验看出来。把奎宁晶粒或石棉屑漂浮在凡士林或蓖麻油这类粘滯的电介質上，把这种电介質放入电场中，那末各点的晶粒就都依照电场强度的方向排列起来，形成电力綫。”显然，这一段的結尾一句是不够合适的。因为电力綫不是真实的存在，它的存在是假想

的；晶粒在電場中規則排列的圖形本身不是電力綫，看到晶粒在電場中的規則排列，只能幫助我們更好地想象電力綫的圖形。

在作演示實驗時，教師往往向學生提出：“同學們，你們現在看到的是什麼？”而學生立刻會回答：“我們現在看到的是電力綫。”

有時教師在作上述演示實驗時，往往不自覺地說“制取電力綫”。這種說法，實際上就使他的講解陷於自相矛盾。

關於電力綫的另一個誤解，就是錯誤地認為“所有的電力綫都是正電荷在電場力的作用下運動的軌跡”，或者說“當正電荷在電場中只受到電場力的作用時，它才是沿着電力綫方向移動的”。這兩種說法都是錯誤的^①。

學生學習了這一節以後應該了解：

- (1) 電力綫是假想的；
- (2) 電力綫從正電荷出發，終止於負電荷；
- (3) 在電場中沒有電荷的地方，電力綫永不相交；
- (4) 電力綫的圖形是立體的，而不是平面的；
- (5) 勻強電場中的電力綫，是互相平行、疏密相同的直綫；
- (6) 正電荷在電場中某一點所受到的電場力的方向、那一點的電場強度的方向、通過那一點的電力綫的方向，這三者是一致的。

7. 在靜電場中移動電荷所需的功

這一節是學生學習電荷在靜電場中的勢能的基础。應該特別指出，這一節討論的是假定其他力場不存在，在電場中移動電荷所作的功。同時還應了解，電場只对電荷起作用。如果學生對這兩個問題不明確，將影響他們這一課題的學習質量。

為了使學生能更好地接受這一節所講的內容，復習公式

① 關於電力綫的詳細說明，請參看“物理通報”1954年7月號問題解答。

$W = F \cdot S \cos \alpha$ 是特別必要的。經驗証明, 学生对电荷的移动方向与电力綫垂直时, 外力反抗电场力作的功等于零, 一般理會較差。

在这一节学生應該了解:

(1) 电荷在电场力的作用下移动时, 电场力所作的功是正值, 电荷在外力反抗电场力的作用下移动时, 电场力所作的功是負值;

(2) 在电场中使电荷由一点移到另一点, 电场力所作的功(正功和負功)跟电荷的大小(即带电体的电量)和該两点的位置有关, 跟所通过的路径的形状无关。这一結論不仅适用于匀强电场, 对非匀强电场也同样适用。使正电荷 q 在电场中由 B 点直接移到 A 点(图1), 外力反抗电场力所作的功, 和使正电荷 q 由 B 点經由任意曲綫(图 1 中的虛綫)移到 A 点, 外力反抗电场力所作的功相等;

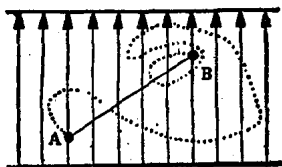


图 1

(3) 在匀强电场中移动电荷, 电场力所作的功 $W = EqS \cos \alpha$ 。功的正負符号的意义;

(4) 电荷在电场中經過任何一个封閉迴路, 电场力所作的功均为零。

8. 电荷在静电場中的静电势能

电荷在电场力的作用下移动, 电场力作功以及能量轉換和守恒定律是这一节課的两个根本思想。

开始講授时, 应首先指出: 我們討論的仅仅是电荷在电场中的静电势能, 除去电场以外, 假定其他力場不存在。

鉴于学生对外力反抗电场力移动电荷作功, 电荷將获得静电势能这一概念理會的深度不够, 因此需要复习与此类似的知識, 使学生了解: 电荷在电场中总要受到力的作用, 当把一个正电荷携进由一个静止的正电荷所产生的电场中任意一点, 外力一定要反抗电場的斥力作功。外力反抗重力作功时, 就有其他形