

# 伍、日本高中物理

蘇賢錫

## 一、教師手冊介紹

### (一)教師手冊概況

- 1.書名：三訂版高等學校最新物理教授資料。
- 2.作者：後藤憲一等5人（均為大學教授）。
- 3.出版年份：平成4年（西元1992年）。
- 4.出版者／出版地點：數研出版株式會社／日本東京。
- 5.出版文字：日本。
- 6.其他：平裝本，黑白印刷，尺寸149mm×211mm，共1冊，387頁。

### (二)教師手冊內容

本教師手冊分為解說篇、實驗篇以及解答篇，並且在書首附有學習指導要領解說與授課時間分配表。其中，解說篇內容如下：

#### 第1篇 力與運動

##### 第1章 物體的運動

###### 第1節 直線運動的速度

###### 第2節 速度的合成及分解

###### 第3節 直線運動的加速度

###### 第4節 由於重力的運動

##### 第2章 運動定律

###### 第1節 力的作用

###### 第2節 運動定律

###### 第3節 有摩擦或空氣阻力時的運動

##### 第3章 動量守恆

###### 第1節 動量與衝量

- 第2節 動量守恆
- 第4章 功與力學能
  - 第1節 功
  - 第2節 動能
  - 第3節 位能
  - 第4節 力學能守恆
- 第5章 各種運動
  - 第1節 等速圓周運動
  - 第2節 慣性力
  - 第3節 簡諧運動
  - 第4節 萬有引力
- 第6章 熱與氣體分子運動
  - 第1節 熱與功
  - 第2節 氣體定律
  - 第3節 氣體分子運動
  - 第4節 氣體的內能與比熱
  - 第5節 能的轉換與守恆
- 第2篇 波 動
  - 第1章 波的性質
    - 第1節 波動要素
    - 第2節 橫波與縱波
    - 第3節 重疊原理與波的干涉
    - 第4節 波的繞射、反射及折射
    - 第5節 反射波的相位
  - 第2章 聲 波
    - 第1節 聲波的傳遞
    - 第2節 發音體的振動與共鳴共振
    - 第3節 都卜勒效應
  - 第3章 光 波
    - 第1節 光的行進

第2節 光的干涉與繞射

第3節 光 譜

第4節 偏振光

### 第3篇 電與磁

#### 第1章 電 場

第1節 靜電力

第2節 靜電感應

第3節 電 場

第4節 電位及電位差

第5節 導體的電位

第6節 電 容

#### 第2章 電 流

第1節 歐姆定律

第2節 電阻的連接

第3節 直流電路

第4節 電流與功

第5節 半導體

#### 第3章 電流與磁場

第1節 磁 場

第2節 電流產生的磁場

第3節 電流由磁場所受的力

第4節 洛倫茲力

#### 第4章 電磁感應與交流電

第1節 電磁感應

第2節 自感應與互感應

第3節 交流電

第4節 共振與電振盪

第5節 電磁波

### 第4篇 原 子

#### 第1章 電子與光

- 第1節 電 子
- 第2節 光的粒子性
- 第3節 電子的波動性
- 第2章 原子與原子核
  - 第1節 原子構造
  - 第2節 原子核的構成
  - 第3節 輻射線與其性質
  - 第4節 核 能

## 二、教師手冊範例

### (一)第1篇 第1章 第4節

#### 第4節 由於重力的運動

〔學習要點〕

(1)自由落體 取鉛直向下為 $y$ 軸，設 $t$ 〔s〕後的速度為 $v$ 〔m/s〕，位置座標為 $y$ 〔m〕，則

$$v=gt, \quad y=\frac{1}{2}gt^2, \quad v^2=2gy$$

(2)鉛直向上拋射 取鉛直向上為 $y$ 軸，則

$$v=v_0-gt, \quad y=v_0t-\frac{1}{2}gt^2, \quad v^2-v_0^2=-2gy$$

(3)曲線運動的速度 作曲線運動的物體，其速度方向為路線上某點的切線方向。

(4)水平拋射 設初速為 $v_0$ 〔m/s〕， $t$ 〔s〕後的位置座標為 $(x, y)$ 〔m〕，速度為 $\vec{v}$ 〔m/s〕， $\vec{v}$ 的 $x, y$ 分量各為 $v_x, v_y$ 〔m/s〕，則

$$v_x=v_0, \quad x=v_0t, \quad v_y=gt,$$

$$y=\frac{1}{2}gt^2, \quad v_y^2=2gy,$$

$$y=\frac{g}{2v_0^2}x^2, \quad v^2-v_0^2=2gy$$

(5)斜向拋射 設水平仰角為 $\theta$ ，初速為 $v_0$ 〔m/s〕，則

$$v_x = v_0 \cos \theta, \quad x = v_0 \cos \theta \cdot t,$$

$$v_y = v_0 \sin \theta - gt, \quad y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2,$$

$$v_y^2 - v_0^2 \sin^2 \theta = -2gy,$$

$$y = \tan \theta \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2, \quad v^2 - v_0^2 = -2gy$$

(6)拋體運動 水平拋射與斜向拋射，其運動合稱為拋體運動。

20〔解說〕重力加速度（註：左端數字表示教科書頁數）

地球上的一切物體都受到地球引力和地球運動所致的表觀力之作用。通常所謂「地球的重力」乃是指這些力的合力，主要是地球的引力與自轉所致的離心力。離心力在赤道上最大，但即使是最大值，也只有引力的 $1/290$ 左右。公轉所致的離心力甚小，地球自轉所致的表觀力〔科里奧利力（Coriolis' force）〕僅僅在航行中的船上測定時始成為問題。

此外，今天的物理學中，重力只指萬有引力，亦即只指物體的重量所產生的力。這是爲了和他種引力，例如電性引力（正負電荷間的引力）及作用在核子間的核力等，加以區別的緣故。

重力加速度 $g$ 的測定，可以利用可逆擺，卻是不容易得到高精確度。正確求出某一地點的 $g$ 值，再以比較法求出其他地點的 $g$ 值，這種方法非常簡單，所以經常利用此法。這種比較測定的基準，要用波茨坦（Potsdam）的數值 $g = 9.81274 \pm 0.00003 \text{m/s}^2$ 。比較值的測定，可令同一單擺在兩個地點擺動來比較其週期，但依靠彈簧的伸縮來比較重力的重力計，今天十分發達，因此重力計被廣泛採用。

這種彈簧式重力計，本來是爲了發現油田而開發的儀器，在近距離的範圍內比較時，其精確度可達 $0.0000001 \text{m/s}^2$ 以上。然而，要花漫長的時間來測定日本各地的重力時，彈簧性質會發生變化，精確度因而降低，最後必須再度在出發點進行測定，將其測定值與原始測定值之差分配給各地測定值來修正。

在同一地點，高度上升， $g$ 值就變小，每升高 $1 \text{m}$ ，大約減少 $0.000003 \text{m/s}^2$

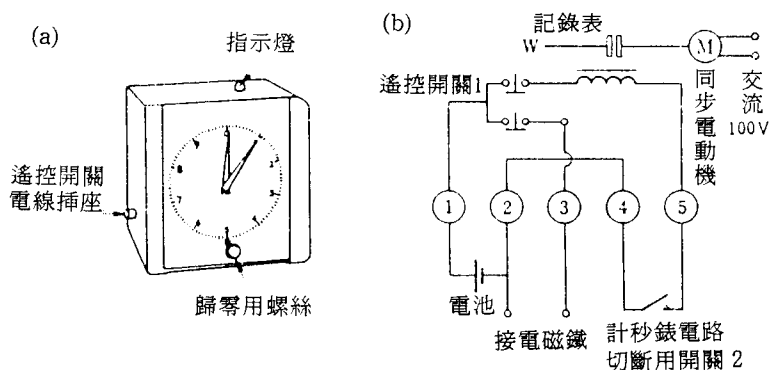
。這數值可以測出，在高度差數m處，就 $10^{-6}$ 以上的精確度而言，g的這種變化確實成爲問題。

西元1901年，國際度量衡委員會採用北緯 $45^\circ$  平均海面的重力加速度 $9.80665\text{m/s}^2$ 爲標準重力加速度。在1968年的委員會承認實際上該值偏小 $0.00014\text{m/s}^2$ ，建議需要精確數值時宜用修正值。

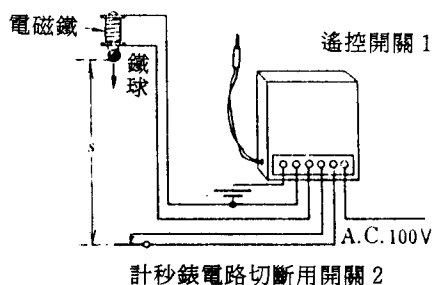
此外，爲了紀念伽利略，規定伽（Gal）爲加速度單位， $1\text{Gal}=10^{-2}\text{m/s}^2=1\text{cm/s}^2$  而重力加速度的單位則泛用毫伽（mGal， $1\text{ mGal}=10^{-5}\text{m/s}^2$ ）以實驗求g值，其方法眾多，但就示範實驗而言，下列方法可能較佳。

### 20~21〔示範實驗〕利用自由落體測定重力加速度

- (1)利用頻閃攝影法 由於重球較好（半徑相同時，密度大者所受空氣影響較小），採用塗成白色的鐵球，令其由電磁鐵落下。至於電磁鐵的製作，在直徑 $5\sim 8\text{mm}$ ，長 $7\text{cm}$ 左右的軟鐵棒（建築用螺栓較爲方便）上，將直徑大約 $0.3\text{mm}$ 的漆包線繞上300圈左右即可。要頻閃攝影時，頻閃觀測器的發光次數應爲每秒 $20\sim 30$ 次，而直尺不容易同時攝影，只好分別攝影後重疊沖洗。但是最近的頻閃裝置，有的可以指定發光次數，這時就可以將直尺一起攝影。
- (2)利用電動計秒錶 這是利用電動計秒錶來測定物體落下某距離所需時間，再予分析的方法，其裝置如圖(A)所示。按下開關1，電磁鐵的電流就被切斷，鐵球開始落下，同時（見圖B）計秒錶開始起動。鐵球碰到開關2來切斷電路，計秒錶就停止。鐵球碰到後，接觸點脫離，開關2又可以恢復原狀。

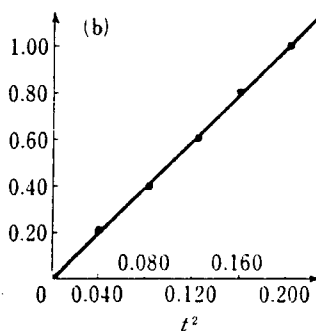
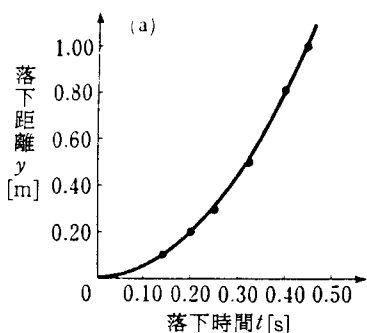


圖(A)



圖(B)

[測定例]



落下距離 $y$ [m]	落下時間 $t$ [s]	$t^2$
0.10	0.14	0.020
0.20	0.20	0.040
0.30	0.25	0.063
0.40	0.29	0.084
0.50	0.32	0.102
0.60	0.35	0.123
0.70	0.38	0.144
0.80	0.40	0.160
0.90	0.43	0.185
1.00	0.45	0.203
1.10	0.47	0.221

圖(C)

電動計秒錶的外觀如圖(A)(a)所示，長針轉 1 圈是 1 秒，而 1 個刻度是  $\frac{1}{100}$  秒。令同步電動機空轉，鐵球開始落下時，使電動機的轉動傳到計秒錶，

落下終止時，使計秒錶的轉動即告停止〔其機構如圖(A)(b)〕。

- ①接上交流電源，同步電動機就空轉。
- ②連接電池和電磁鐵，令電磁鐵電路切斷用開關在 ON 位置，使電磁鐵吸住鐵球。
- ③按下遙控開關，電磁鐵電路就斷掉，鐵球落下，同時計秒錶針開始轉動，鐵球碰到電磁鐵電路切斷用開關，計秒錶就停止。

表(一)為實驗數據例，而圖(C)(a)表示該數據的落下距離  $y$  [m] 與落下

時間  $t$  [s] 的線圖。由數據知，這方法顯示  $y$  與  $t^2$  成正比，但比例常數的詳值無法求出。電動計秒錶能測定到  $\frac{1}{100}$  (s)，然而，欲求  $g$  值時，希望多加 1 位數。

因此，本實驗的測定結果大致上指出兩個物理量之間的關係似乎是  $y \propto t^2$ ，這時應令學生思考，爲了確定結果確實如此，則必須設計何等線圖？令學生分析數據，求得規律性。圖(C)(b)爲以  $t^2$  爲橫軸的線圖，大致上與  $y = 4.9t^2$  一致。

## 20 [參考] 亞里斯多德的運動論與落體現象

(1) 亞里斯多德（西元前 384~322，希臘人）是希臘 Macedonia 人，係柏拉圖的學生，也是對當時各部門的問題開始做有系統研究的人。在自然科學方面，他特別強調觀測的重要性，他本人對生物的觀察特別擅長，一般認爲他奠定了生物學的基礎。關於天文、氣象、氣體運動等，他也首次提出完整的看法。

至於運動方面的考察，他依據大約 100 年前的 Empedoclēs（西元前 490~435，希臘人）以來的四元素說，認爲地球上一切物體均由土、水、空氣、火這四元素所組成。土本來就是重的，火本來就是輕的，水與空氣則介在其間，而物體的輕重乃視構成該物體的元素之比率而定。並且物體本來的位置是愈重者愈在下方，愈輕者愈在上方，而物體本來的運動就是傾向於回到本來的位置。換言之，物體若重，則其本來的運動是向下，若輕則其本來的運動是向上，例如如果沒有風，煙就鉛直向上升高，而石子離手就鉛直向下掉落。這種上下運動才是本來的運動，而這時物體愈重，其欲回到本來位置的性質愈強，亦即「物體愈重，落下愈快」。

此外，除了本來的運動而外，也會發生其他運動，只要施力，即可使物體往任何方向移動。這種運動是反抗物體本性的強迫運動，亞里斯多德認爲只有強迫力作用時始能發生。因此，就這種運動而言，「必須繼續不斷施力始能移動物體」。例如，他認爲投擲石子時，放手後改由空氣繼續推動石子。

(2) 落體實驗 亞里斯多德的運動論被教會採用，長時期發揮其權威，但有時也有人提出疑問，其中最有效的發問是關於落體運動的問題。



對亞里斯多德運動論的疑問，早在古代第6世紀的Piroponos已經提出了。依照亞里斯多德，投擲石子時，放手後改由空氣繼續推動石子，但Piroponos懷疑，大風也不容易吹動石子，何況投擲石子時被推動的空氣為何能使石子繼續運動？至於落體定律，他指出重量相差10倍的兩個物體落下時幾乎同時著地，其速度絕對沒有相差10倍。因此，他認為亞里斯多德的落體定律不正確，但另一方面他又認為在空氣中可能是這種落法，若在真空中或許落體的速度會和重量成正比。

此外，16世紀時Cardano（1501~76，義大利人）承認一項實驗事實，指出密度相同的物體，縱使大小重量不同，在介質中以相同速度落下，並且他想藉此以補充亞里斯多德的運動論。

落體實驗的確實紀錄是荷蘭的Stevin（1548~1620）遺留下來的。西元1589年他和朋友由9m高的塔上同時放下重量相差10倍的兩個鉛球，結果幾乎同時著地，聽到的聲音猶如一個物體著地一般。其次他也讓羽毛落下，可惜未能得到正確的落體定律。

如此，亞里斯多德的想法顯然必須修改，而依據詳細落體實驗來找出正確落體定律，以奠定正確力學基礎的是伽利略。

(3)伽利略的落體實驗 西元1564年，在義大利的比薩，伽利略出生在落魄的貴族家中。這正是米開蘭基羅去世，莎士比亞誕生的那一年。由於當地習慣是長男要與乃父同名，於是被命名為伽利略（Galilei是Galileo的複數形）。父親想把兒子培養成爲收入較多的醫生，把18歲的兒子送去比薩大學學醫。據說當時他看到寺院吊燈搖晃而發現擺的等時性，但他卻是反過來利用，製造「脈搏計」。

伽利略在人們面前由比薩斜塔放下重量不同的兩個物體，來指出亞里斯多德運動論的錯誤，這是十分膾炙人口的故事，但其事實未被確認。這故事的來源是，伽利略的學生Viviani（1622~1703，義大利人）宣稱伽利略親口敘述而記載於Viviani的著作「伽利略傳」，卻是沒有資料可以証實這件事實。即使伽利略果真做這實驗，他也不可能到達正確的落體定律，因爲這種程度的實驗，Piropono，Cardano以及Stevin等人已經做過了。

雖然如此，伽利略確實強烈批評亞里斯多德的想法，因此他遭受反彈

，1592年移到Padua大學。利用斜面的落體實驗是移到Padua大學後才開始進行的，可能想見的兩個結果是，落下速度 $v$ 與落下時間 $t$ 成正比（ $v \propto t$ ），抑或落下速度 $v$ 與落下距離 $s$ 成正比（ $v \propto s$ ），而1604年他寫信告知朋友，說由 $v \propto s$ 可以導出 $s \propto t^2$ 。然而，後來他又指出這證明是錯誤的，並且由 $v \propto t$ 導出 $s \propto t^2$ 。既然求出 $s \propto t^2$ 的形式，即可實施落體實驗來証實。

由於自由落體速度太快，無法測定，爲了「沖淡重力」，利用斜面來做慢速實驗。因爲當時尚無鐘錶，爲了測定時間，利用由水槽底端小孔流出的水量。長約11m的木板，挖出寬約2.5cm的直線長溝，並以羊皮紙蓋住，以減少摩擦，將木板的一端抬高，使成斜面。然後令完全磨光的黃銅球沿長溝滾下去。他不斷改變傾斜角度，總共做了100次實驗，確立 $s \propto t^2$ ，（ $v \propto t$ ，即加速度一定）的正確落體定律。這實驗在「新科學對話」（1638年出版）中有詳細記載。

## 22〔解說〕曲線運動的速度與運動的分解

利用圖19的項目D之說明，其目的在於使學生理解物體在某瞬間的速度，在運動路線的切線方向。這件事在拋體運動，等速圓周運動等常常出現，應讓學生確實掌握。

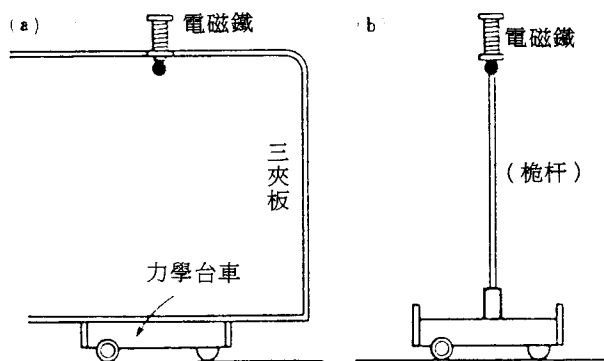
此外，物體在平面上的運動，將其分解成爲該平面上互相正交二方向的正投影運動，或由二方向正投影的運動來合成物體的運動，這是拋體運動與簡諧運動的基礎學習。

## 23〔解說〕水平拋射

關於水平拋射體的運動，分析其頻閃照片或依據同時落下球體，明白指出水平方向是等速直線運動，鉛直方向是自由落體運動，即可讓學生進一步理解。下面介紹的實驗例，可能由觀測與相對運動的立場來使學生更加理解。

本實驗裝置如下圖(a)所示，力學台車裝上厚三夾板，在中央上方附上電磁鐵。又圖(b)是在力學台車鉛直立上頂端有電磁鐵的長棒（模擬桅杆）。

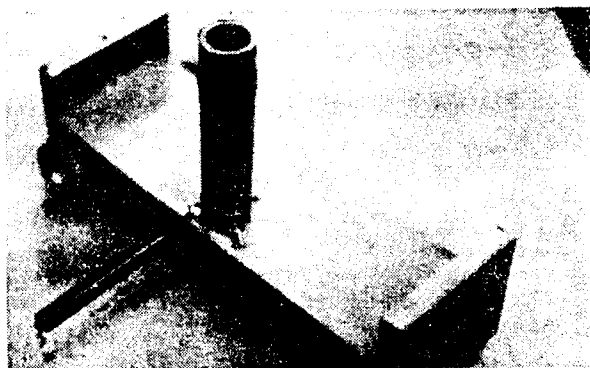
「航行中的船隻，由桅杆頂上掉下來的球，船上的人和岸上的人所看到的球的運動分別如何？」先讓學生想一想這伽利略相對論的命題。



命題的正確答案如下。由電車的天花板自由掉下來的球，無論是電車靜止抑或做等速直線運動，均落在起初位置的正下方。電車上的人，這兩種情形之下都看成自由落體。然而，靜止在車外地上的人看來，似乎是水平拋射體的運動。這是因為球離開天花板時，球與電車一起做等速直線運動，所以球有水平方向的初速。於是，水平拋射的球，其運動可以推論為水平方向的等速直線運動與鉛直方向的自由落體運動之合成運動。

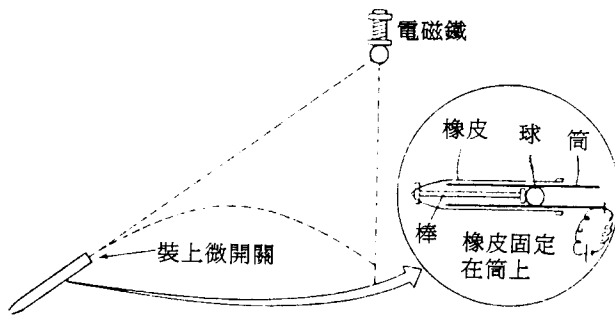
## 24 [ 解說 ] 斜向拋射

沿斜向上方拋出的球，其運動的指導，應記住該運動能分解為二方向，即分解為水平方向與鉛直方向的運動，則因水平方向沒有受到力的作用而做等速直線運動，而鉛直方向係做向下加速度 $g$ 的等加速度運動。以速度 $\vec{v}_1$  [ m/s ] 做等速直線運動的電車上，以初速 $\vec{v}_2$  [ m/s ] 鉛直拋上的球，車上的人看來與電車靜止時一樣，球做鉛直拋上運動而回來原來的位置。對靜止在地上的人而言，球對地面有水平方向的初速 $\vec{v}_1$ ，所以其初速 $v_0$ 為 $\vec{v}_1$ 與 $\vec{v}_2$ 的合成速度，亦即以初速 $v_0$ 沿斜向上方拋出。因此，沿水平方向上方 $\theta$ 角以初速 $v_0$  [ m/s ] 拋出的球，水平方向做速度 $v_0 \cos \theta$ 的等速度運動，而鉛直方向做初速 $v_0 \sin \theta$ 的鉛直拋上運動。這件事最好是透過實驗來讓學生觀察。換言之，由直立在台車上的筒發射出來的球，台車靜止時和台車做等速直線運動時，都是落在筒中，右方照



片的裝置可以做實驗來証實這一點。筒中有活塞，用橡皮把活塞拉下來，附在橡皮的線掛在突出於台車旁的棒端，在桌上置放刀片，使台車運動時由刀片割斷線即可。

斜向拋射的指導有各種方法，但最受學生歡迎的是上述實驗和獵猴。獵猴時，自由落下的球充分落下再碰到，比較容易讓學生大吃一驚，所以製作大規模裝置才好。筒是自來水用的塑膠管較方便，切成長度大約30cm，在其前端裝上自己以磷青銅線製作的彈簧開關。球要利用玻璃球，要以橡皮彈弓方式來發射才好。在下圖裝置中，則以橡皮來拉大約30cm長的棒。電磁鐵要固定在天花板上，其電線可以沿著黑板邊緣拉到講桌上。還有，筒要用兩架鐵架來支持。如果拉下黑幕，同時利用偏光照相機來做頻閃攝影，則效果更好。

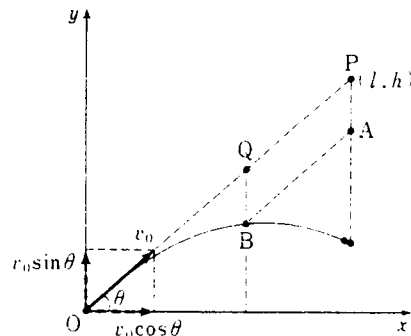


### 26 [參考] 獵猴 (練習 7)

獵猴的道理，可用下列方法來說明。

- ① 令小球A由點P ( $l, h$ ) 自由落下，同時由原點O將小球B以初速 $v_0$ 朝向P發射。設時間 $t$ 後的二球位置分別為A與B，則其座標為

$$A \begin{cases} x_A = l \\ y_A = h - \frac{1}{2} gt^2 \end{cases}$$



$$B \begin{cases} x_B = v_0 \cos \theta \cdot t \\ y_B = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

$x_A = x_B$ ,  $y_A = y_B$  成立時，二球就碰撞。

$$\text{令 } x_A = x_B, \text{ 得 } t = \frac{l}{v_0 \cos \theta} \text{ 由此得 } y_B = l \tan \theta - \frac{1}{2}gt^2$$

因  $h = l \tan \theta$  故此時  $y_A = y_B$

②設重力可以忽略不計，則A停留在P，而B在 $\overline{OQ} = v_0 t$ 的點Q。但實際上因重力而A和B均落下 $\frac{1}{2}gt^2$ 。

因此， $\overline{AB} \parallel \overline{PO}$ ，由A看來，B永遠朝向A而來，故B一定會碰到A。這件事可用向量來想。

時刻t時，A的速度為 $\vec{v}_A = \vec{gt}$ ，B的速度為 $\vec{v}_B = \vec{v}_0 + \vec{gt}$ ，故B對A的相對速度 $\vec{v}_{AB}$ 為 $\vec{v}_{AB} = \vec{v}_B - \vec{v}_A = \vec{v}_0$ ，即 $\vec{v}_{AB}$ 永遠等於 $\vec{v}_0$ ，而 $\vec{v}_0$ 朝向A，所以一定會碰到。

## 22~26 [參考] 伽利略的相對論

相對運動的想法，其歷史簡單敘述如下：

希臘時代也有一些人提倡一種地動說。可是地球的運動不容易被人們接受，這是因為人們都想，如果地球一動，則雲或鳥將被遺留在後方，地上將吹起大風，東西將被吹到後方（這也是托勒密對地動說的反對論調）。

到了第16世紀哥白尼提倡完整地動說後，一般仍然不肯相信，其理由之一也是上述反對論調未能予以否定的緣故。西元1609年伽利略製造天體望遠鏡來觀測天體，發現了木星的衛星，得知地球以外也有迴轉中心，從此深信地動說。然後，他開始積極擁護地動說，在1632年的著書「天文學對話」中極力主張地動說，對上述力學問題也予以解決，並且舉出多例來說明。

果真地球在動，則由塔上掉下的小石應該落在正下方以外的地方，然而事實上卻是落在正下方，可見地球顯然是靜止的，這便是亞里斯多德及托勒密式的想法。反之，伽利略提議調查看看，由等速度行進的船隻桅杆掉下的小石究竟落在何處？他認為起初小石和船同樣具有水平速度，因而小石和船在水平方向始終保持相同速度，小石落在船上時，船也同樣在水平方向移動，所以小石

落在桅杆基底處，換言之，船靜止時和等速度行進時，船上的人都觀測到相同的現象。同理，縱使地球在動，由塔上掉下的小石也是落在正下方。這就是為何地球在動時我們也觀測到靜止時的同樣現象之緣故。伽利略進一步說，這是因為地球上的一切物體一開始就和地球一起運動，而天動說的信徒，其想法相當於有一天地球突然開始運動。

註 1：Gassendi（1592~1655，法國人）據說真正做實驗，由船的桅杆上讓物體掉下來確實證明了。

註 2：若考慮到地球的自轉和靜止物體做圓周運動這些事實，則由高塔上掉下的小石，因其初速較地上速度為大，故落在稍微偏東處（緯度 $45^\circ$ ，高度100m時，偏東1.5cm）。

另一例是，向西方開砲時的砲彈，想來其射程好像較向東方開砲時為遠，但伽利略說，要想這問題時，只要就由行駛中的馬車上同時向前後方射箭時的情形，來調查箭的著地點和當時的馬車位置即可。起初箭與馬車都有共同的水平速度，而且始終保持這水平速度，只要考慮到這一點，他就能夠說明箭著地時，馬車正在兩個著地點的中央處。這時，馬車上的人看到向前射箭向後射箭都是到達相同距離，所觀察的現象和馬車靜止時完全一樣。同理，向東向西開砲的砲彈，即使地球在動，也是到達相同距離。同時他又說，神射手在射飛鳥時總是跟著飛鳥的運動來瞄準目標，邊追邊射箭。這些例子都是表示，對慣性系做等速運動的座標系中，物理現象的觀測都是一樣的，這就叫做伽利略的相對論。

## (二)第3篇 第1章 第6節

### 第6節 電容

#### 〔學習要點〕

(1)電容器 利用一組導體（電極）來儲存電荷的裝置。儲存電荷的過程叫做充電。

(2)電容 設儲存的電量為 $Q$ 〔C〕，極板間的電位差為 $V$ 〔V〕，極板的間隔為 $d$ 〔m〕，面積為 $S$ 〔 $m^2$ 〕，則

$$Q=CV, \quad C=\frac{1}{4\pi k} \frac{S}{d} \quad (C: \text{電容})$$

(3)介電質的作用 電容器的極板間放入介電質，電容就變大。設極板間為真空及放入介電質時的電容分別為 $C_0$ 與 $C$ ，則

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (\epsilon_r: \text{相對介電常數})$$

(4)電容器的連接

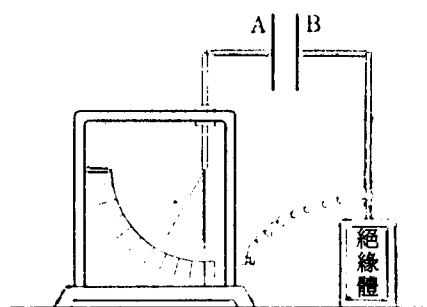
(a) 並聯  $C=C_1+C_2$  一般而言，若干個電容器並聯時的等值電容，等於各電容之和。

(b) 串聯  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$  一般而言，若干個電容器串聯時的等值電容，其倒數等於各電容倒數之和。

(5)儲存於電容器的能  $W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

## 172 [示範實驗] 電容器的原理

利用金屬殼的金箔驗電器，裝置如右圖（B與金屬殼不連接也可以進行實驗，但因涉及其他物體的影響而說明較為麻煩，所以連接起來較好）。利用光源裝置來投影金箔部分，又使B接近，一看便知金箔的張開變小。若在AB間插入壓克力板，則金箔的張開變得更小。由此實驗可以說明電容器的原理如下。

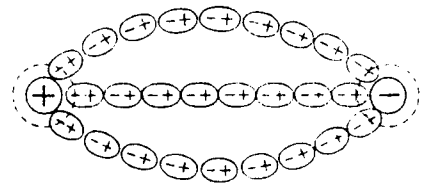


金箔驗電器的金箔張開程度，電荷愈多電場愈強張開愈大，故電位愈高張開愈大。B接近時金箔的張開變小，這是因為金箔的電荷減少電位下降，而A和金箔的總電荷不變卻是電位下降，顯然表示電容增加了。

173 [ 解說 ] 介電常數與相對介電常數

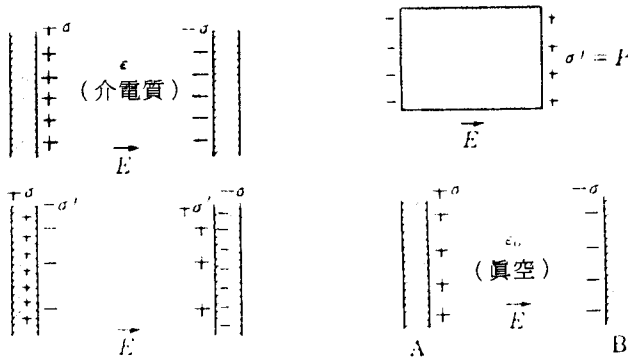
(1)相對介電常數 法拉第明白作用在二電荷間的力由其周圍絕緣介質所支配，認為這是因為不同介質的傳電方法不同的緣故，而將這種介質命名為介電質。若作用力等於真空中時的 $1/\epsilon_r$ ，則 $\epsilon_r$ 稱為該介質的相對介電常數。

法拉第使兩個同心球殼導體（原理與來頓瓶相同）間能插入介質，而實際插入各種介質來比較兩球間所產生的力之差異。其結果在1837年由他發表了。



如右圖虛線內所示，這現象的發生乃因靜電感應的結果，電荷周圍出現異性電荷而一部分電荷被抵消所致。

(2)靜電感應與介電常數 相對介電常數表示靜電感應發生的程度，而其數量關係如下。



首先，將介電質插入均勻電場 $E$ 中時，在電場方向與其垂直的單位體積內所移動的電荷叫做介電質極化，以 $P$ 表之。這時與電場垂直的一端出現表面密度 $\sigma' = P$ 的電荷。 $P$ 與 $E$ 成正比，而下列關係成立：

$$P = \chi' E \quad (\chi' = \chi \epsilon_0) \quad \dots\dots ①$$

$\chi'$  為視介質而定的常數，可用常數 $\epsilon_0$ 來寫成 $\chi' = \chi \epsilon_0$ ，而 $\chi'$ 叫做極化率。

其次，在平行二電極間加以一定電場 $E$ ，並設出現在表面的電荷表面密度為 $\sigma$ ，則 $\sigma$ 與 $E$ 成正比，即



$$\sigma = \epsilon_0 E \quad \dots\dots ②$$

式中， $\epsilon_0$  叫做真空介電常數（由高斯定律得  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k_0}$ ）

在二電極AB之間放入介質且加電場E時，設出現於電極表面的電荷密度為 $\sigma$ ，則

$$\sigma = \epsilon E \quad \dots\dots ③$$

式中， $\epsilon$  叫做該介質的介電常數（由高斯定律得  $\epsilon = \frac{1}{4\pi k}$ ）

這時，產生在電極間的電場起因於電極的電荷與靜電感應所產生的表面電荷（表面密度 $\sigma'$ ），故令②式中的 $\sigma = \sigma - \sigma'$ ，即得下列關係：

$$\sigma - \sigma' = \epsilon_0 E \quad \therefore \sigma = \epsilon_0 E + \sigma' \quad \dots\dots ④$$

由①式得 $\sigma' = P = \chi' E = \chi \epsilon_0 E$  將此式與③式代入④式，得

$$\begin{aligned} \epsilon E &= \epsilon_0 E + \chi \epsilon_0 E = (1 + \chi) \epsilon_0 E \\ \therefore \epsilon &= (1 + \chi) \epsilon_0 \quad \dots\dots ⑤ \end{aligned}$$

而且由③式知，予以相同電荷時的電場與 $\frac{1}{\epsilon}$  成正比。

由②式知，真空時為 $\epsilon = \epsilon_0$ ，但一般而言，設

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad \dots\dots ⑥$$

則予以相同電荷時的電場與真空時的比率為

$$\frac{1/\epsilon}{1/\epsilon_0} = \frac{\epsilon_0}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon_r}$$

因此， $\epsilon_r$  為相對介電常數。由⑤⑥二式知，下列關係成立：

$$\epsilon_r = 1 + \chi \quad \dots\dots ⑦$$

(3)相對介電常數值 下表為一些物質的相對介電常數。由該表知，就空氣而言

，其值極其接近1（亦即真空時的數值），就普通絕緣體而言，其值為1~10，水雖然絕緣性不佳卻是其值相當大，而鈦酸鋇瓷器的相對介電常數也頗大。

$\epsilon_r$  值極大如鈦酸鋇瓷器者稱為強介電質。強介電質在磁性上與強磁性體相似，發生滯後現象，換言之，對強介電質加上電場就發生強烈介電質極化，即使除去電場，極化也不會恢復。此外， $\vec{E}$ 與 $\vec{P}$ 不一定平行。

物 質	相對介電常數 $\epsilon_r$
空 氣	1.00059
聚 苯 乙 烯	2~2.5
硬 質 橡 膠	2.7~2.9
硫 黃	3.6~4.3
雲 母	5~8
玻 璃	5~16
水	81
鈦酸鋇瓷器	1500

現在，就導體與非導體的情形來把靜電感應現象加以綜合性指導，這也是一種辦法。

	導 體	非 導 體
原 因	靠自由電子的移動	靠分子內電子的位移
內部電場	0	減弱（不會變成0）

### 173〔解說〕關於庫侖定律的比例常數與介電常數的指導

帶電量 $q_1$ 及 $q_2$ 的二小球相隔 $r$ 時所作用的電力 $F$ ，與電量乘積成正比，與

距離平方成反比，即

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \dots\dots ①$$

q用庫侖，r用公尺時，真空中的k值 $k_0$ 為

$$k_0 = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

$k_0$ 的正確值為

$$k_0 = \frac{C^2}{10^7} \quad \dots\dots ②$$

式中，C為光速（ $2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ ）庫侖定律①式中的比例常數k與介電常數 $\epsilon$ 的關係為

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad \text{真空中為} \quad k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \dots\dots ③$$

而①式變成  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2}$  真空中為  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$  .....④

如此，在③式中可將介電常數 $\epsilon$ （ $\epsilon_0$ 為真空的介電常數）引進當做常數。在處理高斯定律與電容器的電容時，使用 $\epsilon$ 較使用k為方便。

在③式引進的 $\epsilon$ 等於介電常數，這件事實可以證明如下。首先，由④式可以導出高斯定律。依照高斯定律，表面電荷密度 $\sigma$ 的導體其附近的電場E與 $\sigma$ 的關係可以導出如下：

$$\sigma = \epsilon E \quad \text{真空中為} \quad \sigma = \epsilon_0 E \quad \dots\dots ⑤$$

因此， $\epsilon$ 與 $\epsilon_0$ 分別等於介電常數與真空的介電常數，且知與比例常數k及 $k_0$ 之間能成立③式的關係。由於 $\epsilon$ 與 $\epsilon_0$ 的單位為F/m，k與 $k_0$ 的單位可用m/F表示。

又可根據⑤式求出平行板電容器的電容，設極板間為真空時與裝入介電質時的電容值分別為 $C_0$ 與C，則 $C_0 = \epsilon_0 S/d$ ， $C = \epsilon S/d$ （S為極板面積，d為極

板間隔)，而可以導出。

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r \quad \dots\dots ⑥$$

由此可知， $\epsilon_r$ 相同於法拉第所引進的相對介電常數。採用庫侖定律④式，在處理高斯定律與電容器的電容時極其方便。僅僅討論庫侖力時，①式的形式較為方便，但最好是兩種形式都要理解。

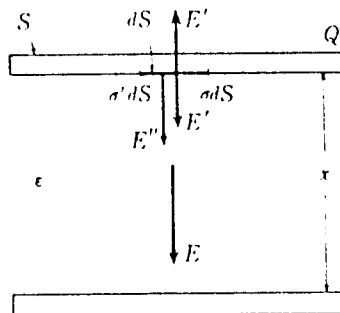
175〔解說〕關係圖28的電力線

圖28表示，電容器並聯時可得共同的電位差而電荷分配成爲電容比，以及串聯時所儲存的電量相等而總電位差等於各電容器電位差之和。該圖顯示各電容器的極板間產生均勻的電場。由於各電容器內的總電力線與所儲存的電量成正比，並聯時各電容器內的總電力線與電量成正比，串聯時儲存在各電容器的電荷相等，故各電容器內的電力線數相等。

177〔解說〕電容器極板的吸引力與電容器的能量

(1)電容器極板的吸引力 設極板面積 $S$ ，間隔 $x$ 的平行板電容器裝有相對介電常數 $\epsilon$ 的介電質，具有電荷 $Q$ ，極板表面電荷密度爲 $\sigma$ ，感應在介電質端的電荷表面密度爲 $\sigma'$ ，而電場爲 $E$ 。暫且考慮極板內面的微小面積 $dS$ 部分。 $dS$ 部分有電荷 $\sigma dS$ 與緊接著的感應電荷 $\sigma' dS$ 。設由此二電荷產生在 $dS$ 前面的電場爲 $E'$ ，則由該電荷產生在導體內的電場爲 $-E'$ 。這些電荷以外的所有電荷產生在 $dS$ 部分的電場若爲 $E''$ ，則導體前面的電場爲 $E' + E'' = E$ 導體內部的電場爲 $-E' + E'' = 0$

由以上二式得  $E'' = \frac{1}{2} E \quad \dots\dots ①$



其他所有的電荷作用於dS部分電荷的力為

$$f = \sigma dS \cdot E'' = \frac{1}{2} \sigma EdS \quad \dots\dots ②$$

這力的總和就是作用在極板的力F。

$$F = \frac{1}{2} \sigma ES \quad \dots\dots ③$$

由159頁關於介電常數的解說中③式得

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} \quad \dots\dots ④$$

$$\therefore F = \frac{\sigma^2}{2\epsilon} S = \frac{Q^2}{2\epsilon S} \quad \dots\dots ⑤$$

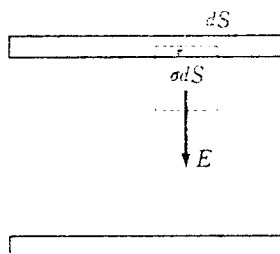
註：④式的關係亦可由高斯定律直接求出。就下圖虛線所包圍的曲面來適用高斯定律，則因內部電荷為 $\sigma dS$ ，電力線數為 $EdS$ ，故

$$EdS = \frac{\sigma dS}{\epsilon} \quad \therefore E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \dots\dots ⑥$$

註：④⑤二式亦可寫成如下。

$$\because V = \frac{Q}{C} \quad \therefore E = \frac{V}{x} = \frac{Q}{Cx} = Q / \frac{\epsilon S}{x} = \frac{Q}{\epsilon S}$$

$$\begin{aligned} \therefore F &= \frac{1}{2} \sigma ES = \frac{1}{2} \frac{Q}{S} \frac{Q}{\epsilon S} S \\ &= \frac{Q^2}{2\epsilon S} \end{aligned}$$



(2) 電容器的能量 (1)的電容器，保持其電荷不至於逃逸，則將電容器的間隔拉開 $\Delta x$ 所需的功，由⑤式得

$$\Delta W = F \Delta x = \frac{Q^2}{2 \epsilon S} \Delta x$$

故由間隔0位置拉開到間隔 $x$ 所作的功 $W$ 為

$$W = \frac{Q^2}{2 \epsilon S} x$$

因 $C = \frac{\epsilon S}{x}$ ，上式可以改寫成  $W = \frac{1}{2} \frac{x Q^2}{\epsilon S} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

這就是教科書的(14)式，這功被儲存當做電容器的能量。

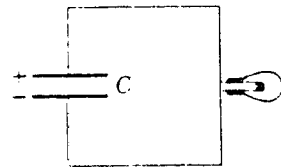
(3) 注意 (2)的情形是保持電荷不至於逃逸，故在移動時 $Q$ 為常數，只有外力所作的功使能量發生變化。但若兩極板連接電池，保持一定電位差來拉開，則雖然 $V$ 為一定，但 $Q$ 會變化，換言之，電荷由電池進出，因此有能量的變化，值得注意。

### 177 [ 解說 ] 電容器的能量儲存在何處 ?

電容器兩極用導線連接，中間接上10W左右的燈泡，燈泡就會發光。這是因為電容器的放電而電流通過，使燈泡發光的緣故，是理所當然的事。使電流通過所需的能量是儲存於電容器，而燈泡因這能量而發光，但燈泡發光這現象是一個好的例子，能讓學生牢牢記住電容器確實能夠儲存能量。

誠如教科書所示，由電容器沒有電荷的狀態，到電荷為 $Q$ 電位差為 $V$ 為止，外界該作的功為

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 \quad (C \text{ 為電容})$$



因此，這麼多的能量應該儲存於電容器的某處才對。事實上，使電容器透過電阻 $R$ 來放電時，仔細測定電阻所生的熱能，便知完全與上式數值一致。

這能量是整個電容器有電荷時較完全沒有電荷時多儲存的。由是可說所儲存的電荷具有這能量。這種說法相當於，在均勻重力之下於較高 $h$ 處的質量 $m$

之物體多儲存 $mgh$ 的位能。

另一方面，考慮到電容器周圍的電場時，有電場的是極板間的空間。現在假定強度 $E$ 的電場每單位體積儲存能量 $W = \frac{1}{2} \epsilon E^2$ 。就此計算整個空間的電場能量，則因電場不為0的地方只有極板間的空間，故

$$W = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \cdot Sd = \frac{1}{2} \cdot \frac{\epsilon S}{d} (Ed)^2 = \frac{1}{2} CV^2$$

完全與上述結果一致。因此，又可以說電容器的能量儲存於空間。

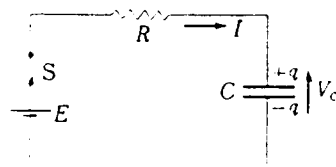
一般而言，在靜電場中，為了使電荷排列成某種狀態所需的功為 $W$ ，則可認為在此狀態儲存了 $W$ 的能量，而這時所產生的電場可視作具有密度 $\omega$ 的能量，並且就整個空間加起來，其結果等於上述的 $W$ 。是故，只要明白最後的電場，即可計算儲存於電場的能量。這種想法就是場的想法。這種想法後來成為非常重要，而且成為光與電波具有能量的概念之基礎。這樣，能量是儲存於電場，熟悉這種想法對將來頗為有利。

### 178 [ 解說 ] 電容器的充放電

(1) 充電 如下圖所示，串聯電阻 $R$ 與電容 $C$ 的電容器，時間 $t=0$ 時關上開關，突然加上電壓 $E$ 。當電流 $I$ 通過時發生電壓下降 $V_R = RI$ ，電容器受到電壓 $E - RI$ 。這時被運到電容器所儲存的電荷若為 $q$ ，則因極板間的電位差為 $\frac{q}{C}$ ，故

$$E - RI = \frac{q}{C} \dots \dots \textcircled{1}$$

另一方面， $I = \frac{dq}{dt}$ ，故



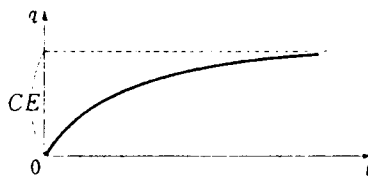
$$E - R \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} \text{ 即 } R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} - E = 0 \dots \dots \textcircled{2}$$

以 $t=0$ 時 $q=0$ 的初始條件解方程式②

[ 解法參閱(4) ]，得

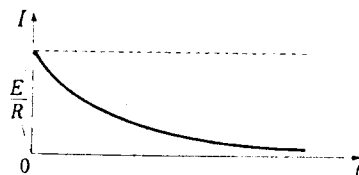
$$q = CE (1 - e^{-t/RC}) \dots\dots ③$$

$$\text{這時 } I = \frac{dq}{dt} = \frac{E}{R} e^{-t/RC} \dots\dots ④$$



q與I隨時間的變化，如右圖所示。

$$\text{由③④式知，} t=0 \text{時 } q=0, I = \frac{E}{R}$$



即關閉電路的瞬間所通過的電流等於C=0時所通過的電流。又 $t \rightarrow \infty$ 時， $q \rightarrow CE$ ， $I \rightarrow 0$ 。

(2)放電 將電容C的電容器充電到電壓V，在 $t=0$ 時連接電阻R來放電。 $t=0$ 時

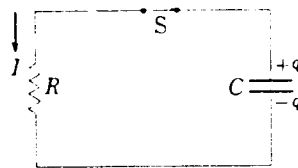
電容器的電量為 $q_0 = CV$ ，但設時間t時電量變成q，而電流變成 $I = -\frac{dq}{dt}$ 。

C產生電位差 $\frac{q}{C}$ ，R發生電壓下降 $RI = -R\frac{dq}{dt}$ ，而兩者達到平衡，故

$$\frac{q}{C} = -R\frac{dq}{dt} \quad \therefore R\frac{dq}{dt} + \frac{1}{C}q = 0 \dots\dots ⑤$$

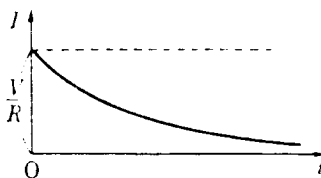
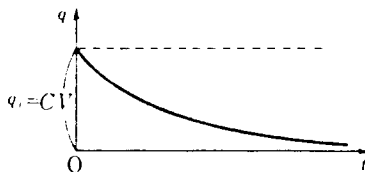
以 $t=0$ 時 $q = q_0 = CV$ 的條件解這方程式，得

$$q = q_0 e^{-t/RC} \dots\dots ⑥$$



$$\text{這時 } I = -\frac{dq}{dt} = \frac{V}{R} e^{-t/RC} \dots\dots ⑦$$

q與I隨時間的變化，如下圖所示。





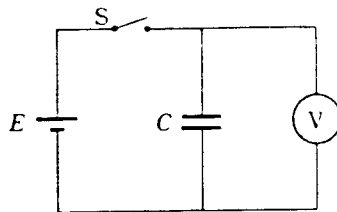
由⑥⑦式知

$$t=0 \text{ 時 } q=CV, I=\frac{V}{R}$$

即電路關閉瞬間所通過的電流等於R受到電壓V時所通過的電流。又 $t \rightarrow \infty$ 時， $q \rightarrow 0, I \rightarrow 0$ 。

這放電曲線可用下列實驗來顯示。

電源E為真空管用電源（直流250~300V），C為 $8 \mu\text{F}$ 油浸電容器2~3個並聯者， $\text{V}$ 為直流電壓計（理振規格300V範圍，內阻 $300\text{k}\Omega$ ）。接上電源，關上開關S，調節電壓計，令其指示250~300V。關上S後不久， $\text{V}$ 的指示穩定時，打開S，同時以計秒錶計時。測出 $\text{V}$ 的指示變成原始時的 $1/2, 1/4, 1/8$ 的時間，橫軸取時間縱軸取電壓作成線圖。



要展開(1)(2)的理論，對學生來說當然是有困難。因此，用這實驗來讓學生理解放電時的電壓變化情形就好。此外，這實驗也適合於當做放射性物質衰變的模擬實驗。但因電壓高，帶電量多，故讓學生實驗時要相當注意。又若用 $1000 \mu\text{F}$ 左右的大電容器，則可用3V電池來充電，用3V範圍的電壓計來做實驗。採用這方法時，也可以使用記錄電壓計來自動記錄。

(3)能量關係 (2)所述的放電時，電阻所產生的熱能（教科書p.178）可以計算如下。利用④，得

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} RI^2 dt &= \int_0^{\infty} R \left( \frac{V}{R} \right)^2 e^{-2t/RC} dt = \frac{V^2}{R} \left[ -\frac{e^{-2t/RC}}{2/RC} \right]_0^{\infty} \\ &= \frac{V^2}{R} \cdot \frac{RC}{2} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{q_0^2}{C} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots \textcircled{8}$$

依照教科書(4)式，這結果等於起初儲存於電容器的能量。換言之，儲存於電容器的能量，在電阻當做熱能釋放出來了。

(4)方程式的解法 微分方程式②⑤的解法如下：

$$〔⑤的解〕 ⑤ 爲 \frac{dq}{dt} = -\frac{1}{RC}q \quad \therefore \frac{1}{q} \frac{dq}{dt} = -\frac{1}{RC} \quad \dots\dots\dots ⑨$$

$$\text{關於}t\text{來積分，} \int \frac{1}{q} \frac{dq}{dt} dt = -\int \frac{1}{RC} dt \quad \therefore \int \frac{1}{q} dq = -\frac{t}{RC} + \text{const}$$

$$\therefore \log q = -\frac{t}{RC} + \text{const} \quad \therefore q = e^{-\frac{t}{RC} + \text{const}} = \text{const} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\therefore t=0, q=q_0 \quad \therefore \text{const} = q_0 \quad \therefore q = q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \dots\dots\dots ⑩$$

$$〔②的解〕 ②爲 \frac{dq}{dt} = -\frac{1}{RC}q + \frac{E}{R}$$

$$\text{令 } x = q - CE \quad \text{則} \quad \frac{dx}{dt} = -\frac{1}{RC}x$$

$t=0$  時  $x = -CE$ ，故應用⑨的解⑩，得

$$x = -CEe^{-\frac{t}{RC}} \quad \therefore q - CE = -CEe^{-\frac{t}{RC}} \quad \therefore q = CE\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad \dots\dots\dots ⑪$$

### 172 [參考] 電磁單位系

教科書本文所用的單位系叫做MKSA單位系，其他還有自古以來使用的CGS靜電單位系與CGS電磁單位系，簡述如下。

(1)MKSA單位系 長度，質量，時間的單位分別用公尺(m)，公斤(kg)，秒(s)〔力的單位為牛頓(N)〕。除此而外，加上電學單位安培(A)當做電流的單位。這時，由作用在平行電流間的力來規定安培，並且以1m/s速率移動可形成1A的電量定為1庫侖(C)。然後，由作用在真空中相隔1m的兩個1庫侖電荷間的力來決定庫侖定律(1)式的比例常數k值。

設介電常數為  $\epsilon$ ，則  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ ，而(1)式變為

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (\text{在真空中, } k \simeq 9 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \quad \dots\dots ①$$

磁學量則由電流所產生的磁場，根據安培來定單位。磁量的單位又叫做韋伯〔(Wb)教科書p.207〕。若二磁極 $m_1, m_2$ 〔Wb〕相隔 $r$ 〔m〕時的磁力為 $F'$ 〔N〕，則關於磁學的庫侖定律可以成立：

$$F' = \frac{1}{4\pi \mu} \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \dots\dots ②$$

$\mu$  為視介質而定的常數，叫做磁導率，真空中的數值為  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$

一切電磁單位如此導出，其因次由〔L〕，〔M〕，〔T〕，〔I〕來表示。其中I為電流。

(2)CGS靜電單位 長度，質量，時間的單位分別採用公分（cm），公克（g），秒（s）〔這時，力的單位為達因（dyn）〕，而等量電荷在真空中相隔1cm時的靜電力為1dyn時，這些電荷的電量叫做1esu的電量。設二電量 $q_1, q_2$ 〔esu〕在真空中相隔 $r$ 〔cm〕時的靜電力 $f$ 〔dyn〕，則庫侖定律為

$$f = \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \dots\dots ③$$

由電量規定電流，磁量，且導出一切電磁單位。這時，③式中把①式的 $\epsilon$ 予以數值化，但若令 $\epsilon$ 的因次為〔 $\epsilon$ 〕，則一切量的因次可用〔L〕，〔M〕，〔T〕，〔 $\epsilon$ 〕來表示。

(3)CGS電磁單位系 長度，質量，時間的單位分別採用cm，g，s，而等量磁荷在真空中相隔1cm時的磁力若為1dyn，則這些磁量叫做1emu的磁量。設磁量 $m_1, m_2$ 〔emu〕在真空中相隔1cm時的磁力為 $f'$ （dyn），則庫侖定律為

$$f' = \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \dots\dots ④$$

由磁量規定電流，電量，且導出一切電磁單位。這時，④式中把②式的 $\mu$ 予以數值化，但若令 $\mu$ 的因次為〔 $\mu$ 〕，則一切量的因次可用〔L〕，〔M〕，〔T〕，〔 $\mu$ 〕來表示。

(4)上述(2)，(3)單位系，其電量，磁量與電學及磁學的庫侖定律列表如下。

	CGS靜電單位系	CGS電磁單位系
電荷	$1 \text{esu} = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{C}$	$1 \text{emu} = 10\text{C}$
磁荷	$1 \text{esu} = \frac{4\pi}{3 \times 10^{16}} \text{Wb}$	$1 \text{emu} = 4\pi \cdot 10^{-8} \text{Wb}$
電學的庫侖定律	$f = \frac{q_1 q_2}{r^2}$	$f = \frac{1}{9 \times 10^{20}} \frac{q_1 q_2}{r^2}$
磁學的庫侖定律	$f' = \frac{1}{9 \times 10^{16}} \frac{m_1 m_2}{r^2}$	$f' = \frac{m_1 m_2}{r^2}$

### 三、教科書課文介紹

本教師手冊所適用的教科書，其概況如下。

- 1.書名：三訂版高等學校最新物理。
- 2.作者：後藤憲一等7人（其中大學教授5人，高中教師2人）。
- 3.出版年份：平成4年（西元1992年）。
- 4.出版者／出版地點：數研出版株式會社／日本東京。
- 5.出版文字：日文。
- 6.其他：平裝本，黑白印刷，尺寸149mm×211mm，共1冊，311頁。

爲了便於對照起見，上述教師手冊範例兩個單元，其對應課文介紹如次。

#### (一)第1篇 第1章 第4節

##### 第4節 由於重力的運動

##### A. 由於重力的運動

物體受到來自地球的鉛直向下重力。

空氣中的落體運動，除了重力以外，物體還要受到空氣的阻力，所以因物體的形狀大小而落下方式不同。本節將探討空氣阻力可以略去不計時的落體運

動。

## B. 自由落體

物體僅僅受到重力的作用而以初速 $0$ 〔m/s〕落下的運動叫做自由落體運動。

圖16為自由落體的頻閃照片。依照例題2（→p.16）的方法來求加速度，便知小球具有向下的一定加速度 $9.8\text{m/s}^2$ 〔註：由於小球受到一定力（重力）而運動，這件事可由後來要學的運動方程式來推導（→p.34）〕。縱使更換小球來做實驗，加速度恆為同一數值，與小球的質量無關。

這落體加速度叫做重力速度，其大小以 $g$ 表示。 $g \approx 9.8\text{m/s}^2$ ，但根據精密測定，已知 $g$ 值因地點而稍微不同，即使在同一地點，愈高處的 $g$ 值愈小。

自由落體為初速 $0\text{m/s}$ 而向下加速度 $g$ 〔 $\text{m/s}^2$ 〕的等加速度直線運動。設起始位置為原點，取 $y$ 軸鉛直向下，又設 $t$ 〔s〕後的速度為 $v$ 〔m/s〕，位置座標為 $y$ 〔m〕，則在(8)，(9)，(10)式中令 $a = g$ ， $v_0 = 0$ ， $x = y$ 即可，故得下列各式（見圖17）。

$$v = gt, \quad y = \frac{1}{2} gt^2, \quad v^2 = 2gy \quad \dots\dots(11)$$

<問8> 由地上40m的屋頂令小球輕輕落下，問幾秒後到達地面？又到達地面時的速率為若干m/s？〔註：數值計算時，除非特別聲明，否則一律採用 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 〕（答：2.9s，28m/s）

## C. 鉛直拋射

將小球鉛直向上拋射，則小球在某一高度暫停，然後從這一點自由落下。分析這小球的運動便知，小球恆作鉛直向下的一定加速度 $g$ 〔 $\text{m/s}^2$ 〕之等加速度直線運動（見圖18）。

在初速 $v_0$ 〔m/s〕的鉛直向上拋射運動中，以拋射點為原點，取 $y$ 軸鉛直向上（初速的方向），設 $t$ 〔s〕後的速度為 $v$ 〔m/s〕，位置的座標為 $y$ 〔m〕，則在(8)，(9)，(10)式中令 $a = -g$ ， $x = y$ 即可，故得下列各式：

$$\left. \begin{aligned} v &= v_0 - gt \\ y &= v_0 t - \frac{1}{2} gt^2 \\ v^2 - v_0^2 &= -2gy \end{aligned} \right\} \dots\dots(12)$$

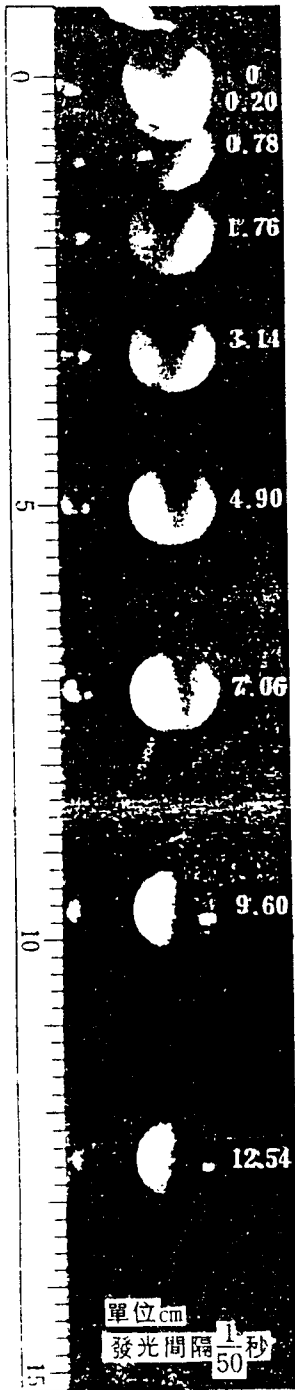


圖16 自由落體的頻閃照片

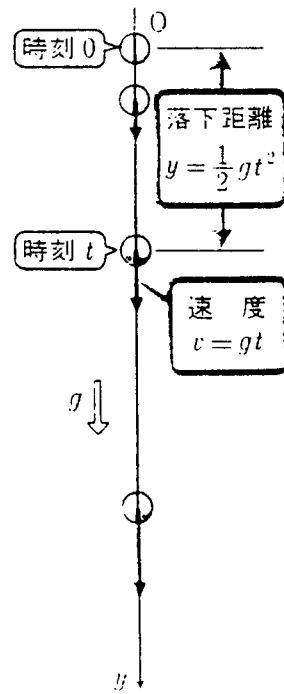


圖17 自由落體

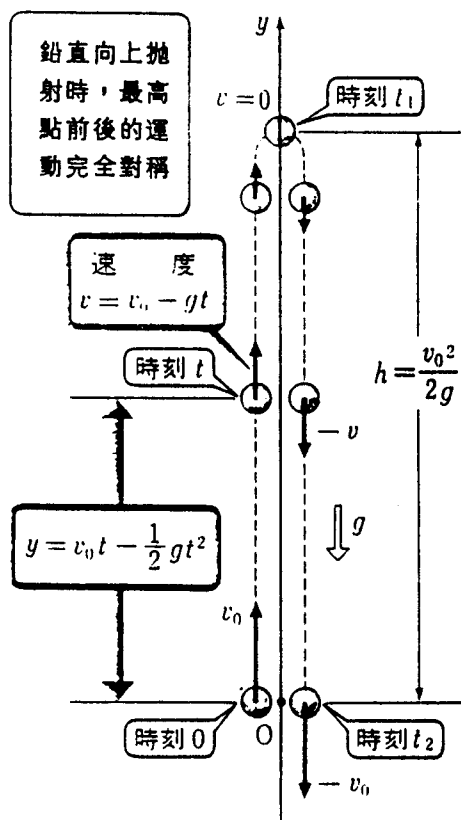


圖18 鉛直向上拋射運動

<例題4> 以初速 $v_0$  (m/s) 鉛直向上拋射小球時，試求以下各值。

(1)到達最高點的時間 $t_1$  [s] (2)最高點的高度 $h$  [m]

<解> (1)設 $t_1$  [s] 後到達最高點。在最高點， $v=0$ ，故

$$0 = v_0 - gt_1 \quad \therefore t_1 = v_0/g \quad \text{答 } t_1 = v_0/g \text{ [s]}$$

(2)將 $t_1$ 值代入 $h = v_0 t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2$  得

$$h = v_0 \left( \frac{v_0}{g} \right) - \frac{1}{2} g \left( \frac{v_0}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2}{2g} \quad \text{答 } h = v_0^2/2g \text{ [m]}$$

[另解] 將 $v=0$ 代入  $v^2 - v_0^2 = -2gh$  得

$$0 - v_0^2 = -2gh \quad \therefore h = v_0^2/2g \quad \text{答 } h = v_0^2/2g \text{ [m]}$$

<練習4> 如上例題，試求小球回來原來位置的時間 $t_2$ 〔s〕及回來時的速度 $v_2$ 〔m/s〕。  
 ( $t_2 = 2v_0/g$ 〔s〕， $v_2 = -v_0$ 〔m/s〕)

#### D. 曲線運動的速度

棒球被擊出後，在空中畫弧線飛去。如此，在一平面上作曲線運動的物體A通過P點，而在極短時間 $\Delta t$ 〔s〕後移到Q點時，因其位移為 $\vec{PQ}$ ，故平均速度 $\vec{v}$ 〔m/s〕可以表示如下：

$$\vec{v} = \frac{\vec{PQ}}{\Delta t}$$

〔註：某量Q的微小變化量，以 $\Delta Q$ 表示。這不代表 $\Delta$ 與Q的乘積。〕如圖19所示，依 $\vec{PQ}'$ ， $\vec{PQ}''$ 的次序，將離P的經過時間縮短，則平均速度的方向逐漸接近曲線上P點的切線方向。因此，這切線的方向成為物體A通過P點時（或其時刻）的速度 $\vec{v}$ 的方向。

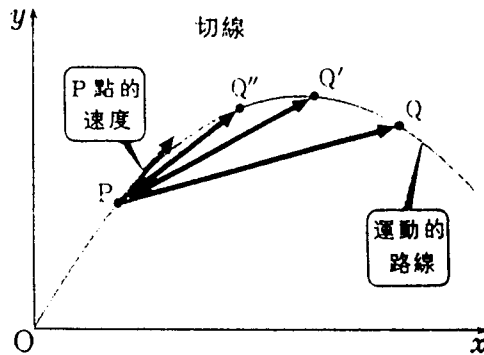


圖19 曲線運動的速度方向

#### E. 水平拋射

圖20為將小球A水平拋射，同時令小球B由同一高度自由落下時的頻閃照片。縱向白線為等間隔，橫向白線始終表示二球高度相同，故知小球A在水平（x軸）方向作等速直線運動，而在鉛直（y軸）方向則作自由落體運動。

〔註：這件事實，將後來要學的運動方程式分別適用在x軸方向的運動與y軸方向的運動即可推導出來（→p.34）〕。

換言之，在xy平面上，沿水平方向拋射的小球A，設其位置座標為（x，



$y$ )，則小球A的運動可以分解成爲  $x$  軸上  $A_1$  點〔座標  $(x, 0)$ 〕的運動與  $y$  軸上  $A_2$  點〔座標  $(0, y)$ 〕的運動來處理（見圖21）。

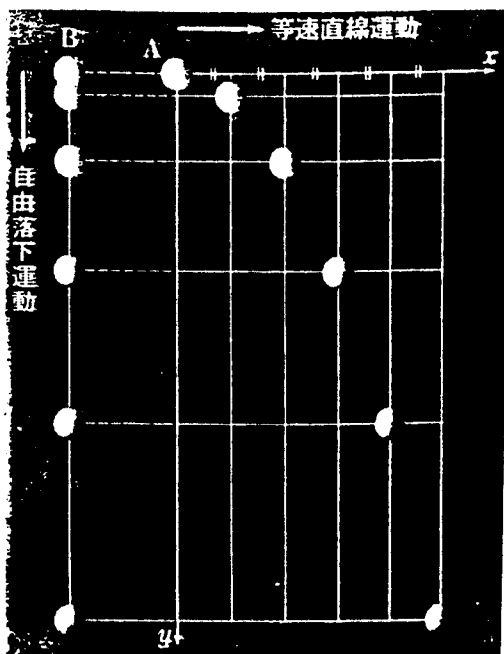


圖20 水平拋射的頻閃照片

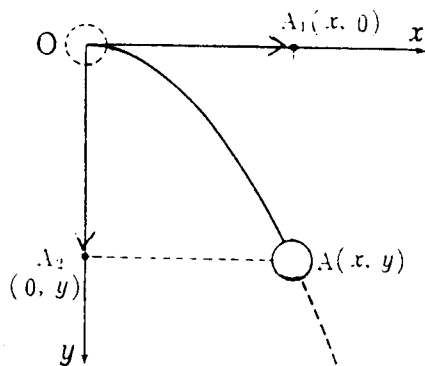


圖21 水平拋射

設小球A的初速爲  $\vec{v}_0$ 〔m/s〕， $t$ 〔s〕後的位置座標爲  $(x, y)$ 〔m〕，而速度爲  $\vec{v}$ 〔m/s〕。若  $\vec{v}$  的  $x$  分量與  $y$  分量分別爲  $v_x$  與  $v_y$ 〔m/s〕，則因在  $x$  軸方向作等速直線運動，故下式可以成立。

$$v_x = v_0, \quad x = v_0 t \quad \dots\dots(14)$$

$y$  軸方向爲自由落體運動，故由(11)式知下列各式可以成立。

$$v_y = gt, \quad y = \frac{1}{2} gt^2, \quad v_y^2 = 2gy \quad \dots\dots(15)$$

由(14)式  $x = v_0 t$  與(15)式的  $y = \frac{1}{2} gt^2$  消去  $t$ ，即得表示運動路線的公式如下（見圖22）。

$$y = \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2 \quad \dots\dots(16)$$

這是以原點爲頂點而以  $y$  軸爲軸的拋物線。

又將(14)式的 $v_x = v_0$ 與(15)式的 $v_y^2 = 2gy$ 代入 $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ 即得下式：

$$v^2 - v_0^2 = 2gy \quad \dots\dots(17)$$

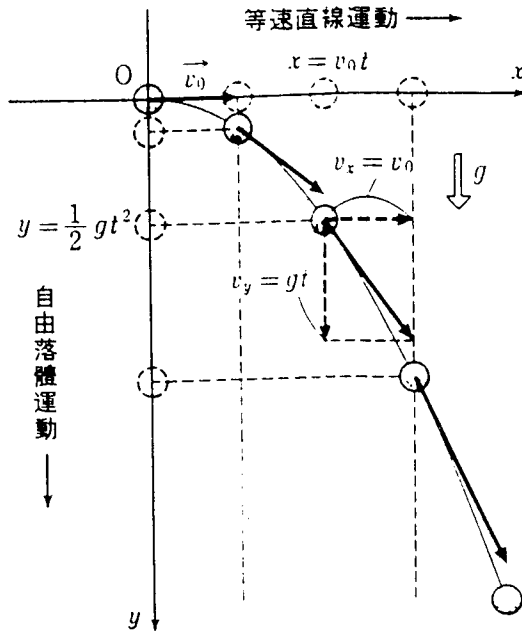


圖22 水平拋射

<練習5> 由海角的瞭望台沿水平方向拋射小石，則3.0秒後小石以 $60^\circ$  角度掉落海面。問拋射點距離海面的高度若干m？ 又落海點與拋射點之間的水平距離為若干m？  
(44m, 51m)

### F. 斜向拋射

想一想將小球往斜上方拋射的情形吧。如同水平拋射的情形，將小球的運動分解下來想，便知水平方向作等速直線運動，而鉛直方向則作鉛直拋上運動。

設以初速 $\vec{v}_0$  [ m/s ] 將小球拋射，而初速與水平交成 $\theta$ 角向上。若取拋射點為原點，初速的水平分量方向為x軸，鉛直向上為y軸，則初速 $\vec{v}_0$ 的x分量與y分量分別等於 $v_0 \cos \theta$ 與 $v_0 \sin \theta$  [ m/s ]。設t [ s ] 後的位置座標為(x, y) [ m ]，速度為 $\vec{v}$  [ m/s ]，而 $\vec{v}$ 的x分量與y分量分別為 $v_x$ 與 $v_y$  [ m/s ]，則因在x軸方向作速度 $v_0 \cos \theta$  [ m/s ] 的等速直線運動，故下列各式可以成

立（見圖23）。

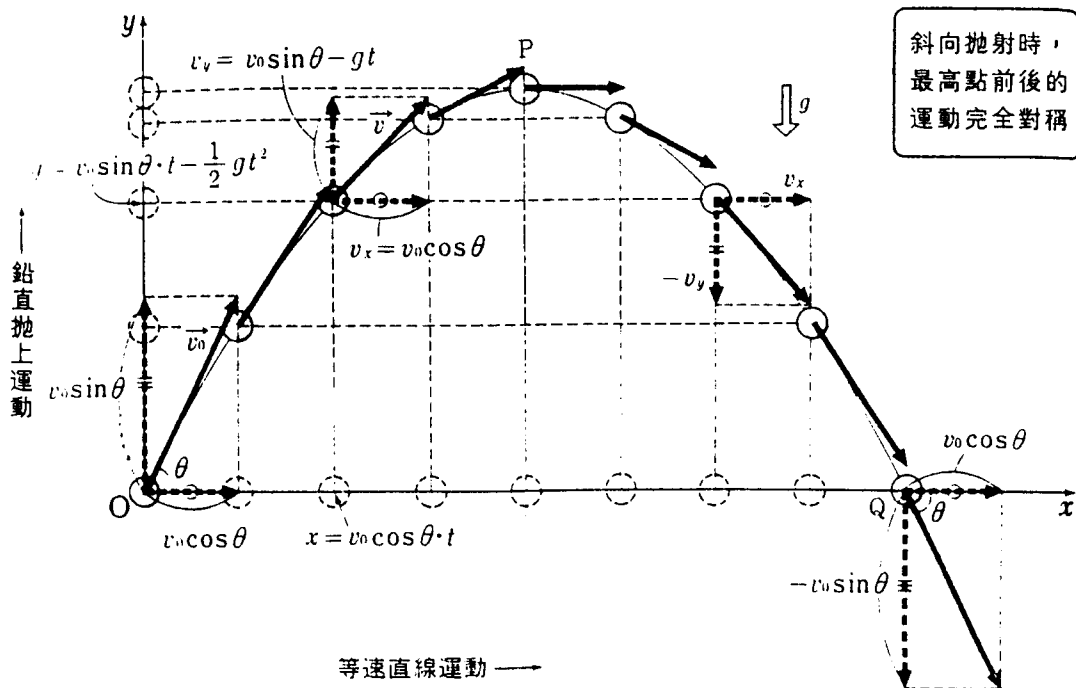


圖23 斜向拋射

$$\left. \begin{aligned} v_x &= v_0 \cos \theta \\ x &= v_0 \cos \theta \cdot t \end{aligned} \right\} \dots\dots(18)$$

y軸方向則作初速  $v_0 \sin \theta$  [ m/s ] 的鉛直拋上運動，故由(12)式知下列各式可以成立。

$$\left. \begin{aligned} v_y &= v_0 \sin \theta - gt \\ y &= v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} gt^2 \\ v_y^2 - v_0^2 \sin^2 \theta &= -2gy \end{aligned} \right\} \dots\dots(19)$$

由(18)式的 x 式與(19)式的 y 式消去 t，即得表示運動路線式如下：

$$y = \tan \theta \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2 \dots\dots(20)$$

這是通過原點而其軸平行於 y 軸的拋物線。

此外，若將(18)式的 $v_x$ 式與(19)式的最後一式代入 $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ 中，則得下式

:

$$v^2 - v_0^2 = -2gy \quad \dots\dots(21)$$

水平拋射與斜向拋射的運動合稱為拋體運動。僅僅由於重力的小球運動，都是等加速度運動。

<問9> 在地上將小球以初速49m/s沿水平向上30°的方向拋射。問小球幾秒後落地？又小球的水平射程為幾m？ (5.0s,  $2.1 \times 10^2$ m)

<例題5> 就圖23的斜向拋射，求下列各值。

(1) 到達最高點P所需時間 $t_1$  [s] 及其高度 $h$  [m]。

(2) 到達Q點所需時間 $t_2$  [s] 及該時的水平距離 $l$  [m]。

<解> (1) 因在最高點P時， $v_y = 0$ ，故 $0 = v_0 \sin \theta - gt_1 \quad \therefore t_1 = v_0 \sin \theta / g$

答  $t_1 = v_0 \sin \theta / g$  [s]

$$h = v_0 \sin \theta \cdot t_1 - \frac{1}{2}gt_1^2 = \frac{(v_0 \sin \theta)^2}{g} - \frac{1}{2}g \left( \frac{v_0 \sin \theta}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

答  $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$  [m]

(2) 在Q點， $y = 0$ ，故 $0 = v_0 \sin \theta \cdot t_2 - \frac{1}{2}gt_2^2$

$$\therefore t_2 \neq 0 \quad \therefore t_2 = \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$$

答  $t_2 = \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$  [s]

$$l = v_0 \cos \theta \cdot t_2 = \frac{2v_0^2 \sin \theta \cos \theta}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

答  $l = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$  [m]

(註： $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$ )

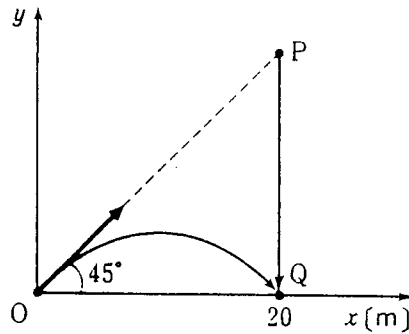
<練習6> 承例題5，試答下列問題。

(1) 要將小球拋到最遠處， $\theta$ 角應為若干？

(45°)

(2)小球的拋射方向在水平向上 $30^\circ$ 時與水平向上 $60^\circ$ 時，其水平射程相同。理由何在？

<練習7> 如下圖所示，由原點O向P點拋射小球A，同時由P點令小球B自由落下，則兩個小球碰撞在座標為(20m, 0m)的Q點。



(1)拋射到碰撞，需時幾秒？

(2.0s)

(2)小球A的初速為何？

(14m/s)

## (二)第3篇 第1章 第6節

### 第6節 電容

#### A. 電容器

將兩片平行金屬板A、B、電池、開關與電流計連接後，將開關閉閉，則電流計偏轉一次後立即恢復原來位置0處（見圖24）。

這是因為電池把金屬板A的自由電子運到金屬板B（這時稱為電流反向於電子的移動而流動），金屬板A帶正電，金屬板B帶負電，但若金屬板A與B的電位分別等於電池正極與負極的電位（亦即金屬板間的電位差等於電池兩極間的電位差），則自由電子的移動即告停止。

由於金屬板A的正電荷與金屬板B的等量負電荷相吸，縱然打開開關，電荷也依然留下來。

如此，利用一組導體（叫做電極）來儲存電荷的裝置稱為電容器，而電荷的儲存稱為充電。如圖23的電容器稱為平行板電容器。

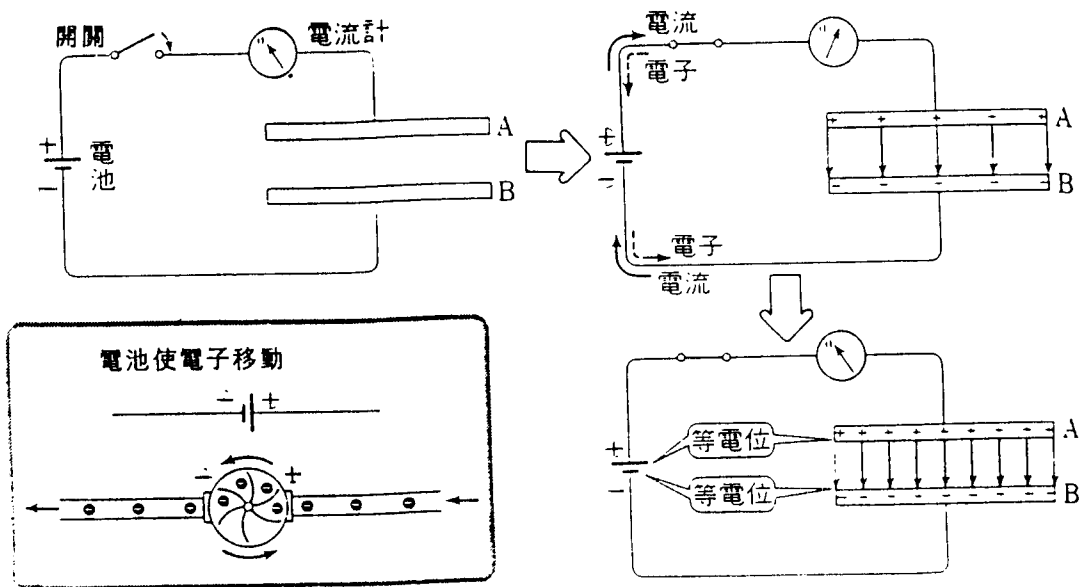


圖24 電容器的充電

## B. 電容

設平行板電容器的極板間隔為  $d$  [m]，面積為  $S$  [m<sup>2</sup>]，極板間的電位差為  $V$  [V]，而儲存於極板A與B的電量分別為  $+Q$  與  $-Q$  [C]（見圖25）。

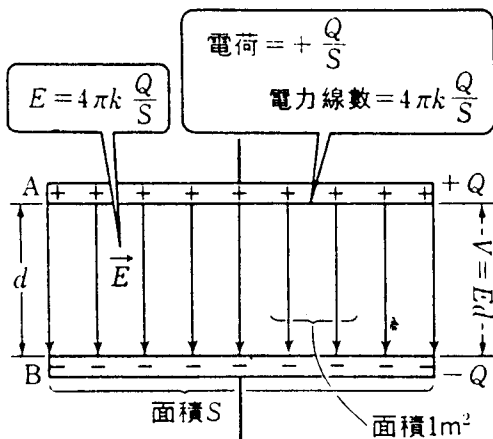


圖25 平行板電容器

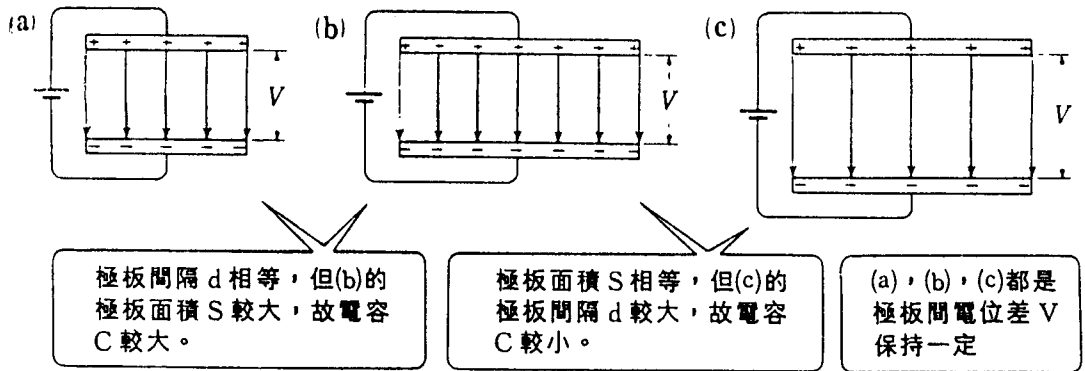


圖26 電容與極板面積及極板間隔的關係

由高斯定律〔(4)式〕知，來自每 $1\text{m}^2$ 極板A的電荷 $\frac{Q}{S}$ 〔C〕之電力線數為 $4\pi k \frac{Q}{S}$ 條。這些電力線貫穿垂直於 $1\text{m}^2$ 的橫斷面（註：極板周邊部的電場不均勻，電力線向外鼓起，但這現象予以忽視），故電場強度 $E$ （V/m）成爲 $E = 4\pi k \frac{Q}{S}$ 。由(8)式得 $V = Ed = 4\pi k \frac{d}{S} Q$ ，故 $Q = \frac{1}{4\pi k} \frac{S}{d} V$ ，即 $Q$ 與 $V$ 成正比。令此比例常數爲 $C$ ，則

$$Q = CV \quad \dots\dots(9)$$

但

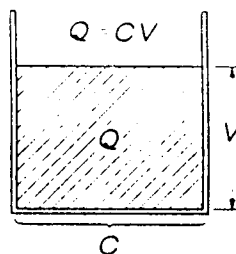
$$C = \frac{1}{4\pi k} \frac{S}{d} \quad \dots\dots(10)$$

這 $C$ 稱爲電容器的電容。由(10)式知，電容與極板面積成正比，與極板間隔成反比（見圖26）。

至於電容的單位，則採取給予1V電位差即能儲存1C電量的電容器之電容，定爲1法拉（符號F）。在實用上1F太大，故使用1微法拉（符號 $\mu\text{F}$ ）＝

$10^{-6}$  F及1沙法拉（符號pF）= $10^{-12}$  F。

電容器常以水槽做比喻（見右圖）。在底面積為C〔m<sup>2</sup>〕的水槽，裝水到水深為V〔m〕，則可儲存水量Q=CV〔m<sup>3</sup>〕。電容C〔F〕，電位差V〔V〕與電量Q〔C〕分別相當於水槽底面積C〔m<sup>2</sup>〕，水位V〔m〕與水量Q〔m<sup>3</sup>〕。



### C. 介電質的作用

由於放入極板間的物質（介電質）而(10)式的k值不同，電容C也改變。設

$\epsilon = \frac{1}{4\pi k}$  式中  $\epsilon$  稱為該介電質的介電常數。真空的介電常數  $\epsilon_0$  為

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k_0} = 8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$$

空氣的介電常數大約等於  $\epsilon_0$ ，但一般的介電質，其介電常數則大於真空的介電常數。因此，在電容器的極板間放入介電質，電容就變大。現在思考這理由。

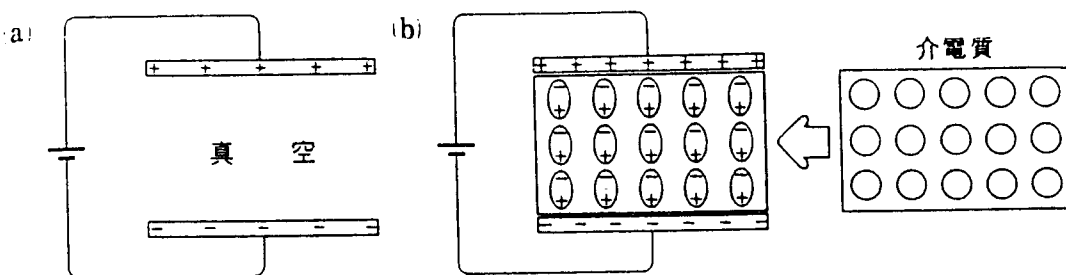


圖27 介電質在電容器內的作用

介電質會引起介電極化，故如圖27(b)所示，介電質的上面出現負電荷，下面出現正電荷，與極板上的一部分電荷抵消。因此，電場減弱，電位差下降，而電池送入更多的電荷。是故，在相同電位差的情況下，在極板上能儲存很多電荷，而由於Q=CV，電容變大。

設極板間為真空時與放入介電質時的電容分別為C<sub>0</sub>與C，則C與C<sub>0</sub>的比值



稱為該介電質的相對介電常數，即

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} \left( = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right) \dots\dots(11)$$

收音機與電視機所用的電容器，在極板間放入相對介電常數大的介電質，使其電容變大（見圖28及表1）。

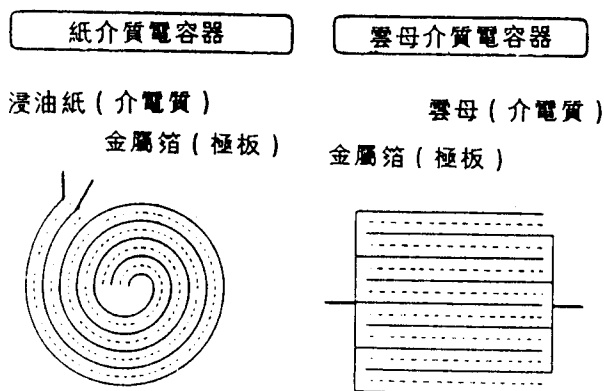


圖28 電容器

表1 物質的相對介電常數（常溫）

物 質 的 種 類	相 對 介 電 常 數
不含二氧化碳的空氣	1.00054
石蠟	1.9~2.4
紙與石炭酸的膠合板	5.0~7.0
白雲母	6.0~8.0
軟質聚氯乙烯	5.0~9.0
鈦酸鋇	約5000

<問13> 極板面積 $5.0 \times 10^{-4} \text{m}^2$ ，極板間隔 $2.0 \times 10^{-3} \text{m}$ 的平行板電容器，極板間為真空時與裝入鈦酸鋇時，其電容分別為若干pF？

(2.2pF,  $1.1 \times 10^4 \text{pF}$ )

#### D. 電容器的連接

且想連接兩個以上電容器時的總電容（見圖29）。

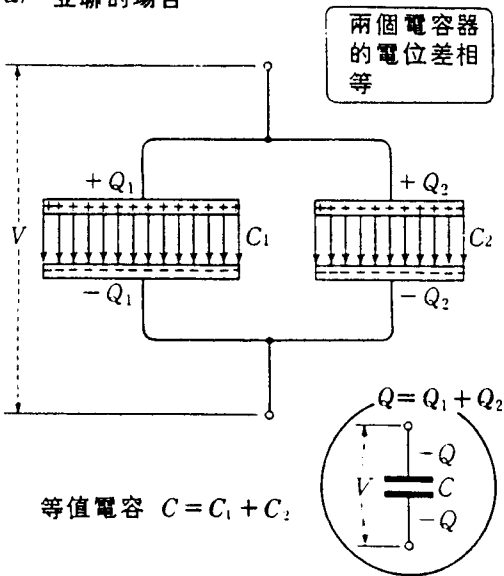
##### (1) 並聯

將電容分別為 $C_1$ 與 $C_2$ 〔F〕的電容器並聯起來，在其兩端加以電位差 $V$ 〔V〕。正極板與負極板分別保持等電位，極板間的電位差均為 $V$ 〔V〕，故儲存於各電容器的電量為 $Q_1 = C_1 V$ 〔C〕， $Q_2 = C_2 V$ 〔C〕。因此，總電量 $Q$ 〔C〕為 $Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2) V$ 將此式與(9)式相較便知，整個電容（稱為等值電容） $C$ 〔F〕如下：

$$C = C_1 + C_2 \quad \dots\dots(12)$$

一般而言，若干個電容器並聯時的等值電容，等於各電容之和。

(a) 並聯的場合



(b) 串聯的場合

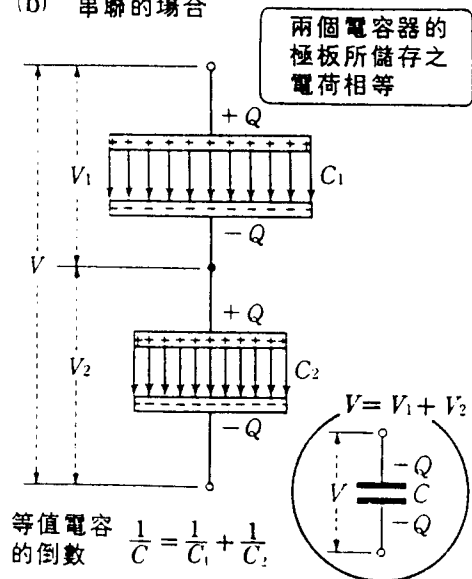


圖29 兩個電容器的連接

(2) 串聯

將電容分別為  $C_1$  與  $C_2$  [ F ] 的電容器串聯起來，在其兩端加以電位差  $V$  [ V ]，則因靜電感應而在各極板出現大小相等的電量  $Q$  [ C ]（註：假設兩個電容器在連接前均無電荷的儲存）。設各電容器兩端的電位差分別等於  $V_1$  與  $V_2$  [ V ]，則  $V_1 = Q/C_1$ ， $V_2 = Q/C_2$ ，因有  $V = V_1 + V_2$  的關係，

故  $V = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) Q$  因此，等值電容  $C$  [ F ] 如下：

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{或} \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad \dots\dots(13)$$

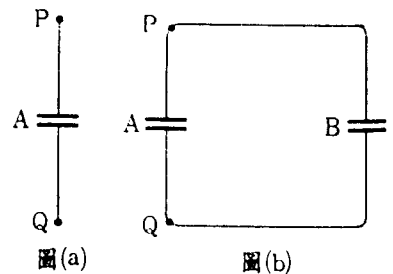
一般而言，若干個電容器串聯時的等值電容之倒數，等於各電容的倒數之和。

<問14> 並聯時，各電容器所儲存的電量之比等於其電容之比，而串聯時，各電容器極板間的電位差之比等於其電容倒數之比。試證明之。

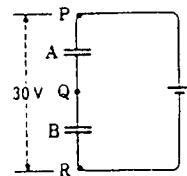
<問15> 電容為  $2.0 \mu\text{ F}$  與  $3.0 \mu\text{ F}$  的兩個電容器，並聯時與串聯時的等值電容各為若干  $\mu\text{ F}$ ？

( $5.0 \mu\text{ F}$ ， $1.2 \mu\text{ F}$ )

<例題3> 電容  $1.0 \mu\text{ F}$  的電容器 A，將其充電到圖(a)的 P 側成為正  $60\text{ V}$ 。電容  $2.0 \mu\text{ F}$  的電容器 B（沒有電荷），將其與 A 連接如圖(b)所示。問 PQ 間的電位差為若干 V？



<解> 圖 (a) 時，A 的 P 側與 Q 側分別儲存電量  $60 \mu\text{ C}$  與  $-60 \mu\text{ C}$ 。將 A 與 B 連接，則一部分電量移到 B。設 PQ 間的電位差變成  $V$  (V)，則留在 A 的電量為  $V$  [  $\mu\text{ C}$  ]，移到 B 的電量為  $2V$  [  $\mu\text{ C}$  ]，而電量之和必須守恆，故  $V + 2V = 60 \therefore V = 20$  答 20V



< 4 > 例題3的圖 (a) 狀態之電容器 A，與沒有電荷的電容器 B 串聯，再與電

池連接如上圖，則PR間的電位差成爲30V。問QR間的電位差爲若干V？又Q與R的電位，何方較高？

### E. 儲存於電容器的能

電容爲C〔F〕的電容器與兩極間的電位差爲V〔V〕之電池，透過開關而連接起來(見圖30)。開關關閉，則電容器板極間的電位差增加，直到電位差成爲V〔V〕時充電即告結束，而電容器上儲存電量 $Q=CV$ 〔C〕。電容器的充電在短時間內完成，但這時的極板間電位差與電量之關係成爲直線(見圖30)。

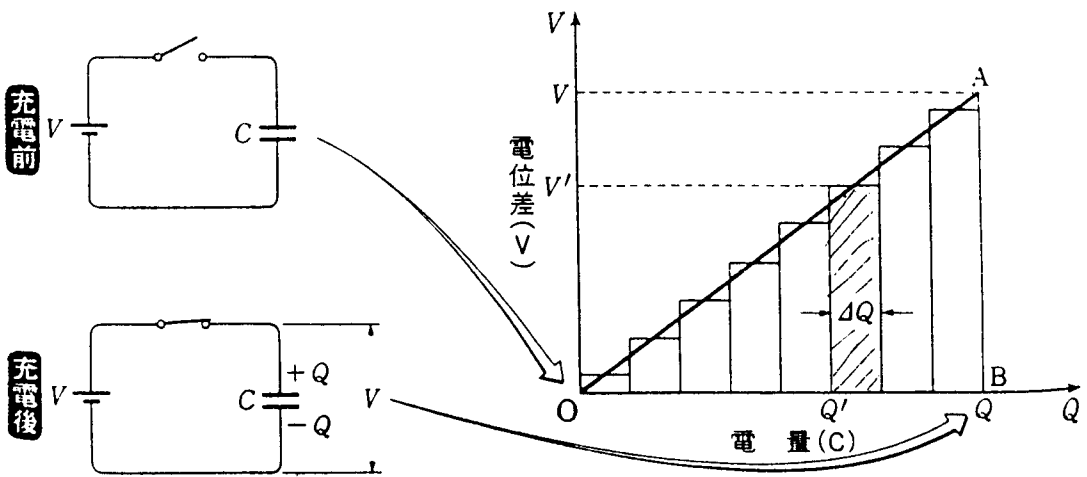


圖30 電容器充電時的功

在充電途中，電位差變成 $V'$ 〔V〕時，再將電量 $\Delta Q$ 〔C〕輸入所作的功，若 $\Delta Q$ 甚小，則電位差可視作幾乎保持一定，故此功等於 $V' \Delta Q$ 〔J〕（→ p.165(3)式）。這是等於圖中斜線劃上的長方形之面積。因此，從電位差0〔V〕充電到 $V$ 〔V〕所需的功，等於這種長方形的面積之總和。令 $\Delta Q$ 〔C〕甚小，則這面積等於 $\triangle AOB$ 的面積，故所需的功如下：

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad \dots\dots(14)$$

被充電到電位差 $V$ 〔V〕的電容器，將爲了充電而由外界輸入的功 $W$ 〔J〕，以能量的形態儲存在極板間的電場。這叫做儲存於電容器的靜電能。

已充電的電容器，以導線連接其兩極板間，則在短時間內，負極板的自由電子通過導線而移到正極板，於是正負電荷抵消。這叫做電容器的放電。

已充電的電容器與燈泡連接，燈泡就可以發光一瞬間。這是因為儲存於電容器的靜電能轉換成爲光能與熱能的緣故。

<問16> 電容 $5.0 \times 10^{-6}\text{F}$ 的電容器充電到 $1.0 \times 10^2\text{V}$ 時，所儲存的靜電能爲若干J？

( $2.5 \times 10^2\text{J}$ )

<練習 5 > 如例題 3 的場合，圖 (a) 的電容器 A 與沒有電荷的電容器 B 連接如圖 (b) 時，儲存於兩個電容器 A 與 B 的靜電能之和，變成起初儲存於電容器 A 的靜電能之幾倍？

( $\frac{1}{3}$  倍)

<練習 6 > 電容器極板上的電荷保持不變，使極板的間隔變成2倍時

(1) 極板間的電位差變成起初時的幾倍？

(2 倍)

(2) 儲存於電容器的靜電能變成起初時的幾倍？又靜電能爲何發生變化？

(2 倍)

#### 四、教師手冊特色

(一) 本教師手冊書首有學習指導要領之解說，就「高等學校學習指導要領」中第 3 節的「物理」內容，詳述其處理方法。

(二) 書首的「時間分配表」，明示學習指導展開例，以便引起學生的學習動機，並且列舉與初中課程的銜接情形，而且明示各章節的理想授課時間。

(三) 各章首均記述該章目標與意義，並示爲達到此目標所需的指導方針與展開例。

(四) 各節首均簡潔記述該節要點。

(五) 隨時提出示範實驗，目的在於引起學生的學習動機。同時具體指出實驗時應注意事項以及實驗意義。

- (六)普設解說欄，將教科書所記載的內容更加深入探討。有時也簡單說明重要物理現象的發現經過以及當時物理學家的想法等。
- (七)普設參考欄，提供教科書內容所需的參考資料。
- (八)有時另設關聯問題欄，提出有關教科書所記載的問題，詳加介紹與解說。
- (九)本教師手冊共1冊387頁，而其所對應的教科書則共1冊，311頁，可見其內容之豐富。反觀我國國立編譯館出版的物理教科書第1冊167頁（民國78年第5版），第2冊155頁（民國77年第3版），第3冊190頁（民國78年第4版），第4冊171頁（民國78年第3版），而教師手冊則第1冊116頁（民國78年第4版），第2冊126頁（民國79年第2版），第3冊134頁（民國80年第3版），第4冊139頁（民國80年第3版），顯然教師手冊頁數均較教科書為少。