

高二年級物理
CAI (電腦輔助教學) 教案

參選編號：C050

參選類型：教案

適用年級：高二

科目：物理

目 錄

CAI 課本簡介.....	2
教學進度表.....	7
教案.....	11
試教評估.....	41
反思與建議.....	44
參考文獻.....	45
高二級物理 CAI 課本紙質版電子檔.....	47

光碟內容

- 1 CAI 課本播放檔(電子檔)
- 2 高二級物理 CAI(電腦輔助教學)教學計
- 3 CAI 練習冊參考資料(非教學設計內容)
- 4 CAI 模擬實驗參考資料(非教學設計內容)

紙質物件

- 1 高二級物理 CAI(電腦輔助教學)教學設計
- 2 高二級物理 CAI 課本紙質版

CAI 課本簡介

“CAI”(Computing Aided Instruction)是電腦輔助教學的意思。CAI 課本高中物理課本(以下簡稱為 CAI 課本) 共有三冊,這是第二冊的教學設計,可供高中二年級使用。CAI 課本每冊均有播放部分(電子檔)和紙質部分(書本): 播放部分是教師的教案和學生的學案的融合體; 紙質部分是教學內容的重點摘錄, 可作學習筆記用, 也可作沒有電腦使用時溫習之用。

一 播放部分的使用方法

- 1 把光碟中的“CAI 課本播放檔”複製到電腦桌面。電腦應裝有 powerpoint2010 版本和播放動畫的 FiashPiayer10 版本,否則可能會不能播放內嵌 ppt 的動畫。
- 2 在電腦中打開 “CAI 課本(播放檔)”檔案夾, 再打開相應章的檔案夾, 再打開相應節的檔案夾, 然後打開 ppt 格式的檔案。
- 3 開啟 powerpoint 播放功能, 就可以進行相應章節內容的教學或自學了。
- 4 開啟 powerpoint 播放功能時, 如果跳出安全警訊的視窗, 請選擇 “在這個工作階段中應用外部內容”的選項。這是 powerpoint 檢查內嵌影片或動畫的安全性的例行動作, 不必介意。
- 5 播放 ppt 時, 點擊視頻檔或動畫檔的畫面就可播放內嵌 ppt 的實驗錄影, 或模擬動畫, 或互動動畫。如果不能播放, 可以點擊旁邊的 “播放”按鈕, 電腦例行跳出有病毒的警告視窗, 無須理會, 點擊確定按鈕就可以了。如果還是不能播放, 可在最後打開的節檔案夾中點擊相應的檔案, 脫離 powerpoint 來播放。播放按鈕如右圖.
- 6 播放 powerpoint 時, 有 “”標誌的圖片是超連結的按鈕, 點擊圖片就可直接上綱, 播放網上的影片、圖片或字。為了配合上述功能, 電腦應處於上網連線狀態。

二 CAI 課本的特點。

1 尊重一個規律

教育學中的 “認知規律”是人類學習知識最根本的科學規律。不論是以學生為主體的學習, 探究性的學習, 養成性學習等的現代教育理念的教學都要遵守認知規律, 否則就會效率很低, 甚至失敗。本人設計的 CAI 課本, 都盡可能依據感知→理解→記憶→運用→提高的“認知規律”來設計教學。a)為了學生能能夠更好地感受所學知識的情景, 課本插入了很多自拍的實驗錄影、網上的視頻、把抽象變為形象的動畫和圖片等物件。b)認知規律告訴我們, 強的或特別的刺激可以增強記憶, 課本中需要記憶的知識都會用特別的字體、顏色或方式來展示, 以求學生能容易記憶 c)為了符合認知的條理性和心理性, 課本的版面是按最細的知識點來分類和排版的, 每個小知識點為一個大段落, 給出一個小標題, 配一個切換動畫, 哪些文字是闡述哪個知識點的, 現在學的是甚麼, 學生心中有數。分開一個

小點一個小點地學習，很易、很快就學好了，很有成功感，可以提高學習的興趣。

d) 根據心理學，學生要把所感知的東西作多次重溫，甚給予強的刺激才易記得牢固。為此，我把每一個知識重點都分別在正文、頁面下方的撮要欄、畫龍點睛(本節小結)版面中，共出現三次，使學生在不知不覺中記住它。

e) 學以致用是學習的目的。為了達到這一目的。(1)幾乎每一節都配有一道或很多道例題(傳統的課本很少例題)教學生運用知識。(2)課本還安排了二個運用所學知識製作一件物品的專題科學實踐活動，增強學生學以致用的能力和動手能力。

e) 學生能夠把所學知識融會貫通後，有所提高、有新的發現，這才是教育的高境界。為此，CAI 課本借鑒內地的新課標課本的做法，設計了二個專題探究活動，訓練學生運用自己所長，探索、發現、研究新的東西。由於 CAI 課本充分地運用了認知規律，加上電腦和多媒體的巧妙配合，所以用它來學習，會很容易明白，特別適合學生的自學，能大大提高教學效率。

2 融合二個方案

傳統的課本把教學大綱的重點內容以圖文的方式列印紙上，老師根據課本加插很多解釋和參考的東西後編成教案來講課，學生聽課時做筆記，課後用“教輔”溫習功課和做練習，這就是一般的教學過程。“教輔”就是教學輔導書籍，也有專家稱之為學案。如果把上述的東西融合成為課本，那麼教學不就省事很多，效率就會高很多了嗎？紙質媒體很難做到這點一，但是，以電腦和互聯網為媒體就不難做到了，於是我就嘗試這樣做 CAI 課本。我希望：CAI 課本暨是教師的教案，老師拿着它，就可以上課，完成基本的教學要求；又是的學生的學案，學生拿着它，就可以溫習功課，不用找“教輔”了，甚至中下能力的學生也可以用它來自學，無須老師為他上課。CAI 課本可以省卻老師利用多媒體上課的基本準備工作。有經驗的教師在它的基礎上稍作加工，就能上一堂更精彩的課；新教師用它來上課就可中規中矩地完成教學任務。由於 CAI 課本嵌入了很多的圖片、錄影、動畫、啟發學生理解的互動環節、互動的小練習，以及課本嚴格遵守認知規律的學習設計，所以學生用它來自學就不覺難了。經過一年的使用實踐證明，CAI 課本免強能夠達到上述的要求。CAI 課本配合本校的 CAI 練習冊和 CAI 模擬實驗一起來教學，實踐的效果還是不錯的(在附錄中稍作介紹)。

3 兼顧三地升學

課本參考本地、內地、台灣升大考綱來編輯教學內容，滿足學生不同的升大考試需要。

4 發揮四大功能

CAI 課本盡最大可能發揮電腦的多媒體功能、智能功能、互聯網的連結功能和 PowerPoint 的展示功能。

a) 圖、文、聲音的播放功能：課本基本做到了圖文並茂、美觀悅目，聲音運用恰當。

b) 播放錄影、動畫功能：課程需要的所有演示實驗都拍成錄影，並把這些錄影插入到相應的 ppt 檔案頁面中，講課或自學時用鼠標點一下就可以播放相應的錄影，完成物理演示實驗的教學。為了把抽象的教學內容形象化，製作了大量的 Flash 動畫嵌入到課本的 ppt 檔案中，講課或自學

時用鼠標點一下就可以觀看動畫，從而可以加深、加快理解學習的內容。c)人機互動的智能功能：課本把定律的探究、推廣，知識特點的歸納、拓展等內容，用Flash製作成互動的智能環節，讓學生操作電腦，通過觀察、探究、推理進行自主學習。d)連結互聯網：互聯網有大量的學習資訊，對於增加學習的深度和拓展學習的廣度有非常大的幫助。課本精心篩選了很多與教學內容相關的網頁和視頻，做成超連結，只要在已上網的電腦上播放課本的ppt檔案時，用鼠標點一下有“”標誌的圖片，就可上網瀏覽和學習這些資訊，這些資訊是供拓展學習的參考材料。e)發揮展示功能：由於課本充分地發揮了PowerPoint的背景、動畫、音效、插入、嵌入、超連結、修圖、兼容播放等功能，誇張地說，PowerPoint的十八般武藝都恰當地用上了，所以課本有較好的展示功能，完美地展現了課本的教學內容。

5 刻意培養5種能力

從古到今，能獲大家讚賞的教育理論都是以培養人的能力為主旨的。培養人的能力，說來容易做來難，在具體的教學中往往會不知不覺地偏重了知識的傳授而忽略了能力的培養。本人受養成教育理論的影響，在CAI課本的課程設計中，把學習物理知識作為培養能力的載體，把培養能力和物理學習融為一體，細水長流，反反覆復，日積月累，慢慢地把能力養成。我認邏輯思維能力、抽象思維能力、綜合分析能力、應用知識能力和歸納問題能力，這5種能力是特別適合在物理教學中培養的。為了明確和實施這一理念，我不但在課程內容方面作了一些不經意的安排，更着重在補充案中特別設立了能力培這項目標，還在具體的環節上提醒教師，注意在那一教授知識的過程中實施那一種能力的培養。很可惜，人格魅力(能力)方面的培養還是欠缺。這是一個很敏感和很難拿捏的問題，希望在今後的實踐中多總結經驗，能找到一種能獲大家認同的好方法。

6 有較好的通用性

CAI課本是用PowerPoint製作的ppt格式檔案為載體的，幾乎所有的人都會使用和播放ppt檔案的東西。所有的電腦，甚至有些手提電話都能使用ppt檔案。CAI課本是一種新的嘗試，肯定有一些不完善的地方，教學內容的設置未必完適合各校的需要，不可能完全適合所有老師的教學風格，使用CAI課本時，必定有些老師想對其作一些修改，現在大多數的老師都會成修改PowerPoint的東西。ppt的通用性很好，但它的功能有限，特別是智能化和互動性很差，權衡利弊，為了其通用性，我還是選擇了PowerPoin為CAI課本的載體，用其它軟件來解決智能化和互動性都很差的問題。由於CAI課本的內容兼顧了內地、本地、台灣三地的升大考試，所以其內容的通用性還是值得肯定的。

7 有較好的新意

CAI課本把教案和學案結合成課本是一個較為創新的做法，紙質課本很難做到這種效果，但是有電腦輔助就能夠做到了。CAI課本的教學內容設置兼顧三地升大考試，這也是一種新設想，香港的教材適合升讀台灣大學的需要，內地教材

適合升考內地大學的需要，澳門沒有整套的本土物理教材，本人的 CAI 高中物理課本也算是填補了這一空白吧。CAI 課本並不像一些電子課本那樣，只是把紙質課本的圖文變為電子檔，特別有新意的是 CAI 課本中的智能互動功能，它能判斷學生填入的文字是否正確，能引導學生根據課本給出的物理情景去思考、去理解和掌握學習的內容，這是啟發性學習或探究性學習的重要方法，現時市面上電子課本還缺少這些功能。課本能夠直接連結互聯網，利用網絡資訊學習，這是 CAI 課本的一項新舉措，這也是現時市面上電子課本還缺少的功能。

8 用資訊技術建立了討論平台

根據教學設計評委給予第一冊的評語中的建議，我利用 FaceBook 建立了學生與學生、學生與老師的溝通平台，在播放 CAI 課本的“畫龍點睛”時，點擊圖標就可直接連結到討論平台，進行互相學習，培養團隊精神。

9 CAI 課本是原創的

CAI 課本中的文字(53791 字)、美工、錄影(共計 7 段)、動畫或互動探究軟件(共計 65 個),除有“引用圖片”字樣(只有極少量)之外的圖片，都是原創的作品。

10 CAI 課本的版面和美工裝飾

CAI 課本的版面和美工裝飾都是自己設計的，設計的理念是養眼、有內涵、不喧賓奪主。第一冊的風格是荷花，荷花是澳門的區花，把相片裁剪、柔邊、半透明之後融入版面，凸顯了澳門的本土特色。第二冊的風格是中國傳統文化，版面中的石山、水池、錦鯉、回紋花邊等，都是中國古典美學的代表符號。第三冊的風格是太空，探索太空是現代尖端科技之一，版面中的太空動畫背景，可能會增加同學們對科學的求索興趣。CAI 課本的版面和美工裝飾與其它電子教學媒體相比，也算是中上之作。與專業美工作品相比，還有相當距離。

11 CAI 紙質課本

CAI 紙質課本有別於傳統的紙質課本。傳統的紙質課本是教學的綱領，它把需要向學生傳授的內容作了扼要的闡述，它指引教和學的方向。老師直接用它來教學，學生單單用它來學習，會覺得過於簡單、頗感困難；學生用它來複習，又會覺得不夠簡明扼要。CAI 課本已基本能成為老師上課和學生自學的工具了，如果把它的文字複製印在紙上成為 CAI 紙質課本，就沒有甚麼意義了。我決定把 CAI 紙質課本變為學案的一部分，把 CAI 課本的內容作了精心的刪減，剩下須知的、常用的知識點，以及這些知識點的精簡注釋，它就像一本詳細的學習筆記。學生用它溫習功課，不會覺得它太繁，也不會覺得過簡。CAI 課本播放檔和 CAI 紙質課本互補長短，相得益彰。

三 CAI 高中物理教學系統簡介

CAI 課本、練習冊、模擬實驗組成了本校的 CAI 高中物理教學系統，CAI 練習是一種互動電子媒體，它能判斷學生輸入的答案是否正確，對較難的習題設有逐步提示的功能，引導學生思考，完成練習，確認學生完成一節練習後便給予一

個密碼，老師根據密碼就知道學生是否完成作業。模擬實驗是模仿度較高的互動實驗，每個實驗都有預習、選取儀器、組裝實驗、實驗操作、記錄數據、寫實驗報告等互動環節。CAI 課本是 CAI 高中物理教學系統的一部分，從動筆到完稿，未間斷地歷時六年，幾經試教、修改和校對，終於完成了第一、第二和第三冊，經學校批准，已在高中年級的常規教學中使用。在所附的光碟提供了一節互動練習和一個模擬實驗供您了解。**CAI 練習冊、模擬實驗並不是本教學設計的參賽內容。**

高二年級物理教學進度表

上學期

周次	日期	教學內容	學生分組 實驗	備注
1	9月3日	開學		只有半天上課
2	9月5日 9月10日	第十四章 機械振動 第一節 振動 第二節 彈簧振子		10日放假
3	9月12日 9月17日	第十四章 機械振動 第三節 單擺 第四節 振動的位移圖象	用單擺測重力加速度	13日放假
4	9月19日 9月24日	第五節 受迫振動和阻尼振動 習題課 第十四章測驗		
5	9月26日 10月1日	第十五章 機械波 第一節 機械波的形成 第二節 波的圖象		1日放假
6	10月3日 10月8日	第十五章 機械波 第三節 波的傳播 第四節 波的疊加		3日、5日放假
7	10月10日 10月15日	第十五章 機械波 第五節 聲波 習題課	聲音的干涉和駐波	
8	10月17日 10月22日	第十五章測驗		19至22日校運會停課
9	10月24日 10月29日	第十六章 分子熱運動 專題探究活動：水波衍射		
10	10月30日 11月5日	第一段復習周 知識歸納 練習鞏固 拓展提高		
11	11月7日 11月12日	第一段考試		
12	11月14日	第十六章 分子熱運動	用油膜法	

	11 月 19 日	第一節 分子 第二節 分子力 第三節 固體液體氣體	測油分子直徑	
13	11 月 21 日 11 月 26 日	第十六章 分子熱運動 第四節 分子熱運動 第五節 熱膨脹 習題課		
14	11 月 28 日 12 月 3 日	第十七章 內能 第一節 內能 第二節 改變內能的方法 第三節 能量守恒定律		
15	12 月 5 日 12 月 10 日	第十七章 內能 第四節 熱機 習題課 第十六、十七章測驗		
16	12 月 12 日 12 月 17 日	專題實踐活動: 用紙或木做一個曲軸連桿裝置 第十八章 氣體 第一節 氣體的狀態參量		
17	12 月 19 日 12 月 24 日	第十八章 氣體 第二節 玻意耳定律 第三節 查理定律 蓋呂薩克定律 第四節 理想氣體狀態方程		20 日至 26 日放假
18	12 月 26 日 12 月 31 日	第十八章 氣體 第五節 理想氣體的內能 習題課 復習第六章 測驗	驗證玻耳定律	
19	1 月 2 日 1 月 7 日	第二段復習周 知識歸納 練習鞏固 拓展提高		2 日放假
20	1 月 9 日 1 月 14 日	第二段考試		

下學期

周次	日期	教學內容	學生分組 實驗	備注
1	2月6日 2月11日	第十九章 電場強度 第一節 電荷和帶電 第二節 庫侖定律		
2	2月13日 2月18日	第十九章 電場強度 第三節 電場強度 第四節 電場線		
3	2月20日 2月25日	習題課 第十九章復習 測驗		
4	2月27日 3月3日	第二十章 電勢和電勢差 第一節 電場力做功和電勢 第二節 電勢差 第三節 電勢差與電場強度		
5	3月5日 3月10日	第二十章 電勢和電勢差 第四節 電場中的導體 習題課	描繪等勢 線	8日放假
6	3月12日 3月17日	專題探究活動: 靜電除尘 第二十章復習 測驗		
7	3月19日 3月24日	第三段復習 知識歸納 練習鞏固 拓展提高		
8	3月26日 3月31日	26至28日第三段復習 29日開始第三段考試		
9	4月2日 4月7日	2日至3日第三段考試		4至7日 放假
10	4月9日 4月14日	第二十一章 不含電源的電路 第一節 電流 第二節 電阻定律		9日放假
11	4月16日 4月21日	第二十一章 不含電源的電路 第三節 電功和電功率 第四節 混聯電路	用伏安法 測電阻	
12	4月23日 4月28日	習題課 第二十一章復習 測驗		

13	4 月 30 日 5 月 5 日	第二十二章 含電源的電路 第一節 電池		30、1、4 日放假
14	5 月 7 日 5 月 12 日	第二十二章 含電源的電路 第二節 閉合電路 第三節 基爾霍夫定律	測量電源 的電動勢	
15	5 月 14 日 5 月 19 日	第二十二章 含電源的電路 第四節 電表		
16	5 月 21 日 5 月 26 日	習題課 第二十二章復習 測驗		
17	5 月 28 日 6 月 2 日	專題實踐活動: 裝安一個梯燈的電路		
18	6 月 4 日 6 月 9 日	第四段復習周 知識歸納 練習鞏固 拓展提高		11 日放假
19	6 月 11 日 6 月 16 日	第四段考試		

注：進度表的假日和考試均按學校頒佈的 11/12 年度校歷安排

教案

CAI 課本的播放部分就是一個很完整的教案和學案，憑着電腦的輔助，老師上課時播放 ppt 檔案就能很方便地、逐個知識點地進行講解和上課，完成教學任務。光碟中的播放檔才是教案主要部分。補充教案主要是指出了教學的重點和難點，明確教學時間的安排，解釋教學理念，以及一些小心注意的問題。補充教案，可以幫助新教師更好地理解 ppt 格式教案。習題課是用“CAI 練習冊”配合來上課的，並不是本設計的內容，所以這裡沒有教案。學生分組實驗是配合“CAI 模擬實驗”來預習，然後由驗老師帶領學生做實驗，並不是本設計的內容，所以這裡也沒有教案。

第十四章／第一節振動 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念：振動、平衡位置、位移、振幅、回復力、周期、頻率

(2)掌握技能：位移、回復力、速度、加速度的變化特點

2 培養能力

觀察和歸納能力

二 教學重點和難點

1 重點 掌握位移、回復力、速度、加速度的變化特點

2 難點 掌握位移、回復力、速度、加速度的變化特點

3 突破難點的方法 細心觀察模擬動畫找出變化特點，根據 $F=kX$ ； $F=ma$ 找出各量之間的聯繫。

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	引入	播放第 1,2 頁	
2	平衡位置、位移、振幅	播放第 3 頁	人教版教材沒有明確振動位移的定義，本教材明確振動位移是以平衡位置為參考點的位移。 請注意,位移的方向跟速度的方向是兩回事
3	回復力	播放第 4 頁	彈簧振子的回復是彈力，其它振動的回復力不一定是彈力
4	周期和頻率	播放第 5,6 頁	要強調,下一周期是完全重復上一周期的，再回平衡點不是一周期,再回幅值點是一周期
5	振動的變化規律	播放第 7 頁	指導學生仔細觀看動畫,找出規律,逐一

			填在表格中, 可分組共同完成 如果是每人一台平板電腦上課,則各自完成,電腦能作出一些智能互動. 通過這環節培養觀察和歸納能力
6	畫龍點睛	播放第 8,9 頁	
7	布置功課	基礎練習§1401	

第十四章／第二節彈簧振子 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

- (1)理解概念：彈簧振子 彈簧振子的周期和能量 簡諧運動
(2)掌握技能：運用周期公式 判斷是否簡諧運動

2 培養能力

培養透過表面看本質的分析能力

二 教學重點和難點

- 1 重點 彈簧振子的周期和能量
2 難點 簡諧運動

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	彈簧振子	播放第 1,2 頁	
2	彈簧振子的周期	播放第 3 頁	按各地教學大綱要求,周期公式不須推導.
3	彈簧振子的能量	播放第 4 頁	一般課本均不介紹 $E_{K1}+E_{P1}=E_{K2}+E_{P2}$, 其實這公式才是機械守恒的精髓,須讓學生理解.
4	簡諧運動	播放第 6 頁	
5	範例	播放第 7,8 頁	表面上看物體受力不是 $F=-KX$,但是找到新的平衡位置後,就有 $F=-KX'$ 了,通過該例教導學生不要被表面蒙蔽,培養透過表面看本質的分析能力
6	畫龍點睛	播放第 9,10 頁	要把振動的變化規律整體地溫習
7	布置功課	基礎練習§1402	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十四章／第三節單擺 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

- (1)理解概念： 單擺 周期 鐘擺
(2)掌握技能： 周期公式的綜合應用

二 教學重點和難點

- 1 重點 單擺 周期
2 難點 鐘擺
3 突破難點的方法 要講解好鐘擺與指針的走時關係

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	引入	播放第 1,2 頁	影片占時太長,老師應先看一次,上課時把不重要的部分略去.
2	單擺	播放第 3,4 頁	
3	單擺的周期	播放第 5,6 頁	按教綱要求,公式不須推導. 一般課本不介紹等效單擺. 由於要結合學案,所以我把習題中常見的特殊擺作了等效單擺的解釋.
4	範例	播放第 7,8 頁	
5	時鐘	播放第 9 頁	要詳細講解好鐘擺與指針的走時關係. 最好指出鐘擺其實是一種復擺,但在習題中我們往往把它簡化為單擺.
6	畫龍點睛	播放第 10 頁	
7	布置功課	基礎練習§1403	

第十四章／第四節振動的位移圖象 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

- (1)理解概念： 振動位移的函數和圖象 讀圖 畫圖
(2)掌握技能： 讀圖和畫圖方法

2 培養能力

培養學以致用的能力, 把學過的數學知識應用到物理中.

二 教學重點和難點

- 1 重點 振動位移的函數和圖象 讀圖 畫圖
2 難點 振動位移的函數和圖象
3 突破難點的方法 用模擬動畫把位移圖象和位移之間的對應關係展示出來。

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	位移的函數和圖象	播放第 1,2 頁	人教版課本用沙擺得出位移是正弦函數的結論,這種方式很牽強附會,只有用 CAI 課本採用的單位圓模擬動畫才能合理得出位移數是正弦函數的結論.
2	讀圖	播放第 3 頁	一定要學會讀出初狀態. 復習正弦函數, 把數學知識應用到物理上.
3	範例	播放第 4,5 頁	
4	畫圖	播放第 5,6 頁	強調要先找出初狀態的物理量. 只須掌握初狀態是零值點和幅值點的幾種情況的圖象. 復習正弦函數的作圖方法, 把數學知識應用到物理上.
5	範例	播放第 7 頁	
6	畫龍點睛	播放第 8,9 頁	
7	布置功課	基礎練習§1404	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十四章／第五節受迫振動 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念：受迫振動 共振 阻尼振動 無阻尼振動

(2)掌握技能：共振、阻尼的應用

2 培養能力

通過阻尼振動學習二分法的哲學觀點, “事物總是一分為二的,往往有利也有弊”

二 教學重點和難點

1 重點 受迫振動 共振

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	引入	播放第 1,2 頁	魚洗是一件很有趣的東西,體現中國古代人民的智慧
2	受迫振動和共振	播放第 3,4,5 頁	據經驗,有些學生可能難理解共振曲線,對它要講解得詳細一些.
3	阻尼振動和無阻尼振動	播放第 6,7 頁	阻尼是有害的,也是有利的. 老師要額外講多一點, 通過阻尼振動學習二分法的哲學觀點,學習如何化弊

			為利
4	畫龍點睛	播放第 8 頁	
5	布置功課	基礎練習§1405	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十五章／第一節機械波的形成 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 機械波的形成 縱波、橫波、簡諧波 波的周期、頻率、波長和波速。

(2)掌握技能： 波速公式的運用

2 培養能力

培養自學能力。動畫已把這節課的概念表達得很詳盡和明白了，可以交給學生自學。

二 教學重點和難點

1 重點 縱波、橫波、 波的周期、頻率、波長和波速

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	引入	播放第 1,2 頁	布置自學,培養自學能力.
2	機械波	播放第 3 頁	提問：甚麼是機械波?波中的質點如何運動?形成機械波的條件是甚麼?機械波傳播甚麼?
3	橫波和縱波	播放第 4,5,6 頁	提問：甚麼是縱波?舉例. 甚麼是橫波?舉例.各能在何種介質中傳播?甚麼是波峰、波谷、疏部、密部?
4	波源、介質和簡諧波	播放第 7 頁	提問：甚麼是波源、介質和簡諧波?
5	周期、頻率和波長	播放第 8,9 頁	提問：甚麼是周期、頻率和波長
	波速	播放第 10 頁	提問：甚麼是波速?同一介質中不同頻率的波速如何?不同一介質中的波速如何? 因為有些課本沒有提及 $v=s/t$ 公式,學生就不敢在波動中用這式,所以 CAI 課本定義了該公式為波速公式
6	畫龍點睛	播放第 11 頁	
7	布置功課	基礎練習§1501	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十五章／第二節波的圖象 補充教案

一 教學目標

- 1 學習知識：
 - 3 (1) 理解概念： 機械波的形成 縱波、橫波、簡諧波 波的周期、頻率、波長和波速。
波的圖象 讀圖 傳播法、振動法畫圖 比較波的圖象和振動位移圖象
 - (2) 掌握技能： 讀圖和畫圖的方法
- 2 培養能力
抽象思維能力 觀察和歸納能力

二 教學重點和難點

- 1 重點 讀圖 傳播法、振動法畫圖
- 2 難點 傳播法、振動法畫圖
- 3 突破難點的方法 用動畫把前一圖到後一圖的過程動起來，學生就易理解了

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	波的圖象	播放第 1,2 頁	波的圖象就是一幅照片，這個新穎的比喻十分傳神和形象，能讓學生一下子就明白了波圖象的抽象內涵
2	讀圖	播放第 3,4 頁	指導學生通過動畫的觀察、歸納、提煉而得出“前上後下”四字真言，從而培養觀察和歸納能力
3	範例	播放第 5 頁	
4	用傳播法畫圖	播放第 6,7,8 頁	通過第二方法，培養學生由上一周期而聯想到第 n 個周期的抽象思維能力
5	用振動法畫圖	播放第 9 頁	通過此法，培養學生由上一周期而聯想到第 n 個周期的抽象思維能力
6	畫龍點睛	播放第 10 頁	
7	布置功課	基礎練習§1502	

第十五章／第三節波的傳播 補充教案

一 教學目標

- 1 學習知識
 - (1) 理解概念： 波面、波前、波線 波的反射、折射、衍射 多普勒效應

(2)掌握技能： 多普勒公式的簡單應用

二 教學重點和難點

1 重點 衍射 多普勒效應

2 難點 多普效應

3 突破難點的方法 要掌握多普效應公式的推導過程和方法是比較難的，一般的教學大綱對這一知識點的要求不高，所以我們無須強求學生掌握到很深的程度，只要求學生知道聲源與人靠近時頻率變高，遠離時頻率變低，且懂得簡單應用公式就可以了。

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	波面、波前、波線	播放第 1,2 頁	只須知道這些概念就行了
2	波的反射	播放第 3 頁	作一般理解
3	波的折射	播放第 4 頁	作一般理解
4	波的衍射	播放第 5,6,頁	強調衍射是繞到障礙物背後，須掌握繞射的條件
5	多普勒效應	播放第 7,8,9 頁	從超連結的喇叭聲引入還是頗有趣的，不要推導公式 關於超連結的網上內容是多普勒效應的應用，最好能同學生講解，這是拓展學生視野的好知識
6	畫龍點睛	播放第 10 頁	
7	布置功課	基礎練習§1403	

第十五章／第四節波的疊加 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 波的疊加 波的獨立性 波的干涉 駐波 弦的駐波 氣柱的駐波

(2)掌握技能： 判斷能否產生干涉 簡單應用駐波的公式

2 培養能力

歸納推理能力

二 教學重點和難點

1 重點 波的干涉 弦的駐波 氣柱的駐波

2 難點 弦的駐波 氣柱的駐波

3 突破難點的方法 要復習數學歸納法

三 課時安排 2 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	引入	播放第 1,2 頁	
2	波的疊加	播放第 3 頁	主要是以定格的那一頁來說明疊加的原則。這知識只須知道,不須應用.
3	波的干涉	播放第 4,5,6,7 頁	着重掌握干涉的條件,干涉花紋,強、弱點的波程差,講強、弱點的波程差時,應帶一直尺,讓幾個學生上屏幕前分別數一數半波長再計算波程差,找出規律得出結果.培養歸納推理能力.
5	畫龍點睛	播放第 11 頁	
6	布置功課做功課	基礎練習§1504	鼓勵學生多提問
7	駐波	播放第 6,7 頁	駐波形成的動畫做得不錯,對理解駐波的形成有很大的幫助. 要復習數學歸納法,用歸納法推出駐波的公式.培養歸納推理能力.
8	畫龍點睛	播放第 11 頁	
9	布置功課做功課	基礎練習§1504	鼓勵學生多提問

第十五章／第五節聲波 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 聲波 次聲波 超聲波 聲速 聲波的反射、衍射、共振 聲音的三要素

(2)掌握技能： 應用聲速公式

2 能力培養

學習一些音樂知識,培養綜合素質

二 教學重點和難點

1 重點 聲速 聲波的反射

2 難點 聲音的三要素

3 突破難點的方法 聲音的三要素若用文字來表達，確實難以領會，但是，用聲音來表達，就可準確無誤了。用多媒體來突破難點。

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	聲波	播放第 1,2 頁	時間關係,男女超高音的視頻不能全播,只播放演唱高音那部分就好了

2	次聲波	播放第 3 頁	如果時間不夠,網上連結的內容就不展示了.
3	超聲波	播放第 4 頁	如果時間不夠,網上連結的內容就不展示了.
4	聲速	播放第 5 頁	提示學生,不同溫度的空氣的聲速是不同的.
5	聲波的反射、衍射、共鳴	播放第 6,7,8 頁	網上連結的內容比較有趣, 可以展示一下.
6	聲波的三要素	播放第 9,10,11,12 頁	點擊第 9 頁中的音箱能發出很標準的音階, 能直觀地理解甚麼是高音,甚麼是低音. 第十一頁的視頻能讓學生體會音品, 須播放一下,若時間不夠,只播開始的一小段就好了. CAI 課本才能做到這樣好的效果,其它課本就難以湊效了. 學習一些音樂知識, 培養綜合素質
7	畫龍點睛	播放第 12,14 頁	
8	布置功課	基礎練習§1505	

第十六章／第一節分子 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 阿伏伽得羅常量 摩爾數 分子數 分子質量 估算固、液體的分子直徑 油膜法

(2)掌握技能： 能應用分子數、分子質量和分子直徑等相關公式

2 培養能力

培養自主學習的能力

二 教學重點和難點

1 重點 分子數 分子質量 估算固、液體的分子直徑 油膜法

2 難點 分子數 估算固、液分子直徑

3 突破難點的方法 學生通過自主習獲得深刻的理解和記憶, 從而能靈活運用知識。

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	引入	播放第 1,2 頁	

2	阿伏伽得羅常量	播放第 3 頁	該量的含意學生很理解,CAI 課本用日常生活中的“打”比喻阿氏常量,學生一下就明白了
3	摩爾數	播放第 4 頁	摩爾數的計算學生有能力自己推導,要求學生通過互動智能軟件自己推導,培養學生的自主學習.
4	分子數	播放第 5 頁	摩爾數的計算學生有能力自己推導,要求學生通過互動智能軟件自己推導,培養學生的自主學習.
5	分子質量	播放第 6 頁	摩爾數的計算學生有能力自己推導,要求學生通過互動智能軟件自己推導,培養學生的自主學習.
6	範例	播放第 7,8 頁	
7	估算固、液體分子直徑	播放第 9,10,11 頁	有些課本的公式是 $R=(3M/4\pi\rho N_A)^{1/3}$,與 CAI 課本的 $D=(M/\rho N_A)^{1/3}$,在估算誤差內是允許的, $D=(M/\rho N_A)^{1/3}$ 還可用來計算氣體分子的平均距離.但 $R=(3M/4\pi\rho N_A)^{1/3}$ 不能.
8	油膜法	播放第 12 頁	
9	範例	播放第 13 頁	可結合化學的溶液知識來計算甘油的體積
10	畫龍點睛	播放第 14 頁	
11	布置功課	基礎練習§1601	

第十六章／第二節分子力 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 分子的引力和斥力 分子力

(2)掌握技能： 判斷分子力的性質

2 培養能力

培養自主學習的能力

二 教學重點和難點

4 重點 分子的引力和斥力 分子力

5 難點 分子力

6 突破難點的方法 學生通過自主習獲得深刻的理解和記憶，從而能靈活運用知識。

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	分子的引力和斥力	播放第 1,2,3,4 頁	
2	分子力	播放第 5,6 頁	分子力的性質學生有能力自己推理,要求學生通過互動智能軟件自己推出結果, 培養學生的自主學習.
4	畫龍點睛	播放第 11 頁	分子力變化一覽表可請幾個學生填寫
5	布置功課	基礎練習§1602	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十六章／第三節固體、液體、氣體 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 固體、液體、氣體、晶體、非晶體、液晶的分子和基本性質

2 培養能力

二 教學重點和難點

7 重點 晶體和非晶體的分子和基本性質

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	固體、液體、氣體	播放第 1,2 頁	要求學生知道就行了,無須深刻理解和應用.
2	晶體和非晶體	播放第 3, 4,5,6 頁	要求學生知道就行了,無須深刻理解和應用.
3	液晶	播放第 7,8 頁	要求學生知道就行了,無須深刻理解和應用.
4	布置功課	基礎練習§1603	
5	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十六章／第四節分子運動 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 布朗運動 解釋布朗運動 熱運動

(2)掌握技能： 用熱運動解釋熱現象

2 培養能力

培養論證能力

二 教學重點和難點

1 重點 布朗運動 解釋布朗運動 熱運動

2 難點 解釋布朗運動

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	布朗運動	播放第 1,2 頁	用連結的網上視頻復習擴散現象,然後引入布朗運動,
2	布朗運動的特點	播放第 3 頁	用動畫輔助講解效果很好
3	布朗運動說明了甚麼	播放第 4,5 頁	要注意論述用甚麼理由可以解釋布朗運動,是怎樣反過來證明分子運動是不停的無規的,從而培養學生的論證能力
4	熱運動	播放第 6 頁	要強調熱運動是大量分子的運動,不是個別分子
5	畫龍點睛	播放第 7 頁	
6	布置功課	基礎練習§1604	
7	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十六章／第五節熱脹冷縮 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 熱脹冷縮 固體的熱膨脹 液體的熱膨脹

(2)掌握技能： 熱膨脹公式的運用

二 教學重點和難點

1 重點 固體的熱膨脹 液體的熱膨脹

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	熱脹冷縮	播放第 1,2 頁	連結網上視頻的兩個實驗,如果學校有條件的話,能現場做實驗,效果會更好
2	固體的熱膨脹	播放第 3,4 頁	要提醒學生,固體的各條線都有熱膨脹
3	液體的熱膨脹	播放第 5 頁	
4	畫龍點睛	播放第 6 頁	
5	布置功課	基礎練習§1605	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十七章／第一節內能 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 溫度 分子動能 分子勢能 內能

(2)掌握技能： 溫標的換算 分析內能變化

二 教學重點和難點

8 重點 溫度 內能

9 難點 內能

10 突破難點的方法 易學難精，多練習吧

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	引入	播放第 1,2 頁	最好能現場做實驗
2	溫度	播放第 3,4 頁	掌握好三種溫標的換算,理解好 $\Delta T = \Delta t$, $T \neq t$.
3	範例	播放第 5 頁	
4	分子的動能	播放第 6 頁	要區分分子動能和動能
5	分子的勢能	播放第 7 頁	
6	內能	播放第 8 頁	重點是影響內能的宏觀因素
7	範例	播放第 9 頁	
8	畫龍點睛	播放第 10,11 頁	用表格來歸納問題是一很好的方法,不妨多用.
9	布置功課	基礎練習§1701	

第十七章／第二節改變內能的兩種方法 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 熱傳遞改變內能 做功改變內能 熱功當量

(2)掌握技能： 運用熱功當作計算

2 能力培養

教育學生，做科學研究要堅持不懈、持之以恆

二 教學重點和難點

1 重點 熱傳遞改變內能 做功改變內能 熱功當量

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
--	------	----	--------

1	熱傳遞改變內能	播放第 1,2 頁	可啟發學生多舉例
2	做功改變內能	播放第 3 頁	可啟發學生多舉例
3	熱功當量	播放第 4,5 頁	要強調:1 是等效,2 是原因不同,有必要用網上連結的視頻介歷時三十多年焦耳實驗,教育學生,做科學研究要豎持不懈,持之以恆.
4	畫龍點睛	播放第 6 頁	
5	布置功課	基礎練習§1702	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十七章／第三節能量守恒定律 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 熱力學第一定律 能量恒定律 永動機

(2)掌握技能： 簡單地運用熱力學第一定律和能量恒定律

2 培養能力

培養尊重科學的精神

二 教學重點和難點

1 重點 熱力學第一定律 能量恒定律

2 難點 熱力學第一定律 能量恒定律

3 突破難點的方法 易學難精，多練習吧

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	熱力學第一定律	播放第 1,2,3 頁	要解釋各物理量的正、負值的物理意義.以後也要注意,物理老師必須向學生解釋正、值所代表的物理意義,因為不同的物理量,其正、負值所表示的意義是不同的。
2	能量恒定律	播放第 4 頁	連結了網上關於建立能量守恒定律的資料,為了讓學生對定律有更好的理解,須了解這些資料.
3	範例	播放第 5 頁	
4	永動機	播放第 6 頁	這是拓展的知識,老師可酌情增減.通過學習讓學生明白,要尊重科學規律,不要再去永動機了,不要上當受騙.
5	畫龍點睛	播放第 7 頁	

6	布置功課	基礎練習§1703	
7	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十七章／第四節熱機 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 蒸汽機 內燃機 反衝式內燃機

二 教學重點和難點

1 重點 蒸汽機 內燃機 反衝式內燃機

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	蒸汽機	播放第 1,2 頁	連結網上的資料都很有趣,值得欣賞
2	內燃機	播放第 3,4 頁	主要講四衝程
3	反衝式內燃機	播放第 5 頁	連結網上的資料都很有趣,值得欣賞
4	畫龍點睛	播放第 11 頁	
5	布置功課	基礎練習§1704	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十八章／第一節氣體狀態參量 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 狀態參量和平衡態 氣體的體積 氣體壓強的成因 氣體壓強的單位及計算 被液體封閉的氣體的壓強 被活塞封閉的氣體的壓強

(2)掌握技能： 氣體壓強的單位及計算 被液體封閉的氣體的壓強 被活塞封閉的氣體的壓強

二 教學重點和難點

1 重點 氣體的體積 氣體壓強的單位及計算 被液體封閉的氣體的壓強 被活塞封閉的氣體的壓強

2 難點 氣體壓強的單位及計算 被液體封閉的氣體的壓強 被活塞封閉的氣體的壓強

3 突破難點的方法 細講多練

三 課時安排 2 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	狀態參量和平衡態	播放第 1,2 頁	人教版課本沒有交代平衡態,其實我們

			學都是平衡態的情況,如果不是平衡態,計算就完全不一樣了,所以我認為有必要交代平衡態這概念
2	氣體的體積	播放第 3 頁	
3	氣體壓強的成因	播放第 4 頁	動畫很能說明問題
4	氣體壓強的單位及計算	播放第 5,6 頁	用互動智能動畫學習氣體壓強單位的換算是很重要的,學會了這些換算,舉一反三,其它物理量的換算就學會了
5	畫龍點睛	播放第 15 頁	
	布置功課	基礎練習§1801	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題
7	被液體封閉的氣體的壓強	播放第 7~11 頁	很多課本對此講得很簡單,學生未能熟練掌握,但是這知識是很重要的,壓強往往是解題的關鍵,所以 CAI 課本作了很詳盡的講解,並總結出獨有的公式 $P_{\perp} = P_{\text{下}} - \rho gh$,這是個很實用的公式.
8	練一練	播放第 12 頁	智能互動練很好用
9	被活塞封閉的氣體的壓強	播放第 13,14 頁	其實這是一個經典力學問題,解問題的步驟為: 選定研究對象(憑經驗), 作受力析, 列力的平衡方程, 解出所求.
10	畫龍點睛	播放第 15 頁	
11	布置功課	基礎練習§1801	
12	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十八章／第二節玻爾定律 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 玻爾定律 等溫圖線(象)

(2)掌握技能： 運用玻爾定律 讀圖 畫圖

2 培養能力

培養數集據,分析數據的能力 運用數學知識的能力

二 教學重點和難點

1 重點 運用玻爾定律 讀圖 畫圖

2 難點 運用玻爾定律

3 突破難點的方法 易學難精，多做一些練習吧

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	玻爾定律	播放第 1~6 頁	利用動畫教學生怎樣收集數據,把數據列表,分析數據,得出結論.培養以上的能力 學生很易犯以下錯誤,甲變大時乙變小,則甲與乙成反比.要注意糾錯
2	等溫曲線	播放第 7,8,9 頁	一般課本說的曲線也就是圖象,結合函數圖象的知識來教,培養運用數學知識的能力
3	範例	播放第 10~14 頁	三個定律中最難的是這定律,所以要講多些例題,如果時間不夠,可以把一些例題放到下一節的習題課中講.
4	畫龍點睛	播放第 11 頁	
5	布置功課	基礎練習§1802	

第十八章／第三節查里定律 蓋里薩克定律 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 查里定律 蓋里薩克定律

(2)掌握技能： 運用查里定律、蓋里薩克定律

2 培養能力

運用數學知識的能力

二 教學重點和難點

1 重點 查里定律 蓋里薩克定律

2 難點 查里定律 蓋里薩克定律

3 突破難點的方法 易學難精，多做一些練習吧

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	查里定律	播放第 1,2,3 頁	用動畫講解實驗是怎樣做的 一般課本不講第(3)式,其實該式在解題時,往往很有用.
2	等容曲線	播放第 4,5 頁	結合函圖象的知識來教,培養運用數學知識的能力
3	範例	播放第 6,7 頁	
4	蓋里薩克定律	播放第 8,9 頁	用動畫講解實驗是怎樣做的 一般課本不講第(6)式,其實該式在解題

			時,往往很有用.
5	等壓曲線	播放第 10,11 頁	結合函圖象的知識來教,培養運用數學知識的能力
6	畫龍點睛	播放第 12 頁	九種曲線按類別排列,互相關聯,相互對比,便於溫習.
7	布置功課	基礎練習§1803	

第十八章／第四節理想氣體狀態方程 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 理想氣體 控制變量法 理想氣體狀態方程 克拉珀龍方程

(2)掌握技能： 應用理想氣體狀態方程和克拉珀龍方程

2 培養能力

學習控制變量法 培養邏輯推理的能力

二 教學重點和難點

1 重點 理想氣體狀態方程 克拉珀龍方程

2 難點 理想氣體狀態方程 克拉珀龍方程

3 突破難點的方法 細講多練

三 課時安排 2 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	理想氣體	播放第 1,2 頁	其實理想氣體的內涵還有許多,但中學生很難理解,就把它們省略了吧.
2	控制變量法	播放第 3 頁	控制變量法是科學研究的常用方法,三個氣體定律都是用這方法來研究成功的,應把這方法專門介紹給學生
3	理想氣體狀態方程	播放第 4 頁	是三個氣體定律的合,能替代它們.要講清楚公式中的單位該如何用.
4	範例	播放第 5,6 頁	
5	畫龍點睛	播放第 10 頁	
6	布置功課	基礎練習§1804	
7	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題
8	克拉珀龍方程	播放第 7 頁	引導學生用理想氣體狀態方程推導出克拉珀龍方程. 培養邏輯推理的能力
9	克拉珀龍方程的推論	播放第 8 頁	引導學生用克拉珀龍方程得出推論

			培養邏輯推理的能力
10	兩個方程的對比	播放第 8 頁	兩方程相似，在哪種情況下該用哪個方程呢？對比一下就知了？用表格作對比往往很有效。
11	範例	播放第 9 頁	
12	畫龍點睛	播放第 10 頁	
13	布置功課	基礎練習§1804	
14	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十八章／第五節理想氣體的內能 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 理想氣體的內能 等溫過程 等容過程 絕熱過程 等壓過程

(2)掌握技能： 懂得分析四種過程的內能變化和功、能的計算

2 培養能力

培養分析推理能力

二 教學重點和難點

1 重點 等溫過程 等容過程 絕熱過程 等壓過程

2 難點 等溫過程 等容過程 絕熱過程 等壓過程

3 突破難點 細講多練

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	理想氣體的內能	播放第 1,2 頁	
2	等溫過程	播放第 3 頁	詳細解釋和引導學生分析等溫的實質是甚麼,應用第一定律後可得出甚麼結論. 培養分析推理能力
3	等容過程	播放第 3 頁	詳細解釋和引導學生分析等容的實質是甚麼,應用第一定律後可得出甚麼結論. 培養分析推理能力
4	絕熱過程	播放第 4 頁	詳細解釋和引導學生分析絕熱的實質是甚麼,應用第一定律後可得出甚麼結論. 培養分析推理能力
5	等壓過程	播放第 5 頁	主要掌握功的計算
	範例	播放第 6~10 頁	概念比較抽象,要多舉例,多練.
6	畫龍點睛	播放第 11 頁	

7	布置功課	基礎練習§1805	
---	------	-----------	--

第十九章／第一節電荷和帶電 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 元電荷 電中和 帶電 驗電器 摩擦起電 傳導帶電 感應起電 電荷守恒定律

二 教學重點和難點

1 重點 元電荷 電中和 帶電 驗電器 摩擦起電 傳導帶電 感應起電 電荷守恒定律

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	元電荷	播放第 1,2 頁	
2	電中和 帶電	播放第 3 頁	CAI 課本特別闡明了淨電荷和電荷的概念.
3	驗電器	播放第 4 頁	
4	摩擦起電	播放第 5 頁	如果認為有必要,可以把順序表提供給學生,表中兩物體摩擦,順序在前的物體帶正電,在後的帶負電.
5	傳導帶電	播放第 6 頁	動畫能說明傳正電和傳負電的原理是不同的
6	感應起電	播放第 7 頁	用動畫講清楚感應體離開電場時怎樣才能帶電
7	電荷守恒定律	播放第 8 頁	
8	畫龍點睛	播放第 9 頁	
9	布置功課	基礎練習§1901	
10	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十九章／第二節庫侖定律 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 點電荷 扭秤 庫侖定律

(2)掌握技能： 應用庫侖定律

2 培養能力

了解建立簡化模型的科研方法

二 教學重點和難點

- 1 重點 庫侖定律
- 2 難點 應用庫侖定律
- 3 突破難點的方法 要結合力學知識和數學知識

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	點電荷	播放第 1,2 頁	點電荷和質點都是物理學中的簡化模型。為了把複雜問題簡化,先為問題建立一個簡化的模型,然後用這模型去研究,使問題可解決,得出的結果跟實際檢測結果相差無幾,大家就會接受這個理想化的模型和結果。這是科研的常用方法, 應該讓生了解這種科研方法
2	庫侖定律	播放第 3,4,5 頁	
3	範例	播放第 6,7,8,9 頁	單純庫侖定律的習題運用學知識就可解決了。綜合的庫侖定律題都是與力學有關的問題,所以解題時應作受力分析,列平衡方程或動力學方程,再加入庫侖定律來解題。
4	畫龍點睛	播放第 10 頁	
5	布置功課	基礎練習§1902	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第十九章／第三節電場 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 電場 場源電荷和探測電荷 電場強度 電場的疊加
勻強電場 電場線

(2)掌握技能： 運用電場強度的公式 場強疊加的方法 運用電場線知識

2 培養能力

培養自主學習能力

二 教學重點和難點

- 1 重點 電場強度 電的疊加 電場線
- 2 難點 電的疊加 電場線
- 3 突破難點的方法 細講多練

三 課時安排 2 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	電場	播放第 1,2,3 頁	CAI 課本特別解釋了靜電場的概念
2	場源電荷和探測電荷	播放第 4 頁	注意, 探測電荷有別於檢驗電荷.
3	電場強度	播放第 5,6,7,8 頁	點電荷的電場是習題中常遇到的電場, 了解和熟悉它的特點很有必要,課本製作了互動智能動畫供學生自主習,很效果, 動畫能培養學生的自主學習能力
4	畫龍點睛	播放第 15 頁	
5	布置功課	基礎練習§1903	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題
7	場強的疊加	播放第 9 頁	強調跟力的合成的運算是一樣的
8	範例	播放第 10 頁	
9	勻強電場	播放第 11 頁	
10	電場線	播放第 12,13,14 頁	要學會讀和畫常見的電場線. 電場線又叫做電力線
11	畫龍點睛	播放第 15 頁	
12	布置功課	基礎練習§1903	
13	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第二十章／第一節電場力做功和電勢 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 電場力做功 電勢能 電勢能的變化 電勢 點電荷的電勢 電勢的疊加 等勢面

(2)掌握技能： 判斷做功和電勢能變化的關係, 電勢的計算和疊加

二 教學重點和難點

1 重點 電勢能的變化 電勢 點電荷的電勢 電勢的疊加

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	電場力做功	播放第 1,2,3,4 頁	可以復習重力做功的特點. CAI 課本特別提出了:順電場力移動和逆電場力移動這種說法
2	電勢能	播放第 5 頁	注意零電勢能處的約定

3	電勢能的變化	播放第 6 頁	可以與重力做功和重力勢能類比
4	電勢	播放第 7 頁	要重復講特點,讓學生容易記住
5	點電荷的電勢	播放第 8 頁	公式不須推導
	電勢的疊加	播放第 9 頁	電勢的疊加是代數和,不是矢量和
6	等勢面	播放第 10 頁	記住這幾種等勢面
7	畫龍點睛	播放第 11 頁	
8	布置功課	基礎練習§2001	

第二十章／第二節電勢差 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

- (1)理解概念： 電勢差 電壓 電壓跟做功的關係 電勢和電場線
(2)掌握技能： 掌握電勢差、電壓、電壓跟做功的關係的計算 由電場線讀出電勢

2 培養能力

培養邏輯推理能力

二 教學重點和難點

- 11 重點 電勢差 電壓 電壓跟做功的關係 電勢和電場線
12 難點 電壓跟做功的關係
13 突破難點的方法 細講多練

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	電勢差	播放第 1,2,3 頁	學生用互動智能動畫分析推導出電勢差的各種特點,既理解得好,又記得牢. 動畫能培養邏輯推理能力.
2	電壓	播放第 4 頁	很多課本都沒有明確電壓和電勢差的區別.
3	電壓跟做功的關係	播放第 5 頁	要講好 $ W =U q $ 和 $W_{ab}=U_{ab}q$ 區別和用法.
4	電勢和電場線	播放第 6 頁	要熟練掌握.
5	範例	播放第 7,8,9 頁	
6	畫龍點睛	播放第 10 頁	
7	布置功課	基礎練習§2002	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第二十章／第三節電勢差和電場強度 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 電勢差和電場強度 電場強度跟電勢的比較

(2)掌握技能： 運用電勢差和電場強度的計算

二 教學重點和難點

1 重點 電勢差和電場強度

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	電勢差和電場強度	播放第 1,2 頁	電場強度和電勢差是從兩個不同角度分析電場的結,既不同,又有關聯,正所謂:橫看成嶺側成峰,遠近高低各不同.
2	電場強度跟電勢的比較	播放第 3 頁	版面比較密,沒辦法!如果把它們分開兩版,就不好比較了.
3	範例	播放第 4,5 頁	
4	畫龍點睛	播放第 6 頁	
5	布置功課	基礎練習§2003	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第二十章／第四節電場中的導體 補充教案

一 教學目標

1 學習知識 靜電平衡 尖端放電 靜電屏蔽

(1)理解概念： 靜電平衡 尖端放電 靜電屏蔽

(2)掌握技能： 理解靜電平衡

二 教學重點和難點

1 重點 靜電平衡 靜電屏蔽

2 難點 靜電平衡

3 突破難點的方法 設計了多幅圖片來幫助闡述

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	靜電平衡	播放第 1,2,3,4 頁	很難用動畫表達,只好用多幅圖片表示,幸好圖能達意 要學生記住特點
2	尖端放電	播放第 5,6 頁	連結網上的視頻很好看,很有趣,值得一

			看
3	靜電屏蔽	播放第 7,8 頁	錄像能說明屏蔽的現象,動畫能說明屏蔽的原理,各有千秋. 連結網上的視頻很好看,很有趣,值得一看
4	畫龍點睛	播放第 9 頁	
5	布置功課	基礎練習§2004	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第二十一章／第一節電流 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 電流、導體、絕緣體 電流的方向 形成電流的條件 電流強度 電荷的定向移動速度

(2)掌握技能： 判斷電流方向 運用電荷的定向移動速度公式

2 培養能力

了解“透過表面看本質”的方法

二 教學重點和難點

1 重點 電流的方向 電流強度 電荷的定向移動速度

2 難點 電荷的定向移動速度

3 突破難點的方法 要講清楚電荷體密度 n 的概念

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	電流、導體、絕緣體	播放第 1,2 頁	
2	電流的方向	播放第 3 頁	電流方向的定義與日常生活經驗不一樣,科學的定義比生活經更合理、更能表達事物的本質,教導學生,要注意”透過表面看本質”的問題
3	形成電流的條件	播放第 4,5,6 頁	模擬動畫能形象地讓學生明白電子的熱運動速度和定向運動速度這兩回事.
4	電流強度	播放第 7 頁	
5	範例		
6	電荷的定向移動速度	播放第 8,9 頁	要講清楚電荷體密度 n 的概念和 $v=l/t$,
7	範例		
8	畫龍點睛	播放第 10 頁	
9	布置功課	基礎練習§2101	

第二十一章／第二節電阻律 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 歐姆定律 電阻 電阻定律 電阻率 電阻器 超導現象

(2)掌握技能： 應用電阻定律公式

二 教學重點和難點

1 重點 歐姆定律 電阻 電阻定律 電阻率

2 難點 電阻定律

3 突破難點的方法 不太難，多練習吧。

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	歐姆定律	播放第 1,2 頁	歐姆定律初中已學,重點是講線性導體
2	電阻	播放第 3,4 頁	電阻初中已學過,重點是講: R 不跟電壓成正比,不跟電流成反比。 R 的大小是由導體本身的情況而決定的。
3	電阻定律	播放第 5 頁	這是一個實驗定律, 復習控制變量法
4	電阻率	播放第 6,7,8 頁	要求學生記熟特點
5	電阻器	播放第 9 頁	一般介紹
	超導現象	播放第 10,11 頁	與網上連結的兩個視頻頗有趣,值得一看
6	畫龍點睛	播放第 12 頁	
7	布置功課	基礎練習§2102	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第二十一章／第三節電功和電功率 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 電功 電功率 電能的轉化 焦耳定律 純電阻電路

(2)掌握技能： 掌握上述的所有計算

二 教學重點和難點

1 重點 電功 電功率 電能的轉化 焦耳定律 純電阻電路

2 難點 電能的轉化 純電阻電路

3 突破難點的方法 細講多練

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	電功	播放第 1,2 頁	學生要知道“電流在電路中做了多少功，電路就消耗了多少電能，”因為習題常會問“電路消耗了多少電能”。
2	電功率	播放第 3 頁	
	範例	播放第 4 頁	
3	焦耳定律	播放第 5 頁	
4	電能的轉化	播放第 6,7 頁	也可以增加 $P_{\text{機}} = W_{\text{機}}/t = Fv$ 的內容
5	純電阻電路	播放第 8 頁	公式較長,難背.可提示學生,第一式是由焦耳定律經歐姆定律推出,第二式是由第一式推出,這樣就不用背了。
6	範例	播放第 9 頁	
7	畫龍點睛	播放第 11 頁	
8	布置功課	基礎練習§2103	

第二十二章／第一節電池 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 電池 電池的工作原理 電池的內阻 內、外電壓 電動勢 電池的連接

二 教學重點和難點

1 重點 電池的工作原理 電池的內阻 內、外電壓 電動勢 電池的連接

2 難點 電動勢

3 突破難點的方法 電動勢是很抽象、很難理解的概念。按教學大綱，無須要求太高

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	電池	播放第 1,2 頁	
2	電池的工作原理	播放第 3 頁	人教版課本沒有詳細介紹電池的工作原理,學會難理解電動勢和閉歐定律,為此 CAI 課設計了動畫,詳細地介紹了蓄電池的工作原理。
3	電池的內阻,內、外電壓	播放第 4 頁	

4	電動勢	播放第 5 頁	
5	電池的連接	播放第 6,7 頁	
6	畫龍點睛	播放第 8 頁	
7	布置功課	基礎練習§2201	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第二十二章／第二節閉合電路歐姆定律 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

- (1)理解概念： 閉合電路歐姆定律 外電壓 電源的功率
(2)掌握技能： 掌握閉合電路歐姆定律、外電壓、電源的功率的計算

2 培養能力

運用數學技巧的能力 自主學習能力

二 教學重點和難點

- 1 重點 閉合電路歐姆定律 外電壓 電源的功率
2 難點 閉合電路歐姆定律 外電壓 電源的功率
3 突破難點的方法 多舉例、多練習

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	閉合電路歐姆定律	播放第 1,2 頁	要求學生記熟定律的另外的幾種形式,以求靈活運用.
2	範例	播放第 3,4 頁	
3	外電壓	播放第 5,6 頁	CAI 課本設計的互動智能動畫,可幫助學生自主學習,通過動畫,學生可以輕鬆地找到外電壓的特點,加深對它的理解
4	電源的功率	播放第 7 頁	求電源的最大輸出功率,需要運用數學的插項、裂項等技巧,如能啟發學生自己運用這些技巧,可以培養運用數學技巧的能力.
5	範例	播放第 8,9,10 頁	
6	畫龍點睛	播放第 11 頁	
7	布置功課	基礎練習§2202	

第二十二章／第三節基爾霍夫定律 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 專用名詞 節點定律 回路定律 惠斯通電橋

(2)掌握技能： 應用節點定律、回路定律

二 教學重點和難點

1 重點 節點定律 回路定律

2 難點 節點定律 回路定律

3 突破難點 定律是比較難的，因教網要求只作一般理解，所以只要求學生作最簡單應用就可以了

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	專用名詞	播放第 1,2 頁	
2	節點定律	播放第 3 頁	
3	回路定律	播放第 4,5,6 頁	
4	惠斯通電橋	播放第 7 頁	
5	畫龍點睛	播放第 11 頁	
6	布置功課	基礎練習§2203	
7	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

第二十二章／第四節電表 補充教案

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解概念： 電流表 電壓表 伏安法測電阻 多用表

(2)掌握技能： 掌握電表擴量程的計算 掌握多用表的使用 掌握伏安法的誤差

2 培養能力

培養自主學習的能力 培養動手能力

二 教學重點和難點

1 重點 電流表 電壓表 多用表 伏安法測電阻

2 難點

3 突破難點的方法

三 課時安排 2 課時

四 教學過程

	教學內容	演繹	解釋教學理念
1	電流表	播放第 1,2,3 頁	電流表的工作原理只須知道就行了,重點講擴量程.要注意講好滿偏電流與擴

			量後滿偏電流的意義和關係
2	電壓表	播放第 4 頁	要注意講好滿偏電壓與擴量後滿偏電壓的意義和關係
3	伏安法測電阻	播放第 5,6,7 頁	CAI 課本設計的互動智能動畫,可幫助學生自主學習,通過動畫,學生可以輕鬆地探究伏安法產生誤差的原因和結果,從而知道測量器具往往會改變被測對象的狀態,產生誤差,想辦法以及找出減少誤差的途徑.
4	範例	播放第 8,9 頁	
5	畫龍點睛	播放第 21 頁	
6	布置功課	基礎練習§2204	
7	多用表	播放第 10~20 頁	結合 CAI 模擬實驗軟件進行學習,用軟件進行使用的練習,覺得已掌握了使用方法後,就可以給學生一台萬用表進行實際作. 培養動手能力
8	畫龍點睛	播放第 21 頁	

試教評估

CAI 課本共三冊，共用了六年的時間來編寫和試用。第二冊於 2012/2013 學年度被學校定為高中二年級正式使用的物理課本，在此期間，三個班的學生用 CAI 課本進行了學生自主學習的試驗課，另外還有一個班的學生用 CAI 模擬物理實驗進行了自主學習的試驗課。課後召開了一次學生座談會以及問卷調查，召開了兩次關於用 CAI 課本教學的物理老師座談會。

一 教師對 CAI 課本的評議

老師們在座會積極發言，無所不談，暨道出 CAI 了課本第二冊的長處，也指出了不足的地方，更加發表了對資訊教學的多方面見解。由於 CAI 課本的第二冊跟第一冊是一脉相承的，所以老師們對第二冊的評論跟第一冊的評論有很多相似的地方。綜合老師們的發言得到如下的主要肯定。(1)CAI 課本的設計理念和方向是正確和先進的。(2)課程設置很符合本校的實情。(3)能提高教學效率，有些老師完全用 CAI 課本播放檔上課，有些老師是部分使用。(4)能用多種方式展示教學內容，文字敘述詳細、淺白、有適當的重復但不累贅，使學習變得容易。(5)演示實驗錄影的選題和設計很恰當，能說明教學問題，對理解知識很有幫助。(6)動畫設計得很精妙，能使抽象的問題變得形象，特別是互動動畫很有創意，對實施課堂的探究性學習很有對幫助。(7)運用資訊技術的水平比較高，在課本中直接利用網上資訊的方法，很值得提倡。(8)課本整體比較美觀。(9)能節省老師的備課時間。(10)對物理教學經驗不足的老師對幫很大。(11)闡述得很明白，例題很多，有利於學生的自主學習。(12)課本內容能兼顧三地升大考試的需。老師們還提出了以下的建議。(1)版面中裝飾的燈籠過於閃動，用扇子動畫顯示標題不清楚，會影學生的注意力。(2)建議修改幾個動畫(3)建議調動某些知識點的講授順序。(4)指出了全書中多處的筆誤，有些是錯、漏別字，有些是設錯符號的上標或下標，有些是數字打錯。(5)老師們看過第一冊的參考教案之後認為，如果能對 CAI 課本的一些教學理念作扼要說明，老師就能更深入理解課本的設計理念，能更好地實施教學理念。(6)建議建立網上參考資料庫，收集大量的網上教學資源，把這些資源分類羅列，提供關鍵字，做好超連結。對於上述(1)至(5)，本人已接納，且作出了改進。第(6)點，由於工作量太大，非一人之力所能完成，希望以後聯同其他同事共同完成這個建議，或在學校或在政府的組織下完成這個建議。

二 學生對 CAI 課本的反饋

在使用 CAI 課本第二冊教學的期間，有三個班的學生用 CAI 課本進行了學生自主學習的試驗課。上課時每個學生都配備一台平板電腦作上課用，教學內容是各一節書(每班不同)，學生先用課本自學，老師巡堂指導學生自學、回答個別學生提出問題，然後學生用 CAI 練習冊自己做練習，最後做一個小測驗，每班用

的課時是 2 至 3 課時。

問卷調查的統計結果如下：

(1)你覺得這次的學習容易嗎？

很難(3%) 難(11%) 一般(52%) 容易(28%) 很容易(6%)

(2)你覺得你對這次學習的內容明白了嗎？

很不明白(0) 不明白(9 人) 一般明白(54%) 完全明白(37%)

(3)你覺得這個課件的操作方便嗎？

很不方便(0) 不方便(4%) 一般(57%) 方便(39%) 很方便(0)

(4)你覺得這種學習方式比傳統的學習方式好嗎？

很不好(0) 不好(26%) 一般(38) 好(32) 很好(4%)

(5)你使用了超連結上網觀看參考內容了嗎？

完全沒有(0) 用了很少(8%) 用了很多(81%) 都用了(11%)

(6)你覺得超連結上網觀看的參考內容有用嗎？

完全沒有(0) 沒甚麼用(7%) 有用 (72%) 很有用(21%)

測驗結果統計如下：

30 分以下(0) 31 至 40 分(2%) 41 至 50 分(4%) 51 至 60 分(10%)
61 至 70 分(36%) 71 至 80 分(35%) 81 至 90 分(11%) 91 至 99 分(2%)
100 分(0)

通過座談，同學們主要有以下的反饋。(1)所有的同學都很期待能用平板電腦上所有的課。知道要用平板電腦上物理試驗時，多班同學都積極爭取上試驗課。(2)希望 CAI 課本能更生動有趣一些，比如像看卡通片一樣、像打遊戲，能配好聽的音樂。(3)能即時上網與同學和老師溝通(4)學習上仍有困難，希望能更容易學習。(5)希望內容更豐富些，增加一些選學的內容。(6)提出若干疑問(7)約有 1/4 的學生覺得老師講課要比用 CAI 課本自學要好，有 1/5 的學生持相反意見。

座談會的發言還算熱烈，很感謝學們的支持。對於第(1)的建議，學校正在努力。對於第(2)建議：製作卡通或遊戲有很大的難度，暫難實現；至於配音樂，我覺得靜一些，學習會更安心一些，另外，採用它人音樂可能會侵權，若自己作曲演奏，則難度很大。對於第(3)，已作改進。第(4)和第(5)建議，今後會不斷改進。對於第(6)建議，部分已向同學們解釋，部分已作更正。對於第(7)點，原因是這樣的，1/4 學生認為聽老師講比自學會舒服些、動腦少些；1/5 學生認為學習的進度和節奏可以自己掌握，能鍛練自己的思維能力；如果能把 CAI 課本做得更吸引學生，更容易自學，讓學生漸漸習慣，這問題定可解決。

三 教學設計獎勵計劃的評委對 CAI 課本第一冊的評語及改進

CAI 課本第一冊參加了“教學設計獎勵計劃”的活動，評委也給予改進的建議，很感謝評委一針見血地道出了不足之處。根據學生的建議和評委的評語，本人用“Face Book”構建了一個臨時討論平台，供師生發言、提問和作答。根據學校的工作計劃，將會聘請專業公司構建更高水準的溝通平台，相信這個平台能更便捷地

進行文字、圖片、動畫和視頻等訊息的溝通。評語中指出 video 需插入字幕, 本人為每個演示實驗的 video 視頻都新插入了標題文字, 碰巧第二冊的幾個 video 的中間部分沒有找到合適插入文字的地方, 所以就沒有在 video 中間插入其它東西, 而在第一冊的 video 中有需要的地方加插了文字或其它東西。評語中指出動態模擬和互動模擬不足, 雖然在 CAI 模擬實驗中有較多的動態模擬和互動模擬, 但在 CAI 課本中卻沒有動態模擬和互動模擬, 只有互動探究, 增加動態模擬和互動模擬的內容是我今後重點改進的課題。由於收到評語已是 6 月份, 所以想在這方面加以改進, 以經沒時間了, 很抱謙! 附錄評委評語如下:

教案類:

參賽作品是一個關於高一年級物理的電腦輔助教學(CAI)的學年教案, 包括 13 章的教學內容。從作者提供的 CAI 課本(播放部分和紙質部分)來看, 作品結構清晰、內容充實完整、教學理念新穎、教學方法多樣, 反映了作者獨到的教學理念和良好的教學設計能力, 也反映了作者積極地把現代教育技術融合於物理教學的興趣和熱忱。

客觀地講, 現代資訊技術和手段已經較為普遍地應用於本澳的理科教學之中, 但是, 系統地、完整地把它與整學年的教學內容結合起來並不多見。從這個意義上來說, 這是一個整合資訊技術與物理教學的典範之作。作品的突出特點是把學生的學習放在突出的地位。例如, 在教學設計的理念上遵循學生的認知規律, 自覺地把教育與教學理論應用於教學實踐當中; 在教材內容的組織上將兩個方案(教案和學案)合二為一, 便於學生學習和複習; 在內容的呈現上, 注意圖文並茂、生動有趣, 引起學生的學習興趣; 在學習目的上兼顧三地(本地、內地、臺灣)升學的需要, 等等。

此外, 作者能夠結合教學實際對整個教學設計做出深入的反思與分析, 既能總結優點和經驗, 也不回避問題, 指出不足之處。最後, 建議作者針對學生和同事的回饋意見繼續修改, 並完善這個教學方案, 使之更加完美並具有推廣價值。

資訊科技應用獎:

IT 輔助教學方面略嫌不足, 如動態模擬、互動模擬、網上交流的設置、video 加入字幕、內容排版及整體組織性等。知識全面, 具參考價值, 製作質量較高。

反思與建議

有人說，電腦和網絡為人類帶來了第三次工業革命。此話不假，由於商業競爭和利潤的驅使，社會上各行業均高度地利用了電腦和互聯網，使工作效率得到數倍乃至數十倍的提高，只有教育這個沒有即時利潤的行業才未高度利用它們。教學的電腦化、網絡化和資訊化(簡稱三化)是各國政府和教育部門的重要和迫切的工作之一。我祈望澳門在這方面能比其它地方做得出色，從而使澳門的教育也比其它地方出色。

對於 CAI 課本，自我感覺還算不錯，但是它還存在很多不足的地方，離我心目中的要求相差天壤，它對學生的吸引力遠遠不如電子遊戲，學生用它自學還頗為不便，它簡直就是滿身缺陷的初生嬰兒，生死難卜，需要很多呵護才能長大。我希望每個學生能有一台電腦。在他們的電腦上有像電子遊戲那樣的 CAI 課本，死死地吸引學生去“玩”它，學生在愉快的玩樂中就高效率地自己學會了知識，老師的主要工作不是講課，而是研究課程設置和傳授方式，為每一個學生訂立不同的學習計劃，一對一地輔導有需要的學生，這樣的話，就能解開現代教學的“批發”式和“倒模式”的死穴了。我還希望學生的電腦中有更好的 CAI 練習冊和 CAI 試題，學生可用電腦和互聯網與同學和老師切磋和交流，來做功課、交功課、測驗和考試，電腦會自動批改和分析試卷。我還希望在浩瀚的互聯網的資源中撈取學生需要的養分，建立營養品庫，按需供給學生，讓學生茁壯成長。十年前，上述的希望是夢想，但今天電腦軟件和互聯網成熟得多了，不需要投入太多的資金，就是可夢想成真。CAI 教學系統作了可行性的嘗試，它嗅到了一點兒果香味，要想吃到果實，還差很遠。它的努力只是滄海中的一滴水，以一人之力實現夢想，猶如螳臂擋車不自量力，如果大家都來努力，教育部門做統籌，政府做後盾，我相信定可愚公移山。

澳門教育實現三化之日，便是澳門教育騰飛之時。

參考文獻

- 1 人民教育出版社/高中物理實驗教材(甲種本)
- 2 人民教育出版社/新課標/高中物理課本
- 1 香港文達出版社/物理課本
- 2 物理小辭海(海河大學出版社)
- 3 中學物理教師手冊(上海教學出版社)
- 4 澳門大學升學指南
- 5 中國高等學校海外招生聯合考試大綱
- 6 暨南大學/華僑大學海外聯合招生試大綱

高中物理

第二冊



中學電子課本紙質版

XX 中學高中物理第二冊

第十四章 簡諧振動

第一節 振動

甚麼是振動

懸掛在彈簧下的物體上下擺動、柳枝、吊燈在微風中左右擺動、撥動的琴弦、水中浮動的樹葉等等的運動都是機械振動。我們會發現，這些物體都是以某一個點為中心作往返運動的。

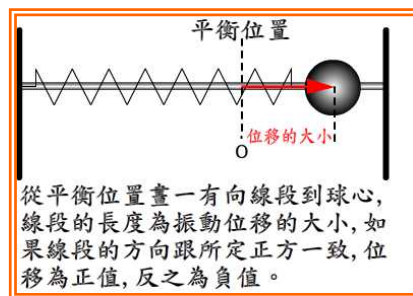
物體在某一位置附近作的往返運動叫做**機械振動**。機械振動可簡稱為**振動**。

平衡位置、振動位移和振幅

振動的物體受到合力為零的位置叫做**平衡位置**。振動的物體以平衡位置為中心作往返運動。

從平衡位置到振動物體所在位置的有向線段為**振動位移**。振動位移的大小為該線段的長度，的方向是從平衡位置指向物體所在位置。振動位移常用符號 x 表示。

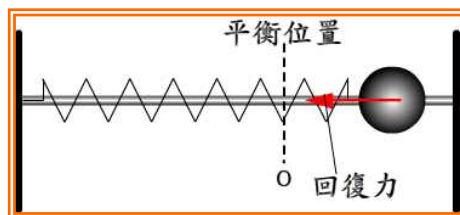
振動物體離開平衡位置的最大距離叫做**振幅**。振幅是最大位移的大小，是沒有方向的標量。振幅常用符號 A 表示。



回復力

振動的物體總是受到一個指向平衡位置、使物體返回平衡位置的力，這種力叫做**回復力**。

回復力是由振動物體所受的力提供的，可能是物體受到的某個力，也可能是物體受到的合力。圖中回復力是小球受到的彈力。



周期和頻率

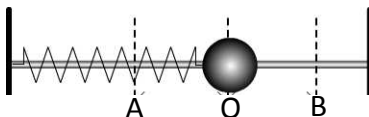
我們知道，做圓周動的物體每做完一周的運動就要重複之前的運動，物體運動一周的時間叫做**周期**。振動也有類似性質，每隔相等的時間物體就重複之前的運動。

物體從某一時刻或某一位置開始，經過一個過程，物體又開始完全重複上一過程的運動，這個過程叫做一次**全振動**，又簡稱為一次振動。

物體做一次振動的時間叫做一個**周期**。符號為 T 。

單位時間內做全振動的次數叫做**頻率**。符號為 f 。頻率的單位為赫茲，符號為 Hz。1Hz 表示 1 秒內做 1 次全振動。

振動的變化規律

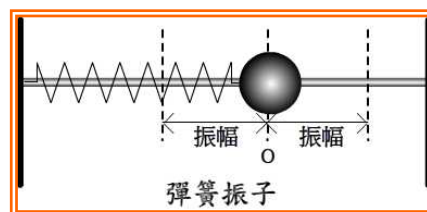


		在 A 點	從 A 點到 O 點	在 O 點	從 O 點到 B 點	在 B 點	從 B 點到 O 點	在 O 點	從 O 點到 A 點	
x	大小	最大	變小	為零	變大	最大	變小	為零	變大	
	方向	負向	負向	無向	正向	正向	正向	無向	負向	
F	大小	最大	變小	為零	變大	最大	變小	為零	變大	$F=-kx$
	方向	正向	正向	向	負向	負向	負向	無向	正向	
a	大小	最大	變小	為零	變大	最大	變小	為零	變大	$a=F/m$
	方向	正向	正向	向	負向	負向	負向	無向	正向	
v	大小	為零	變大	最大	變小	為零	變大	最大	變小	
	方向	無向	正向	正向	正向	無向	負向	負向	負向	

第二節 彈簧振子

彈簧振子

把一個有小孔的小球和彈簧連在一起，穿在水平杆上，彈簧左端固定，小球可以在杆上滑動。杆非常光滑，小球在杆上滑動時的摩擦力可忽略不計。彈簧的質量比小球的質量小得多，也可忽略。這樣就成了一個彈簧振子。



彈簧振子的周期

實驗和理論都可證明，彈簧振子的周期為：

$$T=2\pi(m/k)^{1/2}。$$

上式中的 m 為小球的質量， k 為彈簧的勁度(倔強)系數。上式表示，彈簧振子的質量越大，彈簧的彈性越弱(k 越小)，它的振動周期越大。

彈簧振子的能量

從我們所學過的知識中可知，彈簧振子振動時具有動能和彈性勢能。其動能為：

$$E_k=mv^2/2。$$

其勢能為：

$$E_p=kx^2/2。$$

彈簧振子受的重力和支持力均不做功，只有彈力做功，根據機械能守恒的條件可知，該系統的機械能是守恒的，即：

$$E_k+E_p=\text{常量}，$$

上式表示彈簧振子的機械總量保持不變；上式可展開為

$$E_{K1}+E_{P1}=E_{K2}+E_{P2}；$$

也可展開為

$$mv_1^2/2+kx_1^2/2=mv_2^2/2+kx_2^2/2。$$

以上式子表示第一狀態的動能跟勢能之和等於第二狀態的動能跟勢能之和。振動

過程中動能跟勢能不斷相互轉化，而總量不變。

簡諧振動

振動物受到的回復力為 $F = -kx$ 的振動叫做**簡諧振動**。簡諧振動又叫做簡諧運動。簡諧振動的回復力方向跟位移方向相反，大小跟位移的大小成正比。

簡諧動是一種最簡單的振動。物體在做簡諧振動過程中振幅和周期都不變，機械能守恒。

因為彈簧振子受到的回復力是彈簧的彈力， $F = -kx$ ，所以彈簧振子的運動是簡諧振動。

例 證明把物體懸掛在輕彈簧下，將物體豎直向下拉開一些，然後放手，物體的運動是簡諧振動。

分析 物體受彈力和 mg 作用，設向上為正方向，彈簧受的合力為 $F = -kx - mg$ 。結合小球平衡時重力等於彈力的條件就可以證明。

證： 如圖所示。彈簧原長為 l_0 ，小球平衡時彈簧伸長為 l_1 。設物體運動到平衡點以下任一位置，彈簧伸長為 l_2 。據題意有：

$$mg = -kl_1 \dots\dots\dots(1)$$

$$F = -kl_2 - mg \dots\dots\dots(2)$$

把(1)式代入(2)式得：

$$F = -k(l_2 - l_1) \dots\dots\dots(3)$$

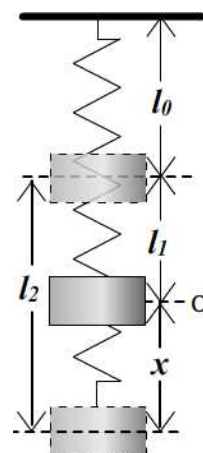
因為平衡點在 o 點，所以位移為：

$$x = (l_2 - l_1) \dots\dots\dots(4)$$

把(4)代入(3)式得：

$$F = -kx。$$

同理，物體運動到平衡點以上任一點，也可得出上述論。
原命題得證。



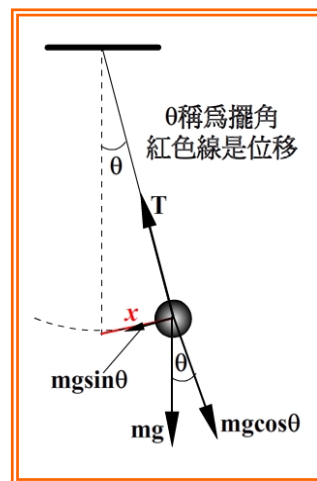
第三節 單擺

單擺

在細線的一端拴一個小球，另一端固定在懸點上，細線的伸縮很微小、質量很小，都可以忽略，細線的長度比球的直徑長得很多，這樣的裝置叫做**單擺**。

單擺的細線偏離豎直方的角度叫做擺角(θ)，懸點到小球質心的距離叫做**擺長**(L)。

單擺擺動到某位置時的受力情況如圖所示。重力的徑向分力和細線的拉力的合力提供了向心力，重力的切向分力提供了單擺的回復力，回復力的大小為：



$$F = mg \sin \theta。$$

由三角函數可知，當擺角小於 5° 時 $\sin \theta \approx x/L$ 。那麼，回復力為：

$$F = -mgx/L。$$

上式中的 x 為振動的位移，負號表示 F 跟 x 的方向相反， mg 和 x 均為常量。設 $mg/L = k$ ，則有：

$$F = -kx。$$

上式表示，如果單擺的擺角很小，取 $\theta < 5^\circ$ ，單擺的振動就可視為簡諧振動。

單擺的周期

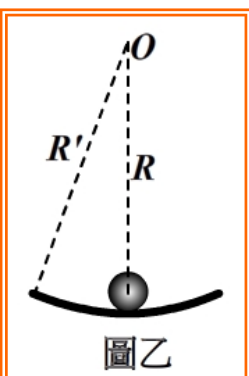
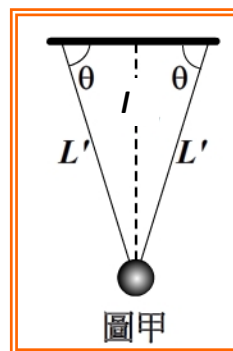
理論推導和實驗證明，單擺做簡諧振動的周期為：

$$T = 2\pi(L/g)^{1/2}。$$

上式表明：擺長越長，單擺做簡諧振動的周期越大；單擺做簡諧振動的周期跟振幅和擺球的質量無關。

可以用單擺來測算重力加速度。測出 T 和 L ，就可以用式子 $g = 4\pi^2 L/T^2$ 來算出重力加速度。

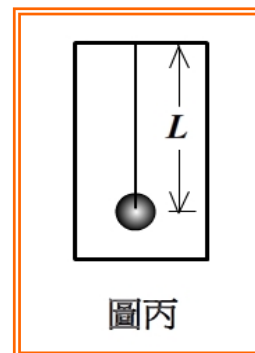
如圖甲所示的擺叫做雙線擺。小球在垂直於紙面的方向上作向外和向內的小角度擺動，兩線的合力剛好能等效於單擺的細線對小球的拉力，圖中虛線的長度等效於單擺的擺長，這種雙線擺的擺動可視為簡諧振動。如果懸點到球心的距離為 L' ，則等效擺長為： $l = L' \sin \theta$ ，那麼雙線擺的周期為 $T = 2\pi(l'/g)^{1/2}$ 。



圖乙所示的小球在光滑的半徑為 R 的大圓弧上作小幅度的自由振動，小球的受力情況跟單擺的小球受力情況一樣，小球的振動可視為簡諧振動。圓弧的圓心到小球的球心的距離(R)等效於單擺的擺長，那麼小球的振動周期為：

$$T = 2\pi(R/g)^{1/2}。$$

圖丙所示的單擺，處於以加速度為 a 的升降機中，小球的受力情況跟單擺球的受力情況一樣，所以這樣的擺球也是簡諧振動。如果小球處於超重狀態時，它的等效重力加速度為 $g+a$ ，它的振動周期為： $T = 2\pi(L/(g+a))^{1/2}$ ；如果小球處於失重狀態時，它的等效重力加速度為 $g-a$ ，它的振動周期為： $T = 2\pi(L/(g-a))^{1/2}$ 。



例一 一根繩子吊一重錘，從懸點到重錘重心的長度為 88.7 厘米，來回擺動 100 次需 3 分 9.2 秒。試求單擺所在處的重力加速度。

已知 $L = 0.887\text{m}$ $t = 3 \text{ 分 } 9.2 \text{ 秒} = 189.2\text{s}$ $N = 100 \text{ 次}$

求 重力加速度 g 。

解 單擺的周期為：

$$T=t/N=189.2/100=1.892s$$

根據 $T=2\pi(L/g)^{1/2}$ 得：

$$g=4\pi^2 L/T^2=4*3.142*0.887/1.892^2=9.782m/s^2。$$

答：單擺所在處的重力加速度是 $9.782 m/s^2$ 。

例二 把地球上的一個秒擺拿到月球上去，它的振動周期為多大？已知地球質量 $M_{地}=5.89*10^{24}kg$ ；半徑 $R_{地}=6.4*10^6m$ ，月球質量 $M_{月}=7.34*10^{22}kg$ ，半徑為 $R_{月}=1.74*10^6m$ 。

已知 $M_{地}=5.89*10^{24}kg$ $R_{地}=6.4*10^6m$ $M_{月}=7.34*10^{22}kg$
 $R_{月}=1.74*10^6m$ $T=2s$

求 秒擺在月球上的周期 $T_{月}$ 。

解 根據 $T=2\pi(L/g)^{1/2}$ 有：

$$T_{地}/T_{月}=(g_{月}/g_{地})^{1/2}.....(1)$$

根據 $g=GM/R^2$ 有：

$$g_{月}/g_{地}=M_{月}R_{地}^2/M_{地}R_{月}^2.....(2)$$

據(1)式和(2)式有：

$$T_{月}=T_{地}(M_{地}R_{月}^2/M_{月}R_{地}^2)^{1/2}$$

$$=2(5.89*10^{24}(1.74*10^6)^2/7.34*10^{22}(6.4*10^4)^2)^{1/2}=4.91(s)$$

答：秒擺在月球上的周期為 $4.91s$

擺鐘的快慢

擺鐘的擺錘雖然不是單擺，但它有着單擺相似的等時性，鐘擺每作一次全振動，齒輪就使指針轉動相應的角度，這樣就能夠計時了。

如果鐘擺的周期為 T ，那麼，擺動 N 次的時間是 $t=NT$ 。

如果鐘擺的周期比走時準確的周期大，則鐘的走時就會慢；如果鐘擺的周期比走時準確的周期小，則鐘的走時就會快。



第四節 簡諧振動的位移函數和圖

位移的函數

簡諧振動的位移是隨時間而作周期變的，它是時間的周期函數，理論和實驗證明它是時間的正弦函數。該函數為：

$$x=Asin(2\pi t/T+\varphi)$$

上式中的 $(2\pi t/T+\varphi)$ 其實是一個角度值，因為做簡諧振動物體所在位置與 $(2\pi t/T+\varphi)$ 有關，所以把 $(2\pi t/T+\varphi)$ 稱為**位相或相位**， φ 的值是由 $t=0$ 時物體所在的位置決定的，所以 φ 叫做**初相**。

物理學中通常把正弦函數和餘弦函數統稱為正弦函數。

讀位移圖象

既然簡諧振動的位移是時間的正弦函數，那麼它就可以用

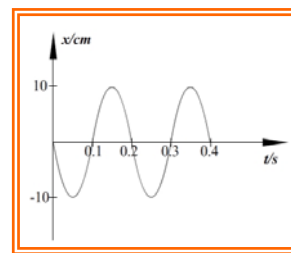
圖象來表示它的變化情況。簡諧振動位移的圖象是一個正弦函數圖象，它的縱座標是位移座標，橫座標是時間座標，如圖所示。

從圖中可讀出以下的訊息。

振幅： $A=10\text{cm}$ 。

周期： $T=0.2\text{s}$ 。

頻率： $f=5\text{Hz}$ 。



由位移函數 $x=A\sin(2\pi t/T+\varphi)$ ，解得 $\varphi_1=0$ ； $\varphi_2=\pi$ 。因為振動開始之後位移為負值，所以取 $\varphi=\pi$ 。根據以上的訊息可得位移的函數表達式為：

$$x=10\sin(10\pi t+\pi)。$$

例一 物體做簡諧振動的位移圖象如圖所示。求質點在 12.1s 那一刻的位移。在這段時間內質點通過的路程是多少？

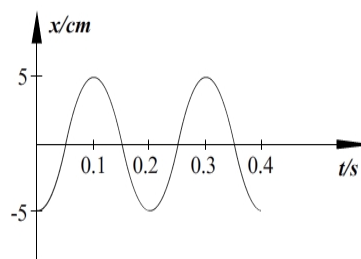
已知 $t=12.1\text{s}$ $T=2\text{s}$ $A=5\text{cm}$

求 經再經過 12.1s 的那一刻的位移 x 。在這段時間內質點通過的路程 L 。

解 在 12.1s 時間內 A 點做全振動的次數為 N ：

$$N=t/T=12.1/0.2=60.5(\text{次})$$

由圖中可知， $t=0$ 時質點的位移為 -5cm ，經過 60 次全振之後回到 -5cm 處，最後的 0.5 次全振動，質點由 -5cm 處去到 5cm 處。



質點做一次全振動的路程為 $4A$ ，在 12.1s 內質點通過的路程為：

$$L=4AN=4*5*60.5=1210(\text{cm})=12.1(\text{m})。$$

答：質點在 12.1s 那一刻的位移為 5cm 。在這段時間內質點通過的路程是 12.1m 。

畫位移圖象

畫簡諧振動物體的位移圖象一般要經過以下的幾個步驟：

(1) 找出振動的振幅(A)、周期(T)或頻率(f)、初始狀態(φ)，出位移函數。

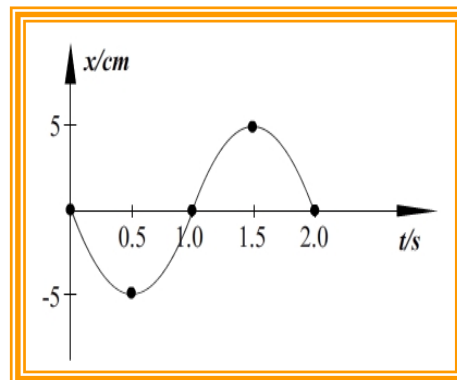
(2) 畫直角座標，標出數值和單位。

(3) 根據已知條件描出極值的點和零值的點；把描出的點連成正弦曲線。

例二 一個秒擺的振幅為 5 厘米，周期為 2 秒。取向右的方向為正方向，擺球向左運動通過平衡位置時開始計時。請画出這擺球的位移圖象。

(1) 由題可直接知道： $A=5\text{cm}$ ； $T=2\text{s}$ 。因為開始時擺球在平衡點且向負方向動，所以初相 $\varphi=\pi$ 。位移函數為 $x=5\sin(\pi t+\pi)$ 。

(2) 畫出直角座標系。在座標上出 $T/4$ 、 $T/2$ 、 $3T/4$ 、 T 、 A 、 $-A$ 。



(3)描出 $t=0$; $t=0.5s$; $t=1.0s$; $t=1.5s$; $t=2.0s$ 的圖象點。

(4)把所描出的點連成平滑的正弦曲線。

第五節 受迫振動和阻尼振動

受迫振動和共振

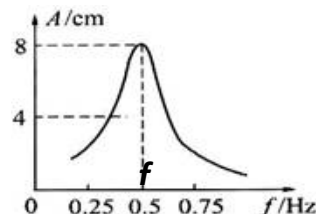
像彈簧振子和單擺球那樣，在外力使它們偏離平衡位置後，它們就在系統內部的力的作用下振動起來，而不再需要其他外力，這樣的振動叫做**自由振動**或者**固有振動**。固有振動的頻率(周期)叫做**固有頻率**(周期)。

物體在周期性外力的作用下做的振動叫做**受迫振動**。使物體產生受迫振動的周期性力叫做**驅動力**或者**策動力**。實驗證明：**做受迫振動的物體的振動周期等於策動力的周期**，而不是自己的固有周期。

如果驅動力的頻率比固有頻率大很多，受迫振動的振幅會接近零，我們可以利用這原理來防振。例如為了防止機器的振動帶來的影響，我們可以在機器的底座上加一塊軟墊或氣囊，這樣底座的固有頻率就會遠遠小於驅動力的頻率(即機器的振動頻率)，底座和機器的振動就會很輕微了。

如果驅動力的頻率接近或等於固有頻率時，受迫振動的振幅會突然變得很大，這種現象叫做**共振**。

右圖是一個單擺做受迫振動的曲線(振幅 A 與驅動力的頻率 f 的關係)。單擺的固有頻為 $f_0=0.5\text{Hz}$ ，當策動力的頻率 f 等於 0.5Hz 時單擺的振幅達一個很大的極值， f 很接近 0.5Hz 時振幅也較大，當 f 與 f_0 相差大於 0.25Hz 時振幅就變得很小了。



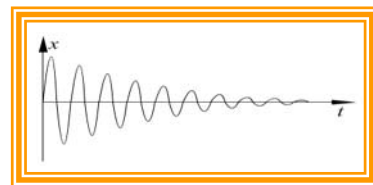
阻尼振動和無阻尼振動

簡諧振動是一種理想化的振動，一旦供給振動系統一定的能量使它振動，它就會以一定的振幅和周期永不停息地振動下去。實際上振動系統不可避免地要受到摩擦和其他阻力，振動系統需克服阻力做功，系統的機械能就要損耗，能量將隨著時間逐漸減少，振動的振幅也逐漸減小。待到機械能耗盡之時，振動就停下來了。這種振幅逐漸減小的振動叫做**阻尼振動**。右圖是阻尼振動的位移圖象。

對於有阻尼的振動，如果每一次振動都給它補充損失了的能量，就能使振動持續，而且振幅保持不變，這種振動叫做**無阻尼振動**。

例如擺鐘上緊發條後，發條的彈力就會通過齒輪系統，在每一周期內都為鐘擺補充損失的能量，使鐘擺保持一定的振幅，不停地擺動下去，這就是無阻尼振動。

如果振動系統的阻尼很小，振幅減小得就很慢，在一段不太長的時間內看不出振幅有明顯的減小，也可以把這段時間的振動當作簡諧振動來處理。



第十五章 機械波

第一節 機械波的形成

機械波

在有彈性的物質中，如果其中一個質點發生了振動，由於彈力的牽連，就會引發其它質點陸續參與振動，大量質點不斷地參與振動就形成了**機械波**。機械波簡稱為**波**。

橫波和縱波

質點的振動方向跟波的傳播方向垂直的波叫做**橫波**。常見到的繩的波動和弦的波動就是橫波。

在橫波中，我們看到有凹凸的變化，所以橫波又叫做凹凸波。凸起來的最高處叫做**波峰**，凹下去的最低處叫做**波谷**。橫波可以在固體和液體中傳播。

質點的振動方向跟波的傳播方向平行的波叫做**縱波**。我們所熟悉的聲波在空氣中傳播時就是縱波。

在縱波中，我們看到疏密的變化，所以縱波又叫做疏密波。質點最密的地方叫做**密部**，質點最疏的地方叫做**疏部**。縱波可以在固體、液體和氣體中傳播。

波源、介質和簡諧波

先開始振動，且引領其它質點參與振動的質點叫做**波源**。傳播波的物質叫做**介質**或**媒質**。形成機械波必須要有波源和介質。

波是大量質點參與的振動。在波動的過程中，雖然把振動向外傳播開去，但是波動並沒有把質點傳出去，各質點仍然保持在原來的平衡位置做振動。在波動的過程中，不斷向外傳播機械能，使得波源以外的地方都逐漸具有能量。

如果參與波動的質點都做頻率、振幅相同的簡諧振動，這種波叫做**簡諧波**。簡諧波可以是橫波，也可以是縱波。以下我們學習的都是簡諧波。

周期、頻率和波長

簡諧波源以某一頻率和周期振動之後，在波傳播的過程中，參與振動的質點均以這個頻率和周期做振動，因此**波源振動的頻率和周期就是波的頻率和周期**。

在橫波中，兩個相鄰的波峰(或波谷)間的距離叫做橫波的**波長**。波長剛好是一個波形的長度。在縱波中，兩個相鄰的密部(或疏部)間的距離叫做縱波的**波長**。波長通常用希臘字母 λ 表示。距離為波長整數倍的質點，它們的振動都是完全一樣的。

機械波

波從波源往外傳播的速度叫做**波速**。波速(v)等於波傳播的距離(s)跟所需傳播時間(t)之比，即：

$$v=s/t。$$

觀察波動可知，在一個周期的時間內，波傳播了一個波長，波速又可以用下

式來計算：

$$v=\lambda/T=\lambda f。$$

實驗和理論都證明，不同頻率的波在同一介質中的波速是一樣的，波在不同的介質中的波速是不同的。實驗和理論都證明，波從一種介質傳到另一種介質時，波的頻率不變，但波長和波速會改變。

第二節 波的圖象

波的圖象

把橫波的波形用相機拍下，加上座標之後就可以成為一幅橫波圖象。橫波的圖象能表示所看見的各個質點在某一時刻的振動位移，由此還可以知道波動的其它情況。

讀圖

波圖象的橫座標表示各質點做振動的平衡位置到座標原點的距離，縱座標表示各質點在某一時刻的位移值。

從簡諧波圖象中可直接讀出：振幅(波峰的縱座標)；波長(相鄰波峰或谷的距離)；如果知道波速，可算出頻率、周期($v=\lambda/T=\lambda f$)；如果知道波傳播方向，可知各質點的運動方向“前上後下”。

波的圖象與簡諧振動的位移圖象相似、容易混淆，可把它們作如下比較。

	簡諧波圖象	簡諧振動位移圖象
圖象		
橫座標	表示各質振動的平衡位置到原點的距離	表示時間
縱座標	表示各質點的位移	表示一個質點的位移
描述的對象	很多質點	一個質點
描述的時間	某一時刻	一段時間
描述的事件	在某一時刻，各質的振動位移	一個質點在各時刻的振動位移

例一 圖(一)為簡諧波的圖象，波向負 X 軸方向傳播，傳播速度為 200m/s。請讀出波的振幅、波長和周期，畫出平衡位置距原點為 4m 的 A 點的振動圖象。

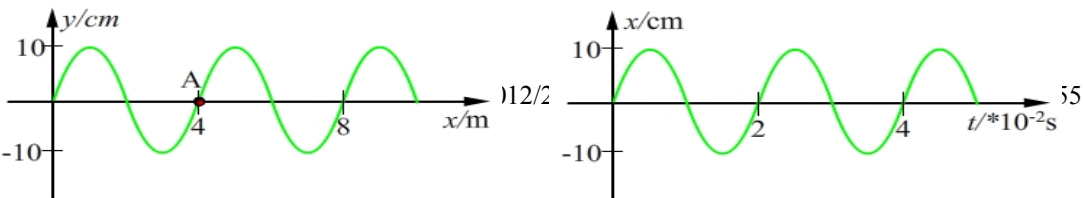
解 從圖中可直接讀得：

$$A=10\text{cm}； \lambda=4\text{m}。$$

波的周期為：

$$T=\lambda/v=4/200=0.02(\text{s})$$

此刻：A 點的位移為零(即 $x=0$)；以負 X 方向為前方，A 點在波峰之前到第一個波谷之間，所以它是向上運動的(即



$\varphi=0$)。A 點的振動圖象如圖(二)所示。

畫圖

我們要學會根據簡諧波的圖象，畫出經過時間 t 的波的圖象。
畫圖前，要了解波長、振幅、波速和傳播方向，然後用“傳播法”或“振動法”作圖。

用傳播法畫波圖象的方法如下：

- (1)算出波的傳播距離 $s=vt$ 。
- (2)把原圖象的曲線向傳播方向移動 s 。
- (3)按原圖的位置為依據，把多餘的部分刪去，空白的部分補上。

圖(二)

用傳播法(二)畫波圖象的方法如下：

- (1)算出波的周期 $T=\lambda/v$ 。
- (2)算出在時間 t 內各質點的振動次數 $N=t/T$ 。
- (3)振動一周期，波形移動一個波長。若 N 為整數，則波形不變；若 N 的小數為 $1/4$ ，則波形向傳播方向移動 $1/4$ 波長；若 N 的小數為 $2/4$ ，則波形向傳播方向移動 $2/4$ 波長；如此類推。
- (4)按原圖的位置為依據，把多餘的部分刪去，空白的部分補上。

用振動法畫波圖象的方法如下：

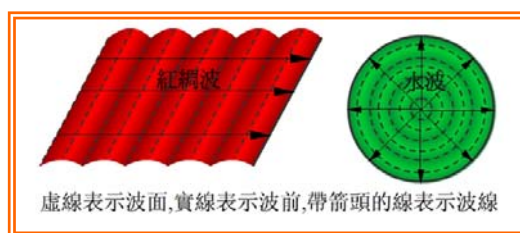
- (1)算出波的周期 $T=\lambda/v$ 。
- (2)算出在時間 t 內各質點的振動次數 $N=t/T$ 。
- (3)判斷出各質點的運動方向。
- (4)取零點和極值為代表點，根據質點的振動，畫出代表點在 t 時刻的位置。
- (5)根據代表點的新位置描出新的波的圖象。

第三節 波的傳播

波面、波前、波線

空間傳播的波，在同一時刻，介質中的所有波峰或波谷所構成的面(或線)叫做**波面**，最前端的波面叫做**波前**。例如，小石子投到平靜水面上形成的水波，它的波面是一組同心圓。

垂直於波面的線叫做**波線**。波線是一些虛構出來的線，並不是實際存在的，它可用來表示波的傳播。



波的反射

當波傳到介質的分界面時，波返回原介質中傳播，這種現象叫做**波的反射**。實驗和理論都證明，波的反射跟光的反射一樣，都遵從以下的規律：

$$i=i'$$

上式中 i 是入射角(入射波線與法線的夾角)， i' 是反射角(反射波線與法線的夾角)。發生反射時波速、波長和頻率都不改變。

波的折射

當波非垂直地從一種介質進入另一種介質時，傳播方向會發生改變，這種現象叫做**波的折射**。實驗和理論都證明，波的折射跟光的折射一樣，都遵從以下的規律：

$$\sin i / \sin r = v_1 / v_2 = \lambda_1 / \lambda_2。$$

上式中的 i 為入射角(入射波線與法線的夾角)， r 為折射角(折射波線與法線的夾角)， v_1 為入射介質的波速， v_2 為折射介質的波速， λ_1 為波在入射介質中的波長， λ_2 為波在折射介質中的波長。發生折射時波速和波長會改變，但頻率不改變。

波的衍射

波在傳播時，遇到較小的障礙物或由障礙物形成的小孔、狹縫，波會繞到障礙物後面進行傳播的現象叫做**波的衍射**。

波發生衍射的條件是**障礙物或小孔、狹縫的尺寸要跟波長相約或小於波長**。發生衍射時波速、波長和頻率都不改變。

衍射現象是波特有的，只有波才能發生衍射。

多普勒效應

澳大利科學家多普勒指出：**波源移向觀察者時，觀察者接收到的頻率變高；波源遠離觀察者時，觀察者接收到的頻率變低；當觀察者移動時也能得到同樣的結論。這種現象叫做多普勒效應**。當時由於缺少實驗設備，多普勒沒條件用實驗來驗證這效應。幾年後，荷蘭氣象學家拜斯·巴羅特在 1845 年讓一隊喇叭手站在一輛從荷蘭烏德勒支附近疾駛而過的敞篷火車上吹奏，他在月臺上測到了聲波頻率的改變。這是科學史上最有趣的實驗之一。

右圖是水波的波源向左運動時的波形圖。從圖中可看到波源前方的波長變小，因為波在介質中傳播速度沒變，且有 $f = v / \lambda$ ，所以運動的波源前方的波的頻率變高。同理，從右圖可看到波源後方的波長變長，所以運動波源後方的波的頻率變低。

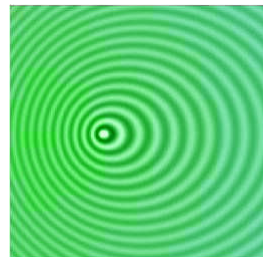
下式為多普勒效應觀察者感受到的頻率的計算式：

$$f' = (v + v_{\text{觀}}) f / (v - v_{\text{源}})$$

上式中 f' 為觀察者感受到的頻率， f 為波源頻率， v 為波在介質中的速度， $v_{\text{觀}}$ 為觀察者行進速度， $v_{\text{源}}$ 為波源行進速度。

觀察者向波源移動 $v_{\text{觀}}$ 取正值，背向波源移動 $v_{\text{觀}}$ 取負值；波源向觀察者移動 $v_{\text{源}}$ 取正值，背向觀察者移動 $v_{\text{源}}$ 取負值。

多普勒效應在聲學、天文學、醫學和移動通訊等領域都有廣泛的應用。



波源向左運動的水波

第四節 波的疊加

波的疊加

當兩列波在空間中相遇時，就會產生波的疊加現象。在疊加的區域裡，任何一個質點的位移，都等於兩列波單獨傳播時引起

該質點的位移的矢量和。

實驗證明，波通過疊加區域後，仍會按疊加前的方式進行傳播，疊加並不影響波的原有性質，波的這種性質叫做波的**獨立性**。

波的干涉

兩列頻率相同的水波相遇時，會產生一種很美麗的波紋，這些波紋強弱相間，排列有序、周而復始。這些有趣的波紋是因為一種叫做干涉的現象而引起的。



兩列波疊加時，出現某些質點作振幅較大的強振動，某些質點作振幅較小的弱振動，強振動和弱振動固定地、有規律地間隔開來的現象叫做**波的干涉**。

產生波的干涉要滿足頻率相同、振動方向相同等三個條件。

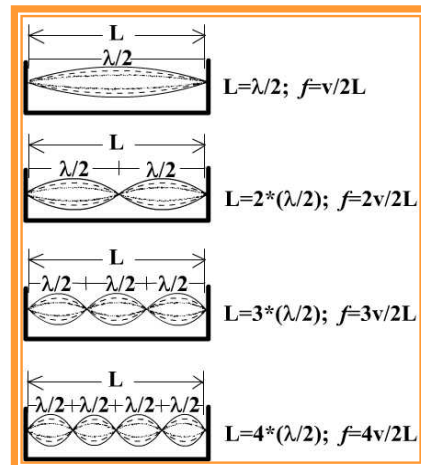
駐波

兩個完全相同的波沿相反方向傳播產生干涉而形成的波叫做**駐波**。駐波中靜止不動的點叫做波節，振幅最大的地方叫做波腹。

駐波的特點：

- (1)波節和波腹都是等距地、相間地排列的。
- (2)駐波中質點振動的頻率等於原波的頻率。
- (3)相鄰兩波節(或波腹)的距離為 $\lambda/2$ 。
- (4)波節兩旁的質點的運動方向都是相反的。
- (5)駐波的波形是駐守在原地不傳播的。

[相鄰波節的距離為 $\lambda/2$, $f=v/\lambda$]



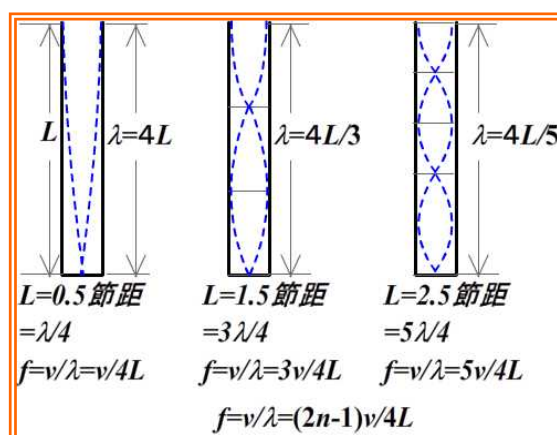
各種樂器，包括絃樂器、管樂器和打擊樂器，都是由於產生駐波而發出動聽的聲音的。

在琴弦上彈一下或拉一下，琴弦的兩個固定端就會反射出兩列相同的、反向傳播的波而形成駐波。如右圖，由於琴弦的兩端是固定的，只能產生波節。相鄰兩波節的距離為 $\lambda/2$ ，在弦上的波腹可以是 1 個、2 個、或 n (n 為自然數)個，在琴弦上可產生的駐波的頻率系列為：

$$f = nv/2L \quad (n=1,2,3,\dots)$$

$n=1$ 的頻率稱為主頻率，產生的聲音做基音或主音，其它的頻稱為次頻率，產生的聲音叫做次音或泛音。用手指按弦的不同位置，就可以調節弦的長度，就能演奏出不同的主音。

當波在氣柱中傳播時，氣柱的兩端產生的反射波也能形成駐波。氣柱的封閉端由於分子運動受限制，所以會



產生波節，而開口端會產生波腹。

如右圖所示。設管的氣柱長度為 L ，設波速度為 v 。在一端封閉、一端開口的氣柱中能產生駐波的頻率系列為：

$$f=(2n-1)v/4L \quad (n=1,2,3,\dots)$$

同理，在二端開口的氣柱中能產生駐波的頻率系列為：

$$f=nv/L \quad (n=1,2,3,\dots)$$

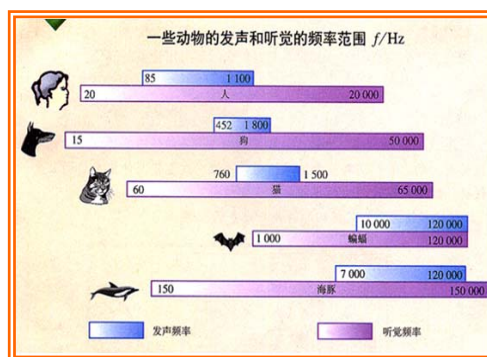
如果兩端封密，駐波的頻率跟弦相同。用手指按管樂器中不同位置的孔，就能調節管樂器中空氣柱的長度，演奏出不同的主音。

第五節 聲波

聲波和聲音

我們已知道，聲音是由振動引起的，聲源的振動在介質中傳播時形成了機械波，我們把某一頻率範圍的機械波叫做**聲波**。聲波傳入耳朵，使耳膜發生表動，人們就產生了聲音的感覺，被人類聽覺感覺到的聲波就是**聲音**。

聲波在氣體和液體介質中傳播時是一種縱波，但在固體介質中傳播時可能混有橫波。人耳可以聽到的聲波的頻率一般在 20Hz 至 20000Hz 之間。



次聲波

頻率小於 20Hz 機械波叫做**次聲波**。人耳對次聲波基本上沒有感覺。一些動物，如大象、長頸鹿和藍鯨等就可以感受次聲波，並使用次聲波來通訊。次聲波不容易衰減，不易被水和空氣吸收，頻率極低的次聲波可以傳播到非常遠。特別是在水下，次聲波的傳播距離更遠。次聲波的波長往往很長，因此能繞開某些大型障礙物發生衍射。某些次聲波能繞地 2 至 3 周。地震、火山爆發、隕星墜落、極端的氣候現象或者巨浪都可以在空氣中產生次聲波，這樣的次聲波可以傳播數千公里。陣風和旋風也會產生次聲波。

超聲波

頻率高於 20000Hz 的聲波叫做**超聲波**。超聲波由於其高頻特性而被廣泛應用於眾多領域，比如金屬探傷，工件清洗等。某些動物，如犬只、海豚、以及蝙蝠等都有著超乎人類的耳朵，可以聽到超聲波。有人就利用這個特性製成能產生超聲波來呼喚犬只的無音笛。超聲波在軍事、醫療及工業中有較大的用途。它應用按功率的大小可分為功率超聲波和檢測超聲波。功率超聲波的應用包括焊接、鑽孔、粉碎、清洗、乳化等，它們多屬於只發射不接受的超聲設備。檢測超聲應用有雷達定位、測速等。醫用超音波可以看穿肌肉及軟組織，使得這項技術常用來掃描人體器官，以協助醫療上的診斷和治療。產科

超音波也常用在懷孕時期對胎兒的檢查。由於超聲波不能穿透骨頭，所以雖然超聲波對人體傷害比較低，但仍不能完全取代 X 光。典型超音波的頻率大約為 2MHz 到 10MHz。較高頻率通常用在泌尿道碎石振波。

聲波的速度

聲波的傳播速度叫做**聲速**或**音速**。同一溫度，不論是高音還是低音，不同頻率的聲波在同一介質中傳播的速度是一樣的，同一聲波從一種介質中傳到另一種介質時，頻率持不變，但速度和波長會改變。以下是 0°C 時幾種介質的聲速。

介質	聲速(m/s)	介質	聲速(m/s)
空氣	332	玻璃	5000~6000
水	1450	松木	3320
銅	3800	軟木	430~530
鐵	4900	橡膠	30~50

由上表可知堅硬的固體的聲速比較快，聲音在空氣中的波長比較長。聲音在 0°C 的空氣中的波長是 16.6~0.017m。

聲波的反射、衍射和干涉

聲波碰到較大的障礙物時會發生反射。回音就是反射回來的聲波。人耳能分辨先後兩個聲音的最小時間間隔為 0.1s。要聽到回聲的話，人到障礙物要有適當的距離。

人聽到原音和回音的間隔如果少於 0.1s，可使聲音更響亮，如果大於 0.1s，就會使聲音模糊不清。在設計音樂廳時，恰當地控制聲音的反射次數和混響時間，能使聲音更響亮、更有層次、更動聽。當人在狹小的空間裡說話時，混響的效果就比較明顯。

聲波碰到跟波長相約的障礙物或孔、縫時會產生衍射(繞射)現象，聲波能繞到障礙物後面或傳到孔、縫外面。隔牆有耳、只聞其聲不見其人的現象就是聲波的衍射現象。

兩個頻率相同的聲波疊加時，就會產生干涉的現象，使得有些地方的聲音特別響亮，有些地方的聲音特別弱。

共鳴

聲音的共振現象叫做共鳴。共鳴的現象運用得當，可以使聲音變得更響亮和更動聽。當聲音的振動頻率跟管內的空氣柱或盒子內的空氣柱的駐波頻率相同時，就能使這些空氣跟聲音產生共鳴，所以很多樂器都會做一個儲存空氣的空腔來產生共鳴。

聲音的三要素

(一)音調

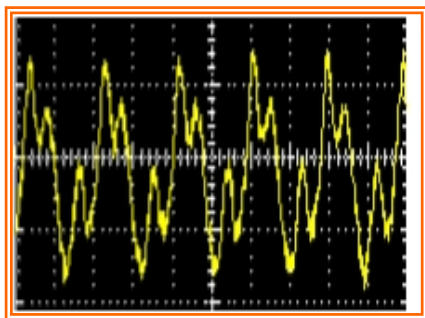
音調又叫做聲調，表示聲音的高低。音調的高低是由聲音的頻率決定的。聲音的頻率很高，我們就覺得聲音尖銳，聲調就高；聲音的頻率很低，我們就覺得聲音低沉，聲調就低。下表列出了音樂中 C 調和 D 調的

各音階的頻率。

唱名	Dou(1)	Rei(2)	Mi(3)	Fa(4)	Sou(5)	La(6)	Xi(7)	Dou(i)
調頻率 (Hz)	264	294	330	352	396	440	495	528
調頻率 (Hz)	297	334	371	396	446	495	557	594

(二)音色

音色又叫做音品，表示聲音的特色。一般發聲的物體除了發出一個振動最強的基音外，還同時發出很多個頻率數倍於基音的較弱的聲音，這些聲音叫做泛音或諧音。不同的泛音組合會形成不同的音色。因為每種發聲物體出的聲音都有自己特定的泛音組合，所以每種聲音都有自己的特別音色。同樣，每個人的聲音人都有自己特定的音色。聞其聲而知其人，就是這個道理。

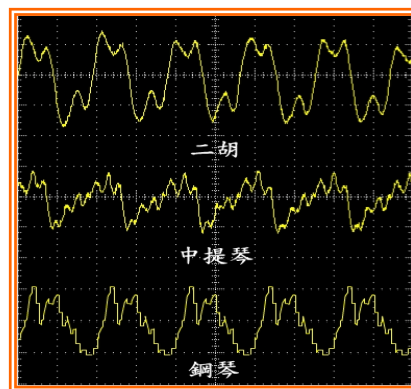


左圖是笛子聲音的波形圖，波形的頻率是基音的頻率。由於有很多的泛音疊加在一起，所以波形很不平滑。樂音中泛音越多，聽起來就越好聽。低音豐富的聲音，給人以深沉有力的感覺，高音豐富的聲音，給人以清脆高亢的感覺。

不同的樂器演奏同一樂音，它的基音(主音)頻率相同，但泛音就有很大的區別。右圖是幾種樂器演奏C調Dou的波形。

(三)響度

響度表示的聲音的響亮程度。響度跟聲波到達耳朵的強弱有關，跟聲波的頻率有關，還跟人的感覺有關，是很複雜的一回事。聲音的響度跟一個叫做聲強級的物理量大概成正比，聲強級的常用單位是分貝(dB)。0dB 是人剛能聽到的最微弱聲音。30-40dB 是較為理想的安靜環境。70dB 會干擾談話，影響工作效率。長期生活在 90dB 以上的噪音環境中，聽力會受到嚴重影響並產生神經衰弱、頭疼、高血壓等疾病。如果突然暴露在高達 150dB 的噪音環境中，鼓膜會破裂出血，雙耳完全失去聽力。為了保護聽力，聲音不能超過 90dB；為了保證工作和學習，聲音不能超過 70dB；為了保證休息和睡眠，聲音不能超過 20dB。



第十六章 分子熱運動

第一節 分子

阿伏伽德羅常量

我們都知道，分子是很小很小的，物體裡的分子是很多很多的。物體裡的分子雖然數不清、量不准，但是卻可以算出來。

表示物質有多少可以用質量來表示，也可以用數量來表示。例如一打鉛筆就表示有 12 枝，一打啤酒就表示有 12 瓶，任何一打物質，其數量都是 12。我們在化學中學過，物質的量常用摩爾(mol)來表示。任何一摩爾的物質都有 6.02×10^{23} 個。 $6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$ 叫做阿伏伽德羅常量或阿伏伽德羅常數(N_A)。

摩爾質量摩爾數摩爾體積

一摩爾物質的質量叫做摩爾質量(M)，某物質的分子量的數值的克數就是它的摩爾質量。例如：氫氣的分子量為 2，則氫氣的摩爾質量就是 2g/mol ；水的分子量為 18，水摩爾質就是 $18\text{g/mol}=0.018\text{kg/mol}$ 。

如果某物體的質量為 m ，則它的摩爾數為：

$$n=m/M。$$

一摩爾物質的體積叫做摩爾體積(V_M)， $V_M=\rho M$ 。氣體處於 0°C ，1 個標準大氣壓的狀態叫做標準狀態，任何處於標準狀態的氣體的摩爾體積均為 22.4L 。如果某物體的體積為 V ，則它的摩爾數為：

$$n=V/V_M。$$

分子的數量

物體內含有的分子數為：

$$N=nN_A=mN_A/M=\rho VN_A/M=V/V_M。$$

物體裡的分子數量十分巨大。把 10 微克酒精倒入容積為 100 億立方米的水庫中，酒精分子均勻分佈在水中以後，每 1 立方厘米水中的酒精分子數，仍然有 1 萬個以上。

例一 0.5 千克氫氣中含有多少個氫分子和氫原子？

已知 $m=0.5\text{kg}$ $M=0.002\text{kg/mol}$

求 氫分子數 N 和氫原子數 N' 。

解 $N=nN_A=mN_A/M=0.5 \times 6.02 \times 10^{23} / 0.002 = 1.5 \times 10^{26}(\text{個})。$

因為一個氫分子由兩氫原子組成，所以有：

$$N'=2N=2 \times 1.5 \times 10^{26} = 3.0 \times 10^{26}(\text{個})。$$

答：0.5 千克氫氣中含有 1.5×10^{26} 個氫分子， 3.0×10^{26} 個氫原子。

例二 1cm^3 的水中含有多少個水分子？

已知 $V=1\text{cm}^3=10^{-6}\text{m}^3$ $M=18\text{g/mol}$

求 1cm^3 的水中含有的水分子數。

解 1cm^3 水的質量為 1g 。

$$N = mN_A / M = 1 \times 6.02 \times 10^{23} / 18 = 3.3 \times 10^{22} (\text{個})。$$

答： 1cm^3 的水中含有 3.3×10^{22} 個水分子。

$$[m = \rho V = 10^3 \times 10^{-6} = 10^{-3} \text{kg} = 1\text{g}。]$$

記住： 1cm^3 水的質量為 1g ， 1dm^3 水的質量為 1kg ， 1m^3 水的質量為 1t (噸)。

分子的大小

分子是很小的，用放大 200 萬倍的離子顯微鏡，可得到鎢針針尖上原子分佈的圖樣，並且可以測出鎢原子間的距離大約是 $2 \times 10^{-10}\text{m}$ ，設想鎢原子是一個挨著一個排列的，可以認為鎢原子間的距離 $2 \times 10^{-10}\text{m}$ 就是鎢原子的直徑。

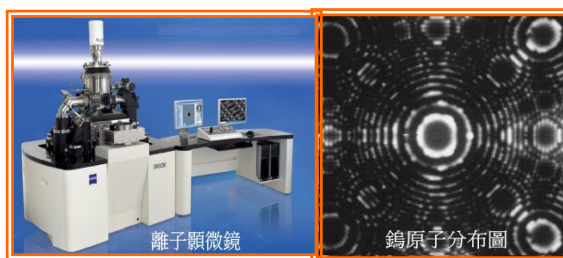
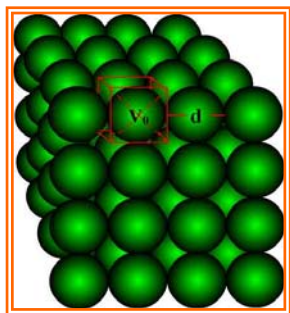
實際上，分子有它複雜的內部結構，它的形狀並不是球體。因此，描述分子的直徑有多大，一般知道數量級已經可以了。物理學中有各種不同的方法測定分子的大小。用不同方法測出的分子大小並不完全相同，但數量級是相符的。測定結果表明，除了一些有機物質的大分子外，一般分子直徑的數量級都是 10^{-10}m 。例如水分子直徑約為 $4 \times 10^{-10}\text{m}$ ，氫分子的直徑約為 $2.3 \times 10^{-10}\text{m}$ 。

10^{-10} 數量級是指大約為 5×10^{-10} 至 0.5×10^{-10} 的範圍。

在沒有電子顯微鏡和離子顯微鏡的時候，科學家用一種巧妙的方法估算出固體、液體分子的直徑，這種方法很值得大家借鏡。先作以下簡化：忽略分子的形狀，把它看作球體；因為固體和液體都可以把氣體封閉而不泄漏，所以

可以近似認為它們的分子是一個緊挨着一個排列的，如圖所示。設體積為 V 的物體內有 N 個分子，則每個分子占的空間為

$V_0 = V/N = V/nN_A = VM/mN_A = M/\rho N_A$ 。由圖可知 V_0 的邊長就是分子的直徑， $d = V_0^{1/3} = (M/\rho N_A)^{1/3}$ 。用這方法估算出來的結果，雖然有不小的誤差，但是跟現代方法測出的結果還是在同一數量級上。固體、液體分子直徑的估算式為： $d = V_0^{1/3} = (V/N)^{1/3} = (M/\rho N_A)^{1/3}$



油膜法是一種估算油分子直徑的巧妙方法。把油用溶劑稀釋，然後把體積為 V 的油溶液滴到水中，油在水面上形成的油膜擴散到最大時面積為 S ，這樣的油膜可以認為是由單層分子鋪成的，其厚度就等於分子的直徑 d ，由此有：

$$d = V/S。$$

例三 將 2cm^3 的油酸溶於酒精，配製成 200cm^3 的酒精油酸溶液，已知 1cm^3 的溶液有 50 滴，現取 1 滴油酸酒精溶液滴到水面上，隨著酒精溶於水，油酸在水面上形成一單分子薄層，已測出這一層油膜的面積是 0.8m^2 ，由此可估算油酸分

子的直徑為多少米?

已知 $V_1=2\text{cm}^3$ $V_2=200\text{cm}^3$ $V_3=1\text{cm}^3$ $N=50(\text{滴})$ $S=0.8\text{m}^2=8000\text{cm}^2$

求 油酸分子的直徑 d 。

解 一滴溶液的體積為 V_4 ：

$$V_4 = V_3 / N = 1/50 = 0.02\text{cm}^3$$

一滴溶液中含油酸的體積為 V ，據配製溶液的比例有：

$V_1/V_2 = V/V_4$ 即有：

$$V = V_1 V_4 / (V_2) = 2 * 0.02 / 200 = 0.0002\text{cm}^3$$

油酸子直徑： $d = V/S = 0.0002/8000 = 2.5 * 10^{-8}\text{cm} = 2.55 * 10^{-10}\text{m}$ 。

答：油酸分子的直徑大約為 $2.5 * 10^{-10}\text{m}$ 。

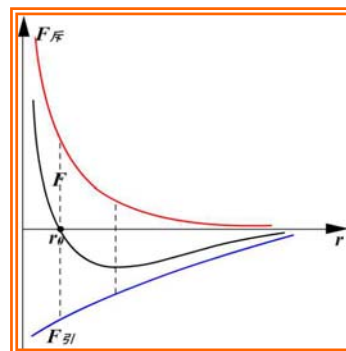
第二節 分子力

引力和斥力

大量分子聚集在一起形成固体或液体，不會四散東西，這说明了分子之间存在着引力。用力拉伸物体，物体内部产生反抗拉伸的引力，物體才不致於分開。把兩塊純淨的鉛壓緊，由於分子間的引力，兩塊鉛就合在一起，甚至下面吊一個重物也不能把它們拉開。

把兩塊光學玻璃的表面磨得很光滑又相吻合，把表面處理乾淨，施加一定的壓力可以把它們粘合在一起，這是利用了分子間的引力。

分子間有引力，而分子間又有空隙，但卻沒有緊緊吸在一起，這說明分子間還存在著斥力。液體和固體幾乎都不能被壓縮，這也說明了分子之間存在斥力，斥力使分子不能靠近，以致它們的體積不能減少。



圖(一)

研究表明，分子間的引力和斥力的大小都跟分子間的距離有關。圖(一)中的紅、藍兩線分別表示兩個分子間的引力和斥力隨距離變化的情形。引力和斥力都隨分子間的距離增大而迅速減小。分子很近時，斥力比引力大很多。

分子力

圖(一)中的黑線表示分子引力和分子斥力的合力，這力叫做分子力。必定有一個 r_0 的距離，使得分子間的引力和斥力相互平衡，合力為零。 r_0 的數量級約為 10^{-10}m 。 r_0 的位置叫做平衡位置。當分子間的距離的數量級大於 10^{-9}m 時，已經變得十分微弱，可以忽略不計了。

下表是分子間的作用隨分子離的變化而變化的關係

	$0 < r < r_0$	$r = r_0$	$r_0 < r < 10^{-10}\text{m}$	$r > 10^{-9}\text{m}$
斥力	比引力大	斥力=引力	稍小於引力	為零
引力	比斥力小	斥力=引力	稍大於斥力	為零
分子力	表現為斥力	為零	表現為引力先增後減	為零

注： r 是兩分子間的離。

分子是由原子組成的，原子內部有帶正電的原子核和帶負電的電子。分子間那麼複雜的作用力就是由這些帶電粒子的相互作用引起的。

第三節 物質的態

固體、液體和氣體

在固體中，分子力的作用比較強大，絕大多數分子被束縛在固定的平衡位置附近做微小的振動，因為分子的平衡位置被固定，所以固體有一定的形狀和體積。

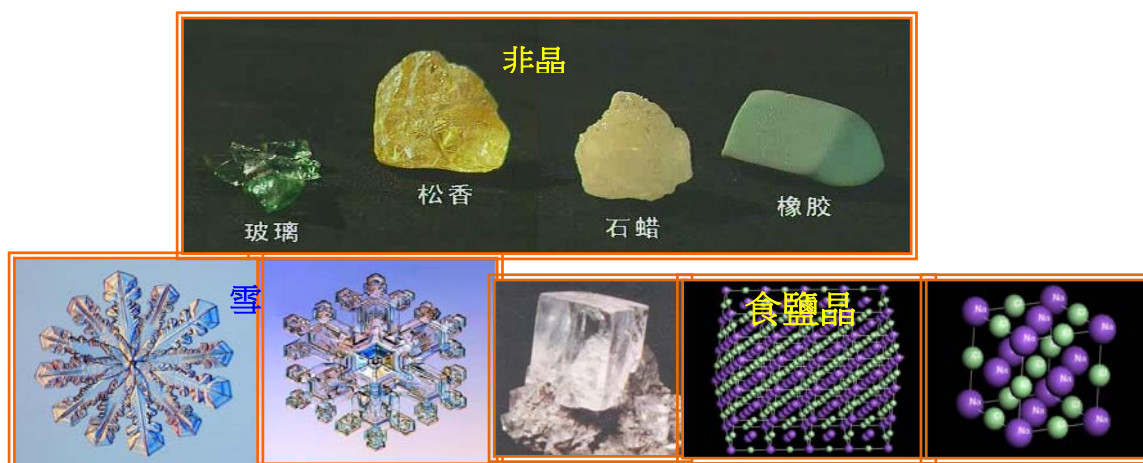
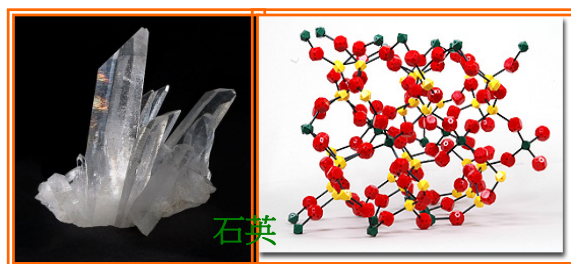
溫度升高，分子的無規則運動加劇，加劇到一定程度，分子力的作用已經不能把分子振動的平衡位置固定，但分子還不能分散遠離，於是物體由固體狀態變為液體狀態。因為分子的平衡位置可以移動，所以液體有具有流動性，沒有固定的形狀。因為分子還不能分散遠離，所以液體有一定的體積。

溫度再升高，分子的無規則運動更加劇烈，到一定程度，分子力的作用很微弱，分子可以到處移動，分子分散遠離，物體就由液態變為氣體狀態。因為分子可以到處移動，所以氣體很容易擴散，能充滿盛載它的容器，沒有一定的體積。

晶體和氣體

固體可以分成晶體和非晶體兩類。在常見的固體中，石英、雲母、明礬、食鹽、硫酸銅等都是晶體；玻璃、蜂蠟、松香、瀝青、橡膠等都是非晶體。晶體和非晶體在外形上和物理性質上都有很大區別。

非晶體的微觀結構跟液體非常類似，可以看作是粘滯性極大的液體。所以嚴格說來只有晶體才能叫做真正的固體。



晶體都具有規則的幾何形狀。例如，食鹽的晶體呈立方體形。石英的晶體中間是一個六面棱柱，兩端是六面棱錐。冬季的雪花，是水蒸氣在空氣中凝華時形成的冰的晶體，它們的形狀雖然不同，但都是六角形的規則圖案。非晶體則沒有規則的幾何形狀。

晶體和非晶體除了外形上的差別外，在物理性質上也有所不同。取一張雲母薄片，在上面塗一層很薄的石蠟，然後用燒熱的鋼針去接觸雲母片，接觸點周圍的石蠟就熔化了，而熔化了的石蠟成橢圓形。如果用玻璃片做同樣的實驗，熔化了的石蠟成圓形。這表明在雲母晶體裏各個方向上的導熱性能不同，在非晶體玻璃裏各個方向上的導熱性能是相同的。晶體在不同的方向上不僅導熱性能不同，機械強度和導電性能等其他物理性質也不同。也就是說，晶體內部的物理性質與方向有關，這種特性叫做各向異性。非晶體的各種物理性質在各個方向上都相同，所以是各向同性。



晶體可以分為單晶體和多晶體。如果整個物體就是一個晶體，這樣的物體叫做單晶體。上面說的晶體就是指單晶體。單晶體是科學技術上的重要原材料，製造各種電晶片就要用純度很高的單晶硅(矽)或單晶鎢。

如果整個物體是由許多雜亂無章地排列著的小晶體(晶粒)組成的，這樣的物體就叫做多晶體。平常見到的各種金屬材料就是多晶體。把純鐵做成的樣品放在顯微鏡下觀察，可以看到它是由許許多多晶粒組成的。晶粒有大有小，最小的只有 10^{-5}cm ，最大的也超不過 10^{-3}cm 。每個晶粒都是一個小單晶體，具有各向異性。晶粒在多晶體裏雜亂無章地排列著，所以多晶體沒有規則的幾何形狀，也不顯示各向異性，它在不同方向上的物理性質是相同的，即各向同性。

液晶

某些有機化合物(現已發現有幾千種)具有一種特殊的物質狀態，叫做液晶。液晶一方面象液體，具有流動性；另一方面又象晶體，它的分子在某個特定方向上排列比較整齊。液晶是介於液體和固體之間的過渡狀態，微觀結構也介於固、液之間。



液晶是不穩定的，外界影響的微小變動都會引起液晶分子排列的變化，改變它的光學性質。有一種液晶，在外加電壓的影響下，會由透明狀態變成混濁狀態，不再透明，去掉電壓，又恢復透明。利用這一性質，可以製成顯示元件。在兩電極間將液晶塗成文字或數碼，加上適當電壓，透明的液晶變得混濁了，文字或數碼就顯示出來了。這種顯示元件用於電子手錶、電子計算器、顯示屏以及其他儀器中。

還有一種液晶，具有靈敏的溫度效應，溫度改變時會改變顏色。只要溫度升高 1°C ，液晶就會按紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫的順序改變顏色；溫度降低，又按相反順序改變顏色。液晶的這種性質，可以用來探測溫度。例如在醫學上可用來檢查腫瘤。在皮膚表面塗上一層液晶，由於腫瘤部分的溫度與周圍正常組織的溫度不一樣，液晶會顯示出不同的顏色。利用這種液晶還可以檢查電路中的短

路點，把液晶塗在印刷線路板上，由於短路處溫度升高，這個地方液晶顯示的顏色就與其他地方不同。

第四節 分子的熱運動

布朗運動

我們在初中學過擴散現象。墨水滴到水中散開，打開香水瓶蓋後能嗅到香味等現象就是擴散現象，擴散現象表明分子在不停地運動。

現在再學習布朗運動，它可以更確切地證實分子不停地作無規則運動。

1827 年英國植物學家布朗用顯微鏡觀察懸浮在水中的花粉，發現花粉顆粒不停地做無規則的運動。不只是花粉，對於液體中各種不同的懸浮微粒，都可以觀察到同樣的運動。取一滴稀釋了的墨汁放在顯微鏡下觀察，可以看到小碳粒在做無規則的運動。後來人們把懸浮在液體中的微粒不停地做無規則的運動叫做布朗運動。

布朗運動的特點

在顯微鏡下看到布朗運動有三個特點：

(1)布朗運動是永不停止的。(2)大的懸浮微粒幾乎不動，越小的懸浮微粒運動得越活躍。(3)溫度越高，布朗運動越活躍。

布朗運動可以說明分子的運動是不停的，無規則的，溫度越高運動越劇烈。

布朗運動說明甚麼

布朗運動是怎樣產生的呢？起初，人們認為是由外界影響，如震動、液體的對流等引起的，但實驗表明，在儘量排除外界影響的情況下，布朗運動仍然存在。只要微粒足夠小，在任何液體中都可以觀察到布朗運動。布朗運動決不會停止，連續觀察許多天甚至幾個月，也看不到這種運動會停下來亦象。可見布朗運動的原因不在外界，而在液體內部，這說明水分子的運動是永不停止的。

水分子撞擊懸浮微粒時，如果分子數量巨大而且是無規則的，這些撞擊就會抵消，微粒就會平衡。大的微粒跟它碰撞的水分子數量巨大，受力平衡，所以不動；小的微粒跟它碰撞的水分子數量不太多，受力不平衡，所以會動，微粒越小，受力越不平衡，運動越活躍。這說明了水分子的運動是無規則的。

溫度越高，布朗運動越劇烈，這說明了水分子的運動隨溫度的升高而加劇。

熱運動

液體分子永不停息的無規則運動是產生布朗運動的原因。因為做布朗運動的微粒是由無數分子組成的分子團，所以微粒作的布朗運動並不是分子的運動。布朗運動反映了液體內部分子的運動是不停的，無規則的，而且隨溫度的升高而加劇。所有分子都有這種特性。

我們把不停的，無規則的，隨溫度的升高而加劇的，數量極大的分子運動叫做熱運動。

第五節 熱膨脹

熱脹冷縮

我們已學過熱膨脹，知道物體受熱時會膨脹，冷卻時會收縮。熱膨脹的原因是：物體內的粒子(原子)運動會隨溫度改變，當溫度上升時，粒子的振動幅度加大，令物體膨脹；但當溫度下降時，粒子的振動幅度減少，使物體收縮。熱脹冷縮是一般物體的特性，但水（在 $0\sim 3.98^{\circ}\text{C}$ ）、銻、鉍、鎳和青銅等物質，在某些溫度範圍內受熱時收縮，遇冷時會膨脹，恰與一般物體特性相反。

固體的熱膨脹

固體發生熱膨脹時，各方向的長度、面積和體積都會變化。其長度變化可用以下公式來計算： $L=L_0(1+\alpha t)$ 。

上式中的 L 為物體在溫度 t 時的長度， L_0 為物體在 0°C 時的長度， α 為線膨脹係數。線膨脹係數的單位為 $1/^{\circ}\text{C}$ 。下表是某些固體的線膨脹係數。

物質	線膨脹係數($1/^{\circ}\text{C}$)	物質	線膨脹係數($1/^{\circ}\text{C}$)
熔凝石英	$4\cdot 10^{-7}\sim 5\cdot 10^{-7}$	水泥	$1.4\cdot 10^{-5}$
金剛石	$1.3\cdot 10^{-6}$	金	$1.42\cdot 10^{-5}$
木(順纖維方向)	約 $6\cdot 10^{-6}$	銅	$1.7\cdot 10^{-5}$
木(垂直纖維方向)	約 $5\cdot 10^{-5}$	銀	$1.97\cdot 10^{-5}$
大理石	約 $1.2\cdot 10^{-5}$	硬橡膠	約 $7\cdot 10^{-5}$

固體熱膨脹時面積的變化可用以下公式來計算： $S=S_0(1+2\alpha t)$ 。

上式中的 S 為物體在溫度 t 時的面積， S_0 為物體在 0°C 時的面積， α 為線膨脹係數。固體熱膨脹時體積的變化可用以下公式來計算：

$$V=V_0(1+3\alpha t)。$$

上式中的 V 為物體在溫度 t 時的體積， V_0 為物體在 0°C 時的體積， α 為線膨脹係數。

液體的熱膨脹

因為液體沒固定的形狀，發生熱膨脹時我們著重關心其體積的變化，所以我們不考慮其長度和面積的變化。其體積變化可用以下公式來計算：

$$V=V_0(1+\beta t)。$$

上式中的 V 為物體在溫度 t 時的體積， V_0 為物體在 0°C 時的體積， β 為體膨脹係數。體膨脹係數的單位為 $1/^{\circ}\text{C}$ 。

下表是某些液體的體膨脹係數。

物質	體膨脹係數($1/^{\circ}\text{C}$)	物質	體膨脹係數($1/^{\circ}\text{C}$)
水銀	$1.82\cdot 10^{-4}$	煤油	$1.0\cdot 10^{-3}$
水(20°C 左右)	$2.1\cdot 10^{-4}$	酒精	$1.1\cdot 10^{-3}$
甘油	$5.0\cdot 10^{-4}$	乙醚	$1.66\cdot 10^{-3}$

第十七章 內能

第一節 內能

溫度

很熱！很熱！有多熱呢？很冷！很冷！有多冷呢？只用冷和熱是表達得不準確的。用溫度就能準確地表示物體的冷熱程度。溫度是表示冷熱程度的物理量。

我們常見的華氏溫標(t_F)、攝氏溫標(t)和熱力學溫標(T)，是溫度的三種單位。

華氏溫標把標準大氣壓下的冰點定為 32° ，水的沸點定為 212° ，兩點之間分為 180 格，每一格定為華氏 1 度，用“F”表示。

攝氏溫標把標準大氣壓下的冰點定為 0° ，水的沸點定為 100° ，兩點之間分為 100 格，每一格定為攝氏 1 度，用“ $^{\circ}\text{C}$ ”表示。

1968 年國際計量大會規定：熱力學溫標的溫度為基本溫度，其單位是開爾文，簡稱開，用“K”表示。熱力學溫標的 0 K 為自然界的低溫極限，只可無限接近它，而不能達到它。因此，熱力學溫標又叫做絕對溫標。

三種溫標之間的換算關係為：

$$t = 5(t_F - 32)/9 ;$$

$$t_F = 9t/5 + 32 ;$$

$$t = T - 273.15 \text{ 或 } t = T - 273 .$$

熱力學溫標和攝氏溫標的溫度差在數值上是相等的，如果溫度變化了 30°C 的話，這溫度的變化也是 30K。即： $\Delta T = \Delta t$ 。不過請注意， 30°C 是不等於 30K 的， $30^{\circ}\text{C} = 303\text{K}$ 。即： $T \neq t$ 。

例一 人體的正常溫度是多少華氏度？是多少開？

已知 人體的正常溫度是 37°C

解 $t_F = 9t/5 + 32 = 9 \times 37/5 + 32 = 98.6(\text{F})$

$$T = t + 273.15 = 37 + 273.15 = 310(\text{K})$$

答：人體的正常溫度是 98.6F，是多少 310K。



伽利略溫度計

分子動能

分子做熱運動，分子就有動能。分子做熱運動而具有的動能叫做分子動能。請注意，整個物體運動而具有的動能是機械能，而不是分子動能。

因為每個分子的運動是無規則的，所以計算單個分子的動能沒意義，統計全部分子的運動才有意義。我們一般會統計分子的平均動能(E_K)，研究發現，物

體內分子的平均動能跟溫度有關，分子的平均動能越大，溫度越高。研究又發現，分子的平均動能跟熱力學溫度是單值函數。因此，溫度是分子平均動能的標誌。物體內分子動能的總量等於分子的數量(N)跟平均動能($E_{k平}$)的積： $E_{k總} = NE_{k平}$ 。

有些書籍把分子動能叫做熱能。

分子勢能

分子力能對分子做功，使分子具有能量，這種能叫做**分子勢能**。分子勢能跟重力勢能同屬勢能類。

重力勢能的大小跟物體與地球的位置有關，分子勢能的大小也跟分子間的距離有關。因為分子離開平衡位置時，都要克服分子力做功，使分子勢能增加，所以分子在平衡位置的勢能是最小的。

由於分子勢能跟分子距離有關，所以物體內分子勢能的總量跟物體的體積有關。因為分子離開平衡位置時，分子勢能都會增加，所以物體的體積增大或縮小時，它的勢能都可能是增加的。

內能

物體內所有分子的動能和勢能的總和叫做**內能**。任何的物體都具內能。不少的科普書籍會把內能叫做熱能。

物體含有內能的多少，受物體所含分子數量、體積和溫度三個因素影響。

	意義	影響的微觀量	影響的宏觀量
分子動能	分子作熱運動而具有的動能	分子的質量速度 ($mv^2/2$)	物體的溫度 (溫度升可增動能)
分子勢能	由分子力引起的能	分子間的距離(r)	物體的溫度 (V 增,勢能未必增)
內能	分子動能和分子勢能的總和	分子的質量和熱運動速度 分子間的距離 分子數量	物體的溫度 物體的溫度 摩爾數

例 下列說法中正確的是：

- A 物體的分子動能的總和就是物體的內能
- B 對於同一種氣體，溫度越高，分子平均動能越大
- C 要使氣體的分子平均動能增大，外界必須向氣體傳熱
- D 一定質量的氣體，溫度升高時，分子間的平均距離一定增大

解 A 因為內能是物體內分子動能和勢能的總和，所以 A 錯。

B 因為溫度是分子平均動能的標誌，溫度平均速度越大，所以 B 對。

C 氣體平均動能增大，溫度升高，應該吸熱，所以 C 錯，所以 C 錯。

D 因為溫度與分子平均距離沒有必然的關係，所以 D 錯。

答：選 B。

第二節 改變內能的方法

熱傳遞改變物體內能

科學研究發現，可以利用內能做功來推動機器或做其它事情，在這些研究中所涉及的總是內能的變化。那麼，什麼物理過程可以改變物體的內能呢？

鐵塊通過熱傳遞吸熱後，溫度升高了，它的分子平均動能增加了。 0°C 的冰塊吸熱溶解，雖然它的溫度不變，分子平均動能不變，但它的體積變了，分子勢能增加了。上述例子說明**熱傳遞可以改變物體的內能**。

熱傳遞過程，實際是內能從溫度較高的物體轉移到溫度較低的物體的過程。熱量是以熱傳遞方式轉移的內能的數量。請注意：熱量並不是表示物體有多少內能的量。

做功改變物體內能

做功也可以改變物體的內能。用鋸鋸木頭，克服摩擦力做功，鋸條和木頭的溫度升高，分子平均動能增加。用錘子快速地敲打鐵釘，錘子和鐵釘的溫度升高，平均動能增加。電水壺利用電流做功，水的溫度升高，平均動能增加。氣體膨脹做功，氣體的溫度降低，平均動能減少。因為上述過程機械能或電能變化了，內能也變化了，所以這是機械能與內能相互轉化的過程。**做功改變物體的內能是其它形式的能與內能轉化的過程。**

熱功當量

一桶水可以用熱傳遞的方式傳給它一定的熱量，使它從某一溫度升高到另一溫度；也可以用做功的方式，比如用攪拌器在水中攪拌，使它升高同樣的溫度。兩種方式不同，得到的結果卻相同。除非事先知道，我們將無法區別是哪種方式使這桶水的內能增加的。可見，**做功和熱傳遞對改變物體的內能是等效的。**但是，兩者的原理不同。

既然做功和熱傳遞對改變物體內能是等效的，功和熱量之間就應該有確定的數量關係。在物理學的發展史上，曾規定熱量的單位為卡路里。使1克水的溫度升高 1°C 所需的熱量就是1卡路里，卡路里簡稱為卡，符號為“cal”。如果功和熱量之間有確定的數量關係，1卡的熱量相當於多少焦耳(J)的功？相當於單位熱量的功的數值叫做**熱功當量**。歷史上第一個用實驗測定熱功當量的人是英國物理學家焦耳。焦耳花了很長時間，做了很多實驗才比較準確地測出了熱功當量的數值。焦耳測得的熱功當量為：

$$1\text{cal}=4.2\text{J}, \text{ 或者 } 1\text{J}=0.24\text{cal}。$$

熱功當量進一步證明做功和熱傳遞對改變物體的內能是等效的，因此，功、熱量和能量可以使用相同的單位。現在國際單位制中規定它們統一用焦耳(J)作單位。

第三節 能量守恆定律

熱力學第一定律

現在我們來研究做功、熱傳遞跟內能變化之間的定量關係。

設物體處於絕熱狀態，它跟外界不發生熱交換，也就是它既沒有吸收也沒有放出熱量，那麼，外界對它做多少功，它的內能就增加多少。設外界對物體所做的功為 W ，內能的變化量為 ΔE ，那麼就有： $W = \Delta E$ 。在物體對外界做功的情況下，上式同樣適用，這時 W 取負值， ΔE 也是負值，這負值表示內能減少。

設外界既沒有對物體做功，物體也沒有對外界做功，那麼物體吸收了多少熱量，它的內能就增加多少。設物體吸收的熱量為 Q ，內能的變化量為 ΔE ，那麼就有： $Q = \Delta E$ 。在物體放出熱量的情況下，上式同樣適用，這時 Q 為負值， ΔE 也是負值，這負值表示內能減少。

在一般情況下，物體跟外界同時發生做功和熱傳遞的過程，那麼，外界對物體所做的功 W 加上物體從外界吸收的熱量 Q ，等於物體內能的變化量 ΔE ，即 $W + Q = \Delta E$ 。這個關係叫做熱力學第一定律。熱力學第一定律表示了功、熱量跟內能變化之間的定量關係。

下表是熱力學第一定律中各量的取值說明

	取正值	取負值
W	外界對物體做功 [壓縮氣體]	物體對外界做功 [氣體膨脹]
Q	吸熱	放熱
ΔE	內能增加	內能減少

能量守恆定律

熱力學第一定律表示：某物體的內能增了多少，其它物體的能就少相等的數量；同樣，某物體的內能減了多少，其它物體的能就增加相等的數量。能量在轉化或轉移中總量不變。我們已知：功是能量轉化的量度，做功使其他形式的能和內能發生相互轉化，做了少功，就轉化了多少能量；熱量是內能傳遞的量度，傳了多少熱量，內能就改變了多少。

大量的事實證明：各種形式的能都可以相互轉化或轉移，並且在轉化或轉移過程中守恆。能量既不會憑空產生，也不會憑空消失，它只能從一種形式轉化為別的形式，或者從一個物體轉移到別的物體。這就是能量守恆定律。

任何形式的能都可以和內能相互轉化。通過電流的導線變熱，電能轉化成內能。燃料燃燒放熱，化學能轉化成內能。熾熱的燈絲發光，內能轉化成光能。實驗證明，在這些轉化中能量都是守恆的。

例 高為 20 米的瀑布，假定落到瀑布底部的水損失的機械能有 70%轉化為熱，且被水所吸收，這些熱能使水的溫度升高多少？

已知 $h=20\text{m}$ $\eta=0.7$ $C_{\text{水}}=4200\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$

求 水升高的溫度 Δt 。

解 機械能轉化為內能使水升溫的熱量為：

$$Q=0.7mgh=0.7*9.8*20m=137.2m(J)。$$

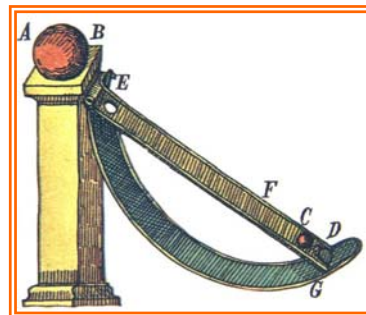
水升高的溫度為：

$$\Delta t=Q/C_{水}m=173.2/4200=0.041^{\circ}\text{C}。$$

答：水的溫度升高了 0.041°C 。

永動機

歷史上有不少人希望設計一種機器，這種機器不消耗任何能量，卻可以源源不斷地對外做功。這種機器被稱為永動機。雖然經過無數次嘗試，作了各種努力，永動機無一例外地歸於失敗。人類通過不斷實踐和研究，逐漸認識到，任何機器對外界做功，都要消耗能量。不消耗能量，機器是無法做功的。能量守恆定律的發現使人們進一步認識到：任何一部機器，只能使能量從一種形式轉化為另一種形式，而不能無中生有地創造能量。人類利用自然，必須遵循自然規律。人類要設法找出合理利用能源的途徑，並減少機器運轉過程中不必要的能量損耗，而不是去研製永遠無法實現的永動機。

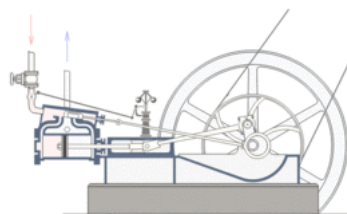


第四節 熱機

熱機或稱熱引擎，是能夠將熱源提供的部分內能轉化成為對外輸出機械能的機器。常見的熱機有蒸汽機，內燃機，和火箭發動機等類別。

蒸汽機

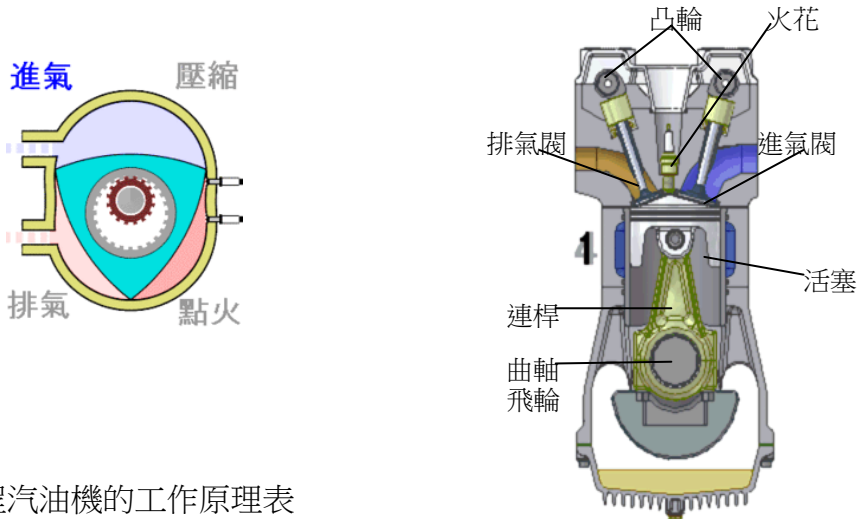
蒸汽機是一個能夠將蒸汽中的內能轉換為機械能的熱機。蒸汽機需要一個使水沸騰產生高壓蒸汽的鍋爐，這個鍋爐可以使用木頭、煤、石油或天然氣甚至核反應堆作為熱源。蒸汽機主要有活塞式和渦輪式兩大類別。



內燃機

內燃機是將液體或氣體燃料與空氣混合後，直接輸入機器內部燃燒產生內能再轉化為機械能的一種熱機。內燃機具有體積小、質量小、便於移動、熱效率高、起動性能好的特點。內燃機又分為活塞式、渦輪噴汽式和火箭式等類別。

活塞式內燃機又分為二衝程、四衝程、三角活塞式等多種類型。這些內燃機多用於車輛和各種移動性的機器。



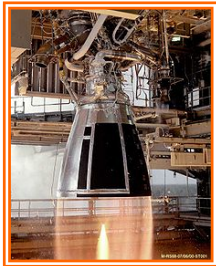
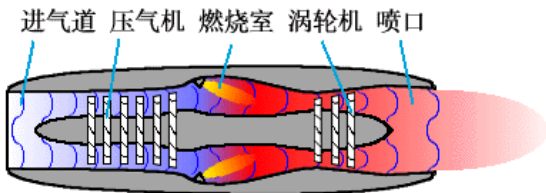
四衝程汽油機的工作原理表

衝程順序	進氣門	排氣門	火花塞	活塞行程	曲軸轉動	作用和效能
1 吸氣	開	關		下行	1/2 周	吸新鮮空氣
2 壓縮	關	關	點 火	上行	1/2 周	利用飛輪的慣性推動活塞壓縮空氣,機械能轉化為內能.
3 做功	關	關		下行	1/2 周	點火燃燒汽油,空氣膨脹推動活塞做,內能轉化為機械能.
4 排氣	關	開		上行	1/2 周	排走廢氣

反衝式內燃機

燃汽渦輪發動機是反衝式內燃機的一種，又分為渦輪扇發動機、渦輪軸發動機、渦輪螺槳發動機、渦輪噴射發動機等類型。燃汽渦輪發動機多用於飛機等高速運動的機器上。

火箭發動機是反衝式內燃機的一種，火箭使推進劑燃燒後變成高速射流向後噴射，利用噴射的反衝力推動火箭前進。火箭引擎可用於太空飛行器推進，也可用於飛彈等地面應用。大部分火箭引擎都是內燃機，也有非燃燒形式的引擎。



第十八章 氣體

第一節 氣體的狀態參量

狀態參量和平衡態

氣體總要處於某一個狀態的，用來表示某狀態特徵的一組物理量叫做氣體狀態參量。經研究發現，選取**壓強、溫度、體積**或**壓強、溫度、密度**為氣體狀態量較為合適。

被研究的氣體，在和外界沒有熱交換的情況下，狀態參量不隨時間而變化的狀態叫做平衡態。處於平衡態的氣體，其溫度、密度和壓強處處相等。在以後的敘述中，沒特別說明的氣體狀態均為平衡態。

氣體的體積

因為被容器盛着的氣體是會充滿容器的，所以容器的容積等於氣體的體積。容積的單位是升(L)，輔助單是毫升(mL)。

$$1\text{L}=10^3\text{ mL}。$$

容積跟體積的換算關係為：

$$1\text{L}=1\text{dm}^3=10^{-3}\text{m}^3；1\text{mL}=1\text{cm}^3=10^{-6}\text{m}^3。$$

我們把氣體處於 1atm ， 0°C 的狀態叫做**氣體的標準狀態**。處於標準狀態的 1mol 任何氣體，它的體積都是 22.4L 。

氣體壓強的成因

氣體壓強的產生可以用分子運動的觀點解釋。因為氣體是由大量的做無規則運動的分子組成，而這些分子必然要對浸在氣體中的物體不斷發生碰撞，每次碰撞，氣體分子都要給予物體表面一個衝力。因為氣體內部的分子數量十分巨大，運動的速度也很快，所以氣體分子十分頻密地碰撞物體的表面，每秒、每平方厘米有數十億次或者更多。高頻率、高密度的衝力，結果就表現為對物體表面產生一個平均、穩定的壓力和壓強。若單位時間內氣體分子對物體表面的單位面積碰撞次數越多，碰撞時的平均動量越大，產生的壓強就越大。

因為分子的每次碰撞的衝力都是垂直於物體表面，指向物體的，所以**氣體對物體壓力總是垂直物體表面，指向物體的**。

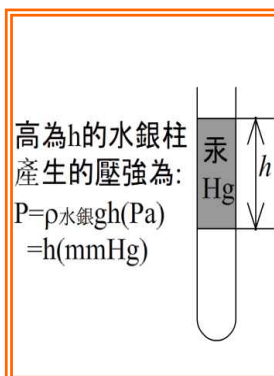
氣體壓強的單位

氣體壓強的單位很多，現在常用的有帕斯卡(Pa)、標準大氣壓(atm)和毫米汞柱(mmHg)或厘米汞柱(cmHg)。汞(Hg)柱的高度是多少 mm，它產生的壓強就是多少 mmHg。帕斯卡簡稱為帕。它們之間的換算如下：

$$1\text{cmHg}=10\text{mmHg}；$$

$$1\text{atm}=1.01\times 10^5\text{Pa}=760\text{mmHg}$$

如果壓強為 $X\text{atm}$ ，轉換成其它單位為：



$$X_{\text{atm}} = X \cdot 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa} = X \cdot 760 \text{ mmHg}。$$

如果壓強為 $Y \text{ Pa}$ ，轉換成其它單位為：

$$Y \text{ Pa} = Y(1/1.01 \cdot 10^5) \text{ atm} = Y(760/1.01 \cdot 10^5) \text{ mmHg}。$$

如果壓強為 $Z \text{ mmHg}$ ，轉換成其它單位為：

$$Z \text{ mmHg} = Z(1/760) \text{ atm} = Y(1.01 \cdot 10^5/760) \text{ Pa}。$$

被液體封閉的氣體的壓強

如圖(1)所示，靜止的液柱封閉了豎直放置的玻璃管下方的氣體。取液柱下方無限薄的一層液體為研究對象，設液柱的截面積為 S ，液柱下方氣體的壓強為 $P_{\text{下}}$ ，液柱上方的氣壓為 $P_{\text{上}}$ 。對象受到向下的壓力 $\rho ghS + P_{\text{上}}S$ ，向上的壓力 $P_{\text{下}}S$ 。據力的平衡條件有：

$$\rho ghS + P_{\text{上}}S = P_{\text{下}}S；$$

得

$$P_{\text{上}} = P_{\text{下}} - \rho gh \dots \dots \dots (1)$$

如圖(2)所示，靜止的液柱封閉了豎直放置玻璃管上方的氣體。取液柱下方無限薄的一層液體為研究對象，設液柱的截面積為 S ，液柱上方氣體壓強為 $P_{\text{上}}$ ，液柱下方的氣壓為 $P_{\text{下}}$ 。對象受到向下的壓力 $\rho ghS + P_{\text{上}}S$ ，向上的壓力 $P_{\text{下}}S$ 。據力的平衡條件有：

$$\rho ghS + P_{\text{上}}S = P_{\text{下}}S；$$

得

$$P_{\text{上}} = P_{\text{下}} - \rho gh \dots \dots \dots (2)$$

如圖(3)所示，靜止的液柱封閉了豎直放置的 U 形玻璃管上方的氣體。取液柱最下方 A 處無限薄的一層截面液體為研究對象，設液柱的截面積為 S ，較高液面處氣體壓強為 $P_{\text{上}}$ ，較低液面處氣體壓強為 $P_{\text{下}}$ 。對象受到向左的壓力為 $\rho gH_1S + P_{\text{上}}S$ ，向右的壓力為 $\rho g(h+H_2)S + P_{\text{上}}S$ ，向右的壓力為 $\rho gH_2S + P_{\text{下}}S$ 。據力的平衡條件有：

$$\rho g(h+H_2)S + P_{\text{上}}S = \rho gH_2S + P_{\text{下}}S；$$

得對氣體壓強為：

$$[h = H_2 - H_1]$$

$$P_{\text{上}} = P_{\text{下}} - \rho gh \dots \dots \dots (3)$$

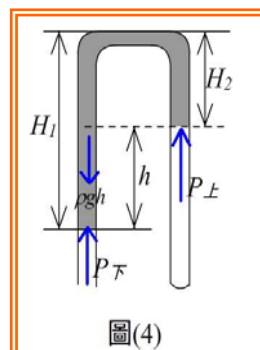
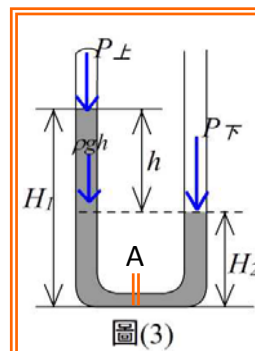
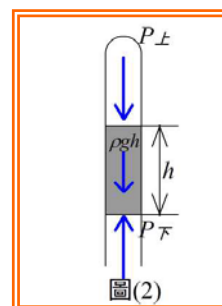
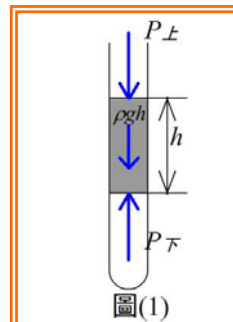
如圖(4)所示，設液柱兩面的高度差為 h ，較高液面處的氣體壓強為 $P_{\text{上}}$ ，較低液面處的氣體壓強為 $P_{\text{下}}$ 。同理可得：

$$P_{\text{上}} = P_{\text{下}} - \rho gh \dots \dots \dots (4)$$

以上各例的結果均為：

$$P_{\text{上}} = P_{\text{下}} - \rho gh。$$

事實證明，以上結果對於被液體對閉的氣體均適用。 h 是上、下液面的高度差。



如果液柱是斜的，那麼液柱長度不等於高度。因為上式中 ρgh 的單位是 Pa 為，所以其餘量均以 Pa 為單位較為便，如果上述情況的液體為水銀，則上式以 mmHg 為單位較方便，上式可改為：

$$P_{\perp} = P_{\top} - h \cdot \rho g$$

被活塞封閉的氣體的壓強

如圖(5)所示，薄壁汽缸開口向上，汽缸內的氣體被質量為 m 的活塞封閉。設缸外的氣壓為 P_0 ，缸內的氣壓為 P ，活塞的面積為 S 。對活塞作受力分析，受力如圖(5)所示，活塞平衡時有：

$$P_0 S + mg = PS$$

得：

$$P = P_0 + mg/S$$

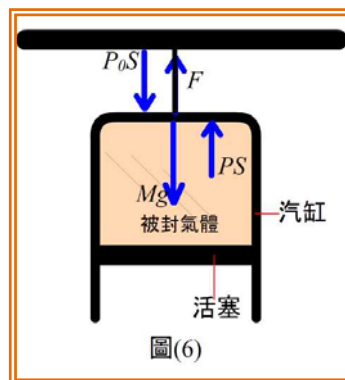
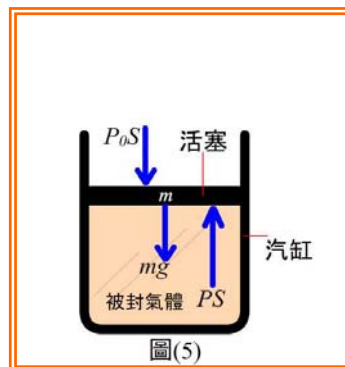
如圖(6)所示，薄壁汽缸口向下懸掛着。設汽缸質量為 M ，汽缸外的氣壓為 P_0 ，汽缸內的氣壓為 P ，活塞的橫截面積為 S ，懸掛的拉力為 F 。對汽缸作受力分析，受力如圖(6)所示，汽缸的側壓力均相互抵消了，活塞不動時有：

$$P_0 S + Mg = PS + F$$

得：

$$P = P_0 + Mg/S - F/S$$

求被活塞封閉的氣體的壓強，一般都要先選一物體作受力分析，然後再利用力的平衡方程 $\Sigma F = 0$ 來求解。



第二節 玻意耳定律

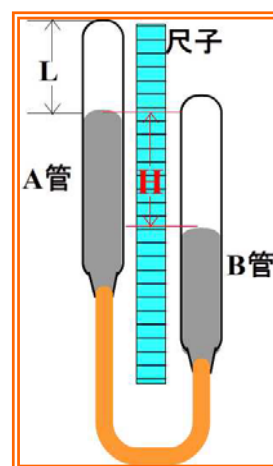
玻意耳定律

氣體在溫度保持不變的情況下發生的狀態變化，叫做等溫變化。現在我們研究一定質量的氣體在等溫情況下壓強隨體積而變化的規律。

實驗裝置如右圖所示。A、B 兩玻璃管用橡膠管相連，中間灌有水銀，拉動 B 管可使封在 A 管中的氣體發生等溫變化。氣體的體積為長度 L 乘以 A 管的橫截面積 S ，氣體的壓強可由兩水銀面的高差 H 計出。

下表是用該實驗測得的若干組數據。

封閉氣體的壓強(*105Pa)	1.43	1.25	1.12	1.00	0.913	0.833
封閉氣體的積(*10 ⁻⁵ m ³)	3.5	4.0	4.5	5.0		5.5
$C = PV$	5.01	5.00	5.00	5.00	5.02	5.00



上表 中 C 的二位有效數字均為 5.0。根據誤差理論，可認為 C 是常數，即 P 跟 V 成反比。

在不同的溫度下做實驗，或者換用其他氣體做實驗，都得到相同的結論。

一定質量的某種氣體，在溫度保持不變時，它的壓強跟體積成反比，或者說，壓強跟體積的乘積保持不變。這個結論是英國科學家玻意耳和法國科學家馬略特各自獨立發現的，叫做玻意耳定律。玻意耳定律的數學表達式為：

$$PV=C;$$

或

$$P_1V_1=P_2V_2。$$

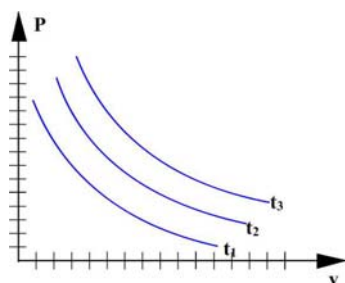
上式中 P_1 和 V_1 分別為氣體在某一狀態的壓強和體積， P_2 和 V_2 分別為氣體在另一狀態的壓強和體積。應用上式時要求壓強的單位相同、體積的單位相同。

等溫曲線

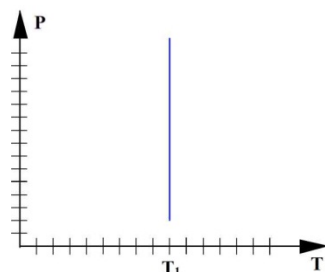
P -- V 等溫線

在平面直角坐標系中，用縱軸表示壓強 P ，用橫軸表示體積 V ，根據實驗數據，可在座標平面上描出若干個點，一個點表示氣體的一個狀態。由這些點連成的平滑曲線，叫做氣體的 P -- V 等溫線。 P -- V 等溫線的圖象是一條反比例曲線，也是雙曲線圖象其中一支。圖象的一段曲線表示氣體狀態的一段變化過程。

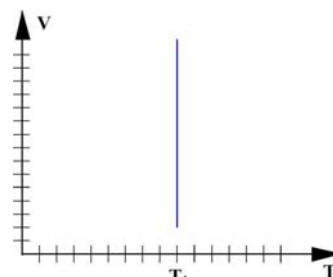
實驗表明：對一定質量的某種氣體，溫度越高，常量 C 的數值越大。圖(一)表示一定質量的某種氣體分別在溫度 t_1 、 t_2 、 t_3 下的幾條等溫線。 $t_1 < t_2 < t_3$ 。



圖(一)



圖(二)



圖(三)

P -- T 等溫線

在平面直角坐標系中，用縱軸表示壓強 P ，用橫軸表示溫度 T 。一定質量的氣體作等溫變化的圖象是一條垂直於 T 軸的直線，這條直線叫做氣體的 P -- T 等溫線，如圖(二)所示。線上每個狀態的溫度都是 T_1 。因為氣體的壓強不能等於、小於零，所以 P -- T 等溫線不能與橫軸相交。

V -- T 等溫線

在平面直角坐標系中，用縱軸表示體積 V ，用橫軸表示溫度 T 。一定質量的氣體作等溫變化的圖象是一條垂直於 T 軸的直線，這條直線叫做氣體的 V -- T 等溫線，如圖(三)所示。線上每個狀態的溫度都是 T_1 。因為氣體的壓強不能等於、小於零，所以 P -- T 等溫線不能與橫軸相交。

例一 在圖中，水銀柱的長度 25cm，大氣壓為 760mmHg。玻璃管是粗細均勻的。玻璃管開口向上豎直放置時，被封閉的氣體柱長 30cm，把玻璃管緩緩倒轉至開口向下豎直放置時水銀仍未流出，此時被封閉的氣柱的長度是多少？

已知 $h=25\text{cm}$ $P=76\text{cmHg}$ $l_1=30\text{cm}$

求 後來空氣柱的長度 l_2 。

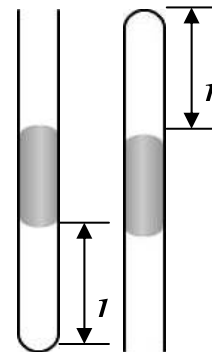
分析 設管的截面積為 S 。管口向上時的體積為 $V_1=30S$ ，壓強為 $P_1=76+25=101\text{cmHg}$ ；管口向下時的體積為 $V_2=l_2S$ ，壓強為 $P_2=76-25=51\text{cmHg}$ 。

解 據玻意耳定律 $P_1V_1=P_2V_2$ 有：

$$101 \cdot 30S = 51 \cdot l_2S ;$$

解得 $l_2=59.4\text{cm}$ 。

答：玻璃管豎直，口向下時被封的氣柱長度為 59.4cm。



例二 截面積為 100cm^2 ，豎直放置的圓柱形氣缸里，封閉著一定質量的氣體，氣缸側面有一細管與一裝有水銀的 U 形管相通，它的另一端封閉著一定質量的空氣，如圖所示。活塞重量和摩擦不計，當大氣壓為 1.0×10^5 帕，U 形管水銀高差為 7.6 厘米時，要使管內氣體壓強為 2.1×10^5 帕，必須在活塞上加多重的物體。

已知 $S=0.01\text{m}^2$ $h=0.076\text{m}$ $P_1=2.1 \cdot 10^5\text{Pa}$

$$P_0=1.0 \cdot 10^5\text{Pa} \quad \rho_{\text{Hg}}=13.6 \cdot 10^3\text{kg/m}^3 [\text{查表得}]$$

求 加在活塞上物體的重量 G 。

分析 本題應取活塞為研究對象，活塞受到重物對活塞向下的壓力，大小等於重物的重力 G ，向下的大氣壓力 P_0S ，向上的缸內氣體壓力 P_2S 。氣缸內的氣體壓強等於 U 形管內較低液面的壓強 $P_2=P_1+\rho gh$ 。

解 缸內氣體壓強為：

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 + \rho gh \\ &= 1.01 \cdot 10^5\text{Pa} + 13.6 \cdot 10^3 \cdot 9.8 \cdot 0.076 \\ &= 2.2 \cdot 10^5\text{Pa}。 \end{aligned}$$

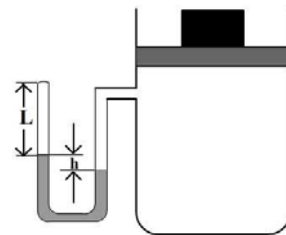
活塞靜止時有：

$$G + P_0S = P_2S ;$$

解得

$$G = P_2S - P_0S = (2.2 - 1.0)10^5 \cdot 0.01 = 1.2 \cdot 10^3(\text{N})。$$

答：所加物的重量為 $1.2 \times 10^3(\text{N})$ 。



例三 一個體積為 V 的鋼筒中裝有壓強為 P 的氣體，在恒溫中用容積為 ΔV 的抽氣機抽氣，抽 n 次後，鋼筒中氣體壓強為多大？

已知 V ΔV n

求 抽氣 n 次後鋼筒中氣體壓強 P_n 。

分析 把鋼筒內原有的氣體作為第一狀態，抽氣後鋼筒內的氣體和抽出的氣體看作是氣體的第二狀態，由第一狀態變至第二狀態氣體質量沒變。由實際經驗可知，抽氣時溫度不變。抽第一次氣後，氣體的體積由 V 變為 $V+\Delta V$ ，壓強由 P 變為 P_1 。連續應用玻意爾定律，運用數學歸納法便可得結果。

解 根據玻意耳定律：

第一次抽氣 $PV=P_1(V+\Delta V)$ ，

得 $P_1=PV/(V+\Delta V)$ ；

第二次抽氣 $P_1V=P_2(V+\Delta V)$ ，

得 $P_2=P_1(V/(V+\Delta V))=P(V/(V+\Delta V))^2$ ；

第三次抽氣 $P_2V=P_3(V+\Delta V)$ ，

得 $P_3=P_2(V/(V+\Delta V))$
 $=P(V/(V+\Delta V))^2(V/(V+\Delta V))=P(V/(V+\Delta V))^3$ ；

.....如此類推

第 n 次抽氣後，鋼筒內氣體壓強變為： $P_n=P(V/(V+\Delta V))^n$ 。

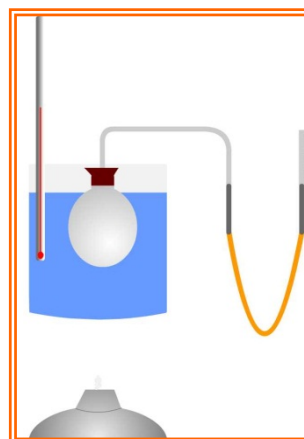
答：抽 n 次後，鋼筒中氣體壓強為 $P_n=P(V/(V+\Delta V))^n$

第三節 查理定律 蓋呂薩克定律

查理定律

氣體在體積保持不變的情況下發生的狀態變化，叫做**等容變化**。現在我們研究一定質量的氣體在等容情況下壓強與溫度之間的變化規律。

實驗裝置如右圖所示。燒瓶中氣體的溫度與水的溫度相同，可用溫度計測出。調節水銀壓強計的右管，使左管的水銀面保持原來的位置，即保持燒瓶中氣體的體積不變。測量出兩管中水銀面的高度差和大氣壓，便可以求得燒瓶裡氣體的壓強。用酒精燈加熱，或用冰塊降溫，改變水的溫度。



1787 年法國科學家查理通過上述實驗研究發現，不論什麼氣體，都遵從下述規律：一定質量的某種氣體，在保持體積不變的情況下，溫度每升高（或降低） 1°C ，增加（或減小）的壓強等於它在 0°C 時壓強(P_0)的 $1/273$ 。這個規律叫做查理定律。查理定律的數學表達式為：

$$P=P_0(1+t/273).....(1)$$

如果把上式的溫度由攝氏溫標換成熱力學溫標，代入 $t=T-273$ 則有：

$$P=(P_0/273)T=CT。$$

設(1)式中的($P_0/273$)為常量 C 。上式是一個正比例函數，表示 P 與 T 成正比。根據正比例的關係有：

$$P_1/T_1=P_2/T_2=C.....(2)$$

分比定理：如果 $a/b=c/d$ 則有 $(a-b)/b=(c-d)/d$ 。根據分比定理，(2)式可變為：

$(P_2 - P_1)/P_1 = (T_2 - T_1)/T_1$ 。即：

$$\Delta P/P_1 = \Delta T/T_1 \dots\dots(3)$$

應用(2)式和(3)式時壓強的單位要相同、溫度的單位要用開爾文(K)。

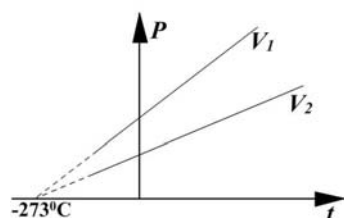


$P-t$ 、 $P-T$ 等容線

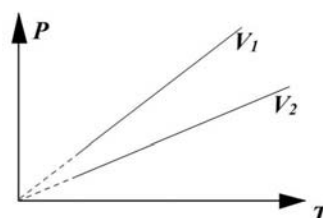
在平面直角坐標系中，用縱軸表示壓強 P ，用橫軸表示溫度 t ，得 $P-t$ 等容線是一次函數曲線。在平面直角坐標系中，用縱軸表示壓強 P ，用橫軸表示溫度 T ，得 $P-T$ 等容線是正比例曲線。

實驗表明：對一定質量的某種氣體，體積越大，曲線的斜率越小；等容線的下延線總是跟 t 軸交於 -273°C 處。圖(一)、圖(二)表示一定質量的某種氣體分別在體積為 V_1 、 V_2 兩條等容線。 $(V_1 < V_2)$

因為不可能使氣體的溫度為 0 K 、壓強為零，所以等容線不能到達 $(0\text{ K}, 0\text{ Pa})$ 或 $(273^{\circ}\text{C}, 0\text{ Pa})$ 的座標點上。



圖(一)



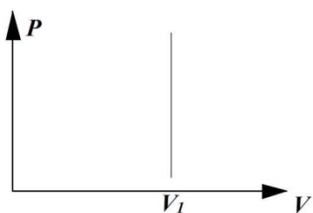
圖(二)

$P-V$ 等容線

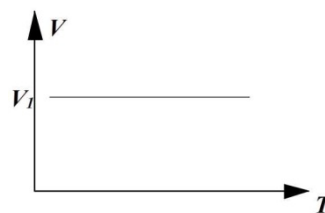
在平面直角坐標系中，用縱軸表示壓強 P ，用橫軸表示體積 V 。一定質量的氣體作等容變化的圖象是垂直於 V 軸的直線，這條直線叫做氣體的 $P-V$ 等容線。如圖(三)所示。

$V-T$ 等容線

在平面直角坐標系中，用縱軸表示體積 V ，用橫軸表示溫度 T 。一定質量的氣體作等容變化的圖象是垂直於 V 軸的直線，這條直線叫做氣體的 $V-T$ 等容線。如圖(四)所示。



圖(三)



圖(四)

例一 如圖所示，兩端封閉粗細均勻，豎直放置的玻璃管內有一長度為 h 的水銀柱，將管內氣體分為兩部分。已知 $L_1 = 2L_2$ 。若使兩部分氣體同時升高相同的溫度，管內水銀柱將如何運動？(設原來兩氣柱溫度相同)

已知 $L_1 = 2L_2$ $T_1 = T_1'$ $T_2 = T_2'$

求 水銀柱的運動。

分析 這是一個體積不斷變化的動態過程，其實我們只須假設水銀柱不動，兩邊的氣體作等容變化，用查理定律分別算出兩氣體的終態壓強，水銀柱會由壓強較大一方移向壓強較小的一方。

解 解 設開始時上方氣體的壓強為 P_1 ，下方氣體壓強為 P_2 ，則有： $P_2 > P_1$ 。

設開始時上方氣體的壓強為 P_1' ，下方氣體壓強為 P_2' 。根據查理定律，對上段氣柱有：

$$P_1'/P_1 = T_1'/T_1 ;$$

得： $P_1' = P_1 T_1'/T_1$ 。

同理，對下段氣柱有：

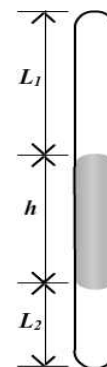
$$P_2'/P_2 = T_2'/T_2 ;$$

得： $P_2' = P_2 T_2'/T_2$ 。

$\because T_1 = T_1' , T_2 = T_2' , P_2 > P_1 ,$

$\therefore P_2' > P_1' .$

答：水銀柱原來是靜止的。因為溫度升高後，下段氣柱的壓強較大，即水銀柱受到向上的力大於向下的力，所以水銀柱向上移動。



蓋呂薩克定律

氣體在壓強保持不變的情況下發生的狀態變化，叫做等壓變化。現在我們研究一定質量的氣體在等壓情況下體積與溫度之間的變化規律。

實驗裝置如圖所示。試管內氣體的溫度與水的溫度相同，可用溫度計測得。試管內氣體的體積等於氣柱的長度跟橫截面積的積($V=LS$)，氣柱的長度可用尺直接測出。試管內氣體的壓強可保持不變，等於大氣壓加上水銀柱的壓強($P=P_0+\rho gh$)。

1787 年法國科學家蓋呂薩克通過實驗研究發現，不論什麼氣體，都遵從下述規律：一定質量的某種氣體，在保持壓強不變的情況下，溫度每升高(或降低) 1°C ，增加(或減小)的體積等於它在 0°C 時體積(V_0)的 $1/273$ 。這個規律叫做蓋呂薩克定律。蓋呂薩克定律的數學表達式為：

$$V = V_0(1 + t/273) \dots\dots(4)$$

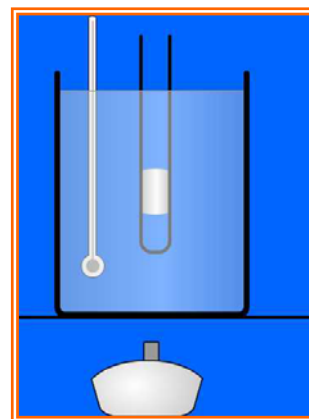
如果把(4)式的溫度由攝氏溫漂換成熱力學溫標，則有：

$$V = (V_0/273)T .$$

上式中的($V_0/273$)為常量。上式是一個正比例函數，表示 V 與 T 成正比。根據正比例的關係有：

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 = C \dots\dots(5)$$

分比定理：如果 $a/b=c/d$ 則有 $(a-b)/b=(c-d)/d$ 。根據分比定理，(5)式可變為



$(V_0 - V_1)/P_1 = (T_2 - T_1)/T_1$ 。即：

$$\Delta V/V_1 = \Delta T/T_1 \dots\dots(6)$$

應用(5)式和(6)式時體積的單位要相同、溫度的單位要用開爾文(K)。

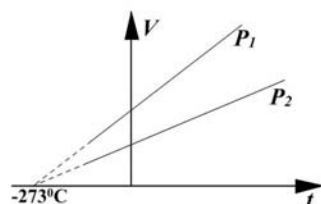
等壓線

$V-t$ 、 $V-T$ 等壓線

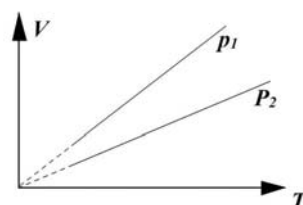
在平面直角坐標系中，用縱軸表示壓強 V ，用橫軸表示溫度 t ，得 $V-t$ 等容線的圖象是一次函數曲線。在平面直角坐標系中，用縱軸表示壓強 V ，用橫軸表示溫度 T ，得 $V-T$ 等容線的圖象是正比例曲線。

實驗表明：對一定質量的某種氣體，壓強越大，曲線的斜率越小；等壓線的下延線總是跟 t 軸交於 -273°C 處。圖(五)、圖(六)表示一定質量的某種氣體分別在壓強為 P_1 、 P_2 兩條等容線。 $(P_1 < P_2)$

因為不可能使氣體的溫度為 0K 、體積為零，所以等容線不能到達 $(0\text{K}, 0\text{m}^3)$ 或 $(2730\text{C}, 0\text{m}^3)$ 的座標點上。



圖(五)



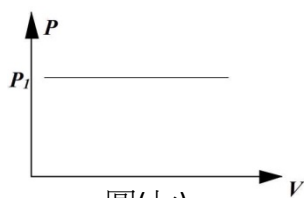
圖(六)

$P-V$ 等壓線

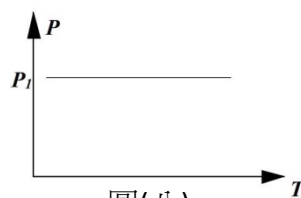
在平面直角坐標系中，用縱軸表示壓強 P ，用橫軸表示體積 V 。一定質量的氣體作等壓變化的圖象是垂直於 P 軸的直線，叫做 $P-V$ 等壓線。因為氣體的壓強不能零，所以 $P-V$ 等壓線不能與縱軸相交。如圖(七)所示。

$P-T$ 等壓線

在平面直角坐標系中，用縱軸表示體積 P ，用橫軸表示溫度 T 。一定質量的氣體作等壓變化的圖象是垂直於 P 軸的直線，叫做 $P-T$ 等壓線。因為氣體的壓強不能為零，所以 $P-T$ 等壓線不能與縱軸相交。如圖(八)所示。



圖(七)



圖(八)

第四節 理想氣體狀態方程

理想氣體

玻意耳定律、查理定律、蓋呂薩克定律叫做氣體實驗三定律。氣體實驗三定律實際上是在壓強不太大、溫度不太低的條件下總結出來的。在這種條件下，不論什麼氣體都近似地符合這三個實驗定律。但是，在壓強很大、溫度很低的條件下，這三個實驗定律的計算結果跟實驗結果就

會有一定的偏差。儘管如此，為了研究的方便，可以設想出一種氣體，能夠嚴格地遵守這三個實驗定律，這樣的氣體叫做**理想氣體**。理想氣體的分子是完全彈性的剛性質點、可忽略分子力和分子勢能。

控制變量法

一般情況下氣體的狀態變化時，它的三個參量都會變化。研究三個參量同時變化是比較困難的，研究氣體實驗定律的三位科學家都控制其中一個參量不變，剩下兩個參量變化，這樣就使問題變得簡單多了。研究多個參量同時變化時，想辦把其中一些參量的變化作出限制，使研究的問題變得簡單一些，這樣的研究方法叫做**控制變量法**。控制變量法是科學研究中常採用的好方法。

理想氣體狀態方程

根據玻意耳定律知道，一定質量的某種氣體，在溫度不變時，壓強跟體積成反比，即 $P \propto 1/V$ 。根據查理定律知道，一定質量的某種氣體，在體積不變時，壓強跟熱力學溫度成正比，即 $P \propto T$ 。綜合起來，我們得到結論：一定質量的某種氣體，壓強跟體積成反比，跟熱力學溫度成正比，即：

$$PV/T=C。$$

上式中的 C 是比例常量。上式又可寫成：

$$P_1V_1/T_1=P_2V_2/T_2。$$

上式中的 P_1 、 V_1 、 T_1 分別為氣體在某一狀態的參量， P_2 、 V_2 、 T_2 分別為這氣體在另某一狀態的參量。以上的二個方程叫做**理想氣體狀態方程**。應用該方程：要求氣體從一狀態變到另一狀態時質量保持不改變，體積的單位要相同、壓強的單位要相同、溫度的單位為開爾文。

例一 內燃機里氣態混合物在溫度等於 50°C ，壓強等於 1 個大氣壓時，體積是 0.93 升。移動活塞使氣態混合物的體積縮小到 0.155 升，壓強增大到 10 個大氣壓，那麼氣態混合物的溫度升高到多少度？

已知 $T_1=50^{\circ}\text{C}=323\text{K}$ $V_1=0.93\text{L}$ $P_1=1\text{atm}$ $V_2=0.155\text{L}$ $P_2=10\text{atm}$

求 氣體混合物壓縮後升高到的溫度 t_2 。

解 在初態時： $P_1=1\text{atm}$ ； $V_1=0.93\text{L}$ ； $T_1=323\text{K}$ 。

在末態時： $P_2=10\text{atm}$ ； $V_2=0.155\text{L}$ 。

根據氣態方程得：

$$T_2=P_2V_2T_1/P_1V_1=(10*0.155*323)/(1*0.93)=538.3(\text{K})。$$

$$t_2=T_2-273=265.3^{\circ}\text{C}。$$

答： 氣態混合物的溫度升高到 265.3°C 。

例二 設大氣壓是 76cmHg。一氣泡從深 25m，溫度為 4°C 的水底上升到溫度為 10°C 的水面時，它的體積是水底時體積的幾倍？(取 $g=10\text{m/s}^2$)

已知 $h=25\text{m}$ $t_1=4^{\circ}\text{C}$ $t_2=10^{\circ}\text{C}$ $P_0=76\text{cmHg}=10^5\text{Pa}$

求 氣泡在水面的體積為在水底的體積的倍數 V_2/V_1 。

解 氣泡初狀態的參量為：

$$P_1=P_0+\rho gh=10^5+10^3*10*25=3.5*10^5\text{Pa}; \quad T_1=4^{\circ}\text{C}=277\text{K}。$$

氣泡末狀態的參量為：

$$P_2=P_0=10^5\text{Pa}; \quad T_2=10^{\circ}\text{C}=283\text{K}。$$

據理想氣體狀態程有：

$$V_2/V_1=P_1T_2/P_2T_1=3.5*10^5*283/10^5*277=3.58(\text{倍})$$

答：氣泡在水面的體積是在水底的體積的 3.58 倍。

克拉珀龍方程

因為任何 1mol 的氣體在標準狀態下的體積均為 22.4L。

那麼，對於 1mol 任何理想氣體均有：

$$PV/T=1.01*10^5*22.4*10^{-3}/273=8.31(\text{J/K}\cdot\text{mol})。$$

設 $R=8.31(\text{J/K}\cdot\text{mol})$ ，對於 n mol 任何理想氣體均有：

$$PV/T=nR=(m/M)R。$$

上式叫做克拉珀龍程， R 叫做氣體常量。

如果取 $R=8.31(\text{J/K}\cdot\text{mol})$ ，應用上式時 P 、 V 、 T 均要用國際單位制的單位， m 和 M 的單位要取相同的質量單位。

推論

處於某狀態的氣體 $m_1=P_1V_1M_1/RT_1$ ；處於另一狀態的氣體 $m_2=P_2V_2M_2/RT_2$ ；把這兩種氣體放在同一容器中，其質量為 $m=PVM/RT$ 。因為 $m=m_1+m_2$ ，所以有：

$$P_1V_1M_1/T_1+P_2V_2M_2/T_2=PVM/T。$$

如果是同種氣體($M_1=M_2=M$)，則有：

$$P_1V_1/T_1+P_2V_2/T_2=PV/T。$$

理想氣體狀態方程和克拉珀龍方程的比較

公 式	氣體狀態	質量要求
$P_1V_1/T_1=P_2V_2/T_2=C$	涉及兩個氣體狀態	質量保持不變
$PV/T=nR=(m/M)R$	涉及一個氣體狀態	無要求

例二 容積為 30 升的瓶內裝有氫氣，假定在氣焊過程中，溫度保持 27°C 不變，當瓶內壓強由 50atm 降為 10atm 時，共用去多少克氫氣？

已知 $V_1=V_2=30\text{L}=0.03\text{m}^3$ $T_1=T_2=27^{\circ}\text{C}=300\text{K}$ $M=2\text{g/mol}$

$$P_1=50\text{atm}=5*10^6\text{Pa} \quad P_2=10\text{atm}=10^6\text{Pa}$$

求 用去的氫氣質量 m 。

解 原有的氫氣為：

$$m_1=P_1V_1M/RT_1=5*10^6*0.03*2/8.31*300=120\text{g}。$$

剩下的氫氣為：

$$m_2 = P_2 V_2 M / RT_2 = 10^6 \times 0.03 \times 2 / 8.31 \times 300 = 24 \text{g}。$$

用去的氫氣質量為：

$$m = m_1 - m_2 = 120 - 24 = 96 \text{g}。$$

答： 用去的氫氣質量為 96g。

第五節 理想氣體的內能

理想氣體的內能

理想氣體的微觀模型是分子為質點和沒有分子力。真實氣體的溫度越高、壓強越小、密度越小，氣體分子間的平均距離就越大，就越接近於理想氣體。

理想氣體的分子之間既然沒有相互作用，就不存在分子勢能。因此，理想氣體的內能就是氣體所有分子動能的總和。因為分子的平均動能跟氣體的溫度有關，所以一定質量的理想氣體的內能只跟溫度有關。同一氣體的溫度越高，它的內能就越多。理想氣體的內能跟體積無關。

等溫過程

設一定質量的理想氣體作等溫變化。由於溫度保持不變，所以氣體的內能不變，即 $\Delta E = 0$ 。從熱力學第一定律 $W + Q = \Delta E$ ，可得 $W = -Q$ ，這表示：氣體做了多少功，就會傳遞多少熱。由 $W = -Q$ 可知：氣體膨脹時做負功， Q 為正值，氣體吸熱；壓縮氣體時做正功， Q 為正值，氣體放熱。

等容過程

設一定質量的理想氣體作等容變化。由於體積保持不變，所以氣體沒有做功，即 $W = 0$ 。從熱力學第一定律 $W + Q = \Delta E$ ，可得 $\Delta E = Q$ ，這表示：氣體的內能改變了多少，就要傳遞多少熱。由 $\Delta E = Q$ 可知：氣體吸熱時 Q 為正值，氣體內能增加；氣體放熱時 Q 為負值，氣體內能減少。

絕熱過程

物體在狀態變化過程中如果跟外界沒有熱交換，這種變化就叫做絕熱變化。絕熱變化是 $Q = 0$ 。用絕熱良好的材料把容器包起來，讓氣體發生膨脹或者對氣體進行壓縮，這時的變化就可以看作絕熱變化。氣體的膨脹或壓縮進行得很迅速，從初狀態到末狀態所用的時間很短，氣體來不及跟外界發生熱交換，這種迅速的變化也可以看作絕熱過程。例如熱機氣缸內氣體膨脹做功，過程進行得很迅速，就可以看作絕熱變化。

由於 $Q = 0$ ，從熱力學第一定律 $W + Q = \Delta E$ ，可得 $\Delta E = W$ ，這表示：氣體的內能改變了多少，氣體就做了多少功。由 $\Delta E = W$ 可知：壓縮氣體時 W 為正值， ΔE 也為正值，氣體內能增加；氣體膨脹時 W 為負值， ΔE 也為負值，氣體內能減少。

等壓過程

從熱力學第一定律 $W + Q = \Delta E$ 知道：氣體吸熱或做正功(壓縮)起增加內能的作用，氣體放熱或做負功(膨脹)起減少內能的作用。

用。

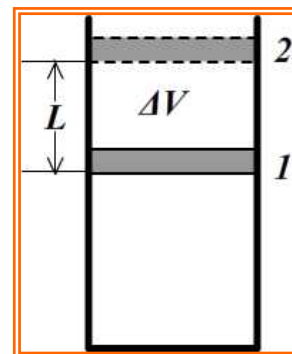
如右圖所示，氣缸內的氣體作等壓膨脹，推動活塞從 1 位置上升到 2 位置，氣體的體積變化為 ΔV 。設活塞的水平橫截面積為 S 。氣缸內氣體做的功為：

$$W = FL = PSL = P\Delta V。$$

可以證明，氣體在等壓變化過程做功的多少均可用下式來計算：

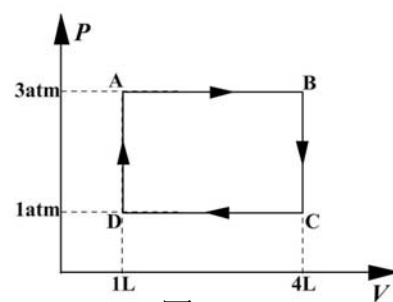
$$W = P\Delta V。$$

上式不能用於非壓過程。



例一 一定質量的理想氣體，從狀態 A 開始變化，如圖(一)所示

- 1 已知初態溫度為 300K，問四個狀態中哪個狀態溫度最高？
- 2 這四個狀態變化過程中，哪個過程是吸熱？哪個過程是放熱？
- 3 把此圖改畫在 V-T 圖上，並標明 A、B、C、D 的狀態點。



圖(一)

已知 $T_A = 300K$ $V_A = V_D = 1L$ $V_B = V_C = 4L$

$$P_A = P_B = 3atm \quad P_C = P_D = 1atm$$

一 求最高溫度 T 。

分析 由圖可知。因為 $A \rightarrow B$ 是等壓過程，而且體積增加，所以溫度升高；因為 $B \rightarrow C$ 是等容過程，而且壓強減少，所以溫度降低；因為 $C \rightarrow D$ 是等壓過程，而且體積減少，所以溫度降低；因為 $D \rightarrow A$ 是等容過程，而且壓強增加，所以溫度升高。參考圖二，很容易得出結論：B 的溫度最高。

其實 B 點離座標原點最遠，根據等溫曲線的特點，也可知 B 點的溫度最高。

解 據蓋呂薩克定律有：

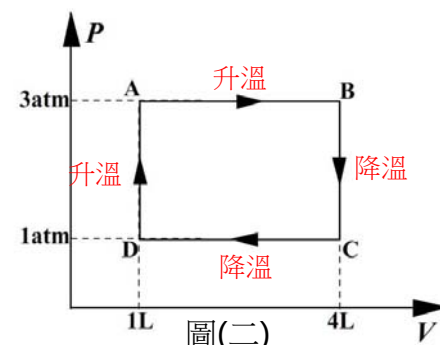
$$T_B = V_B T_A / V_A = 4 * 300 / 1 = 1200K = 927^{\circ}C。$$

答：B 的溫度最高，最高溫度為 1200K，即 $927^{\circ}C$ 。

二 這四個狀態變化過程中，哪個過程是吸熱？哪個過程是放熱？

答： $A \rightarrow B$ 是等壓變化，體積增加、溫度升高、氣體做負功(W^-)，內能增加， ΔE 為正值(ΔE^+)。根據熱力學第一定律 $\Delta E^+ = W^- + Q$ ，可知 Q 為正值，即氣體要吸熱。

$B \rightarrow C$ 是等容變化，壓強減少、溫度降低、氣體不做功($W=0$)，內能減少， ΔE



圖(二)

為負值(ΔE^-)。根據熱力學第一定律 $\Delta E^- = W^+ + Q$ ，可知 Q 為負值，即氣體會放熱。

$C \rightarrow D$ 是等壓變化，體積減少、溫度降低、氣體做正功(W^+)，內能減少， ΔE 為負值(ΔE^-)。根據熱力學第一定律 $\Delta E^- = W^+ + Q$ ，可知 Q 為負值，即氣體會放熱。

$D \rightarrow A$ 是等容變化，壓強增加、溫度升高、氣體不做功，內能增加， ΔE 為正值(ΔE^+)。根據熱力學第一定律 $\Delta E^+ = W + Q$ ，可知 Q 為正值，即氣體要吸熱。

三 把圖(一)改畫成 $V-T$ 圖。

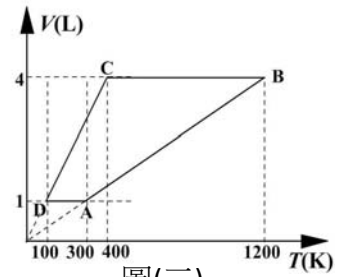
解 $B \rightarrow C$ 是等容過程，根查里定律有：

$$T_C = T_B P_C / P_B = 1200 * 1/3 = 400K。$$

$C \rightarrow D$ 是等壓過程，根蓋呂薩克定律有：

$$T_D = T_A P_D / P_A = 300 * 1/3 = 100K。$$

改成的 $V-T$ 圖如圖(三)。



圖(三)

第十九章 電場的力

第一節 電荷和帶電

元電荷

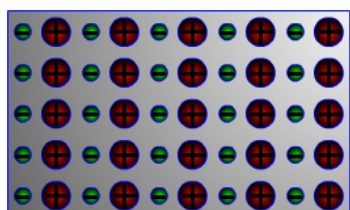
在初中已經學過，用毛皮摩擦硬橡膠棒，硬橡膠棒上帶的電荷叫負電荷；用絲綢摩擦玻璃棒，玻璃棒上帶的電荷叫正電荷。自然界只存在正和負這兩種電荷。

我們知道，物體是由分子組成，分子是由原子組成，原子由電子和原子核質子組成，原子核由中子和質子組成。其中的電子帶負電，質子帶正電。每一個電子和質子所帶的電量是相同的，均為 $1.6 \times 10^{-16} \text{C}$ 。 $1.6 \times 10^{-16} \text{C}$ 這個量值是物體帶電的最基本量值，稱為**基元電荷**或**元電荷**。基元電荷用 e 表示，一個電子或一個質子帶的電量都是 $1e$ 。

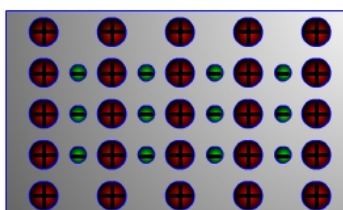
$$1e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}。$$

電中和

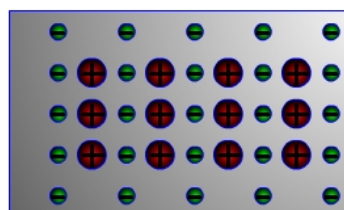
物體裡有很多很多的電子和質子，這樣說來物應該帶很多電，但是一般物體都不帶電，為甚麼呢？這是因為每一個原子都帶有同等數量的電子和質子，那麼物體裡的電子數和質子數相等，且分佈均勻，正電和負電的作用剛好抵消，對外顯示不出電性，所以就顯得不帶電，上述現象叫



負、正電荷等量, 物體不帶電



正電荷比負電荷多, 物體帶正電



負電荷比正電荷多, 物體帶負電

做**電中和**。不帶電的物體並不是裡面沒有電，而是處於電中和狀態。

如果某些原因，使物體裡的正、負電量不等，物體就顯示出電性，我們就說物體帶電。電中和後剩下的電荷叫做**淨電荷**，也簡稱為**電荷**。物體內：如果正電多於負電，物體就帶正電；如果負電多於正電，物體就帶負電。物體帶的電荷為物體裡的正電量跟負電量的差。物體帶的電量是不連續的，是元電荷的整數倍。

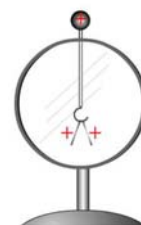
驗電器

電荷和電荷之間會產生相互作用，同種電荷會相互排斥，異種電荷會相互吸引。

驗電器是檢驗物體是否帶電的儀器。當驗電器不帶電時，下端的兩片金屬片(金箔)會自然下垂；當驗電器帶電時，下端的兩片金屬片(金箔)就會因相互排斥而張開。



驗電器不帶電



驗電器帶正電

摩擦起電

在摩擦起電時，一個物體失去一些電子而帶正電，同時另一個物體得到這些電子而帶等量的負電。絲綢和玻璃摩擦的時候，玻璃的電子因摩擦而轉移到絲綢上，玻璃因正電荷多而帶正電，絲綢因有較多的負電荷而帶負電，它們帶等量異種電荷。毛皮和硬橡膠摩擦的時候，毛皮的電子因摩擦而轉移到硬橡膠上，毛皮因正電荷多而帶正電，硬橡膠因有較多的負電荷而帶負電，它們帶等量異種電荷。摩擦起電並不是創造了電荷，只是電荷從一個物體轉移到另一個物體。

傳導帶電

帶電物體可以把電荷通過導體傳到其它物體上。帶電荷的物體可以跟異種電荷中和而失去電荷。

兩個完全相同的帶電導體相互攘觸：如果它們帶同種電荷，則兩導體均分總電量；如果它們帶異種電荷，則均分電中和後的電量。

感應帶電

把帶電體移近不帶電的導體時，導體的自由電荷受電場力的作用而重新分佈，未能達成電中和，使導體局部帶電，這種現象叫做靜電感應。導體在靠近帶電體的那端感應出異種電荷。在不移走帶電體的情況下：把受感應的導體分開兩部分，可使它們各自帶上異種電荷；把受感應的導體接地，可使導體帶上異種電荷。

電荷守恒定律

大量事實說明：電荷既不能創造，也不能被消滅，它們只能從一個物體轉移到另一個物體，或者從物體的一部分轉移到另一部分。這一個結論叫做電荷守恒定律。它是物理學中重要的基本定律之一。

第二節 庫倫定律

點電荷和扭秤

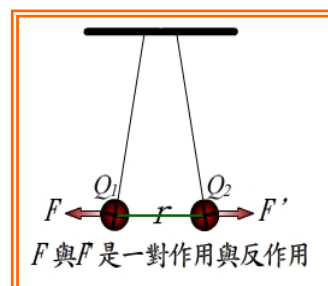
帶有電荷的點叫做點電荷。點電荷是一種理想的物理模型，它是沒有形狀和體積的帶電的點。點電荷在現實中是不存在的，但是，如果兩帶體相距較遠，以致可以忽略帶電體的大小和形狀，我們就可以把帶電體看作是點電荷。

我們知道，同種電荷相互排斥，異種電荷相互吸引。法國物理學家庫倫(Coulomb)用實驗研究了電荷間的相互作用力，於 1785 年發現了後來用他的名字命名的定律。



庫倫定律

庫倫定律的文字表述如下：在真空中兩個點電荷間相互作用的電力跟它們的電荷量的乘積成正比，跟它們之間的距離的平方



成反比，作用力的方向在它們的連線上。這就是真空中的庫倫定律。電荷間這種相互作用的電力叫做庫倫力。真空中庫倫定律的數學表述如下：

$$F=kQ_1Q_2/r^2。$$

式中的 k 叫做靜電常量。在國際單位制中， $k=9.0 \times 10^9 \text{Nm/C}^2$ 。有些書把 k 定義為 $k=1/4\pi\epsilon_0$ 。 $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-1}$ ， ϵ_0 叫做真空電容率。不論何種電荷， Q 均取正值。

兩電荷之間的庫倫力是一對作用與反作用。

如果把庫倫定律應用於電介質(絕緣物質)，則有：

$$F=kQ_1Q_2/\epsilon r^2。$$

上式中的 ϵ 為介電常量。

每一種電介質的介電常量都是一定的，是電介質的一種屬性。下表是一些電介質的介電常數。

電介質	介電常數	電介質	介電常數
空氣	1.0005	陶瓷	6
石蜡	2	玻璃	5~11
煤油	2.0~2.1	雲母	6~8

介電常沒有單位的純數。因為空氣介電常量跟真空的的介電常量相差很少，所以在沒有特別求時，計算空氣中的庫倫力，可當作真空處理。

例一 把質量 2g 的帶負電小球 A,用絕緣細繩懸掛起，若將帶電荷量為 $Q = 4.0 \times 10^{-6} \text{C}$ 帶電小球 B 靠近 A，當兩個帶電小球在同一高度相距 30cm 時，繩與豎直方向成 $\alpha = 45^\circ$ 角。(1)B 球受到的庫倫力多大？(2)A 球帶的電量是多少？

已知 $m=0.002\text{kg}$ $Q=4.0 \times 10^{-6}\text{C}$

$r=0.3\text{m}$ $\alpha=45^\circ$

求 B 球受到的庫倫力 F' ，A 球帶的電荷量 Q' 。

分析 A 球受到庫倫力 F 、拉力 T 、和重力 mg 的作用，根據力的平衡可求出 F 。B 球受的力是 F 的反作用力。A 球的電量可用庫倫定律求出。

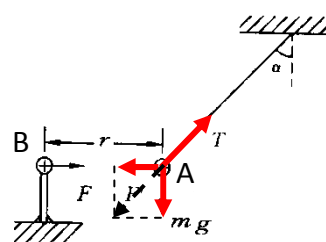
解 根據力的平衡四邊形有：

$$F=mgtan\alpha=0.002tan45^\circ=0.002(\text{N})。$$

根據庫倫定律有：

$$Q'=Fr^2/kQ=0.02 \times 0.32/9.0 \times 10^9 \times 4.0 \times 10^{-6}=5.0 \times 10^{-8}(\text{C})。$$

答：B 球受到的庫倫力跟 A 球受的庫倫力相等，為 0.002N；A 球帶的電量為 $5.0 \times 10^{-8}\text{C}$ 。



例二 如圖所示的三個點電荷恰好處於平衡狀態，它們只受到電場力的作用，

求 (1) q_1 、 q_3 該為何種電荷。(2)求 q_1 、 q_2 、 q_3 的比值。 r_1

已知 r_1 r_2

解 一

若 q_2 為正電荷，則 q_1 、 q_3 應為負電荷才有可能每個電荷合力為零。如圖(一)所示。

若 q_2 為負電荷，則 q_1 、 q_3 應為正電荷才有可能每個電荷合力為零。如圖(二)所示。

答： q_1 、 q_2 應為同種電荷，與 q_3 的電荷異種。

解 二

對 q_1 作受力分析，可得 $F_{13}=F_{12}$ ，即有：

$$kq_1q_3/(r_1+r_2)^2=kq_1q_2/r_1^2 \dots\dots(1)$$

對 q_2 作受力分析，可得 $F_{23}=F_{12}$ ，即有：

$$kq_1q_2/r_1^2=kq_2q_3/r_2^2 \dots\dots(2)$$

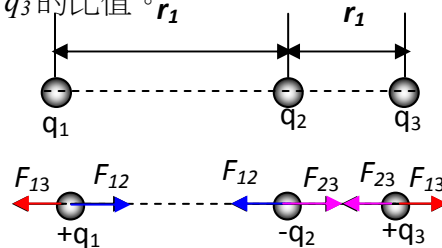
對 q_3 作受力分析，可得 $F_{13}=F_{23}$ ，即有：

$$kq_1q_3/(r_1+r_2)^2=kq_2q_3/r_2^2 \dots\dots(3)$$

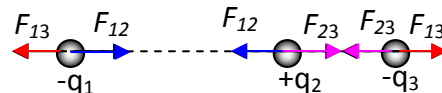
由(1)式得 $q_3=q_2(r_1+r_2)^2/r_1^2$ ；由(3)式得 $q_1=q_2(r_1+r_2)^2/r_2^2$ 。

$q_1 : q_2 : q_3 = q_2(r_1+r_2)^2/r_1^2 : q_2 : q_2(r_1+r_2)^2/r_2^2 = (r_1+r_2)^2/r_1^2 : 1 : (r_1+r_2)^2/r_2^2$ 。

答： $q_1 : q_2 : q_3 = (r_1+r_2)^2/r_1^2 : 1 : (r_1+r_2)^2/r_2^2$ 。



圖(一)



圖(二)

第三節 電場強度



為甚麼兩電荷在真空中也能相互作用呢。很早以前，人們認為這是它們之間存在一種超距力；現在才知道，這是電場與電場作用的結果，電荷的一切電現象及其性質都是通過電場來實現的。電場存在於電荷周圍的空間。它不是由分子組成的實物，雖然人的感覺器官感覺不到它的存在，但是我們能用其它方法感知它。

電荷周圍的空間存在電場，觀察者相對於電荷靜止時所觀察到的場稱為**靜電場**。

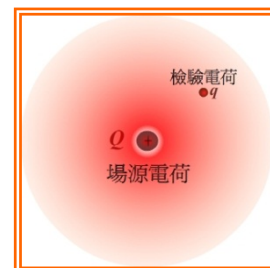
電場表現出兩大特徵：第一特徵是力，電場對位於其中的電荷會產生作用力；第二特徵是能，形成電場需要能，電場的變化涉及能的變化。

電場對電荷產生的作用力叫做**電場力**。庫侖力是電場力的一種。



如果某一電場是由電荷 Q 產生的，則 Q 稱為這個電場的**場源電荷**。

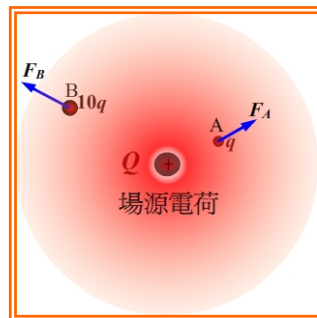
為了研究電場的性質，我們往往需要在電場中引入一個電量很少的、不會影原來電場的點電荷，這種電荷叫做**探測電荷**或**檢驗電荷**。



電場強度

放一個探測電荷 q 到場源點電荷 Q 的電場中， q 越靠近 Q ，感受到的作用越強， q 遠離 Q ，感受到的作用越來越弱，由此可知，電場是有弱之分的。 q 在距 Q 近的 A 點受到的電場力較大，表示這點的電場較強；在距 Q 遠的 B 點受到的電場力較小，表示這點的電場較弱。

我們不能只用電場力的大小表示電場的強弱。如圖所示，在場源點電荷 Q 的電場中，A 點的電場比 B 點的強。在 A 點放一個電量為 q 的探測電荷，在 B 點放一個電量為 $10q$ 的探測電荷，在 B 點的探測電荷受到的電場力比在 A 點的探測電荷受到的電場力大，這就是為甚麼不能只用電場力的大小來表示電場強弱的原因。每次都用一個單位的電量的電荷受的力來比較，則受力較大的地方的電場就較強。如果檢驗荷的電量為 q ，受到的電場力為 F ，則一個單位電量的檢驗荷受到的電場力為 F/q 。 F/q 這個比值就能表示電場的強弱。



電場強度

(1) 電場強度的物理意義：電場強度是描述電場強弱和方向物理量，是描述電場力的性質的物理量。電場強度簡稱場強。

(2) 電場強度的定義：放入電場中某一點的探測電荷受到的電場力 F 跟它的電量 q 的比值為點的電場強度的大小，用符號 E 表示電場強度的大小，則有

$$E = F/q。$$

(3) 電場強度的單位：如果 F 的單位為 N(牛頓)， q 的單位為 C(庫侖)，則 E 的單位為 N/C(牛/庫)。

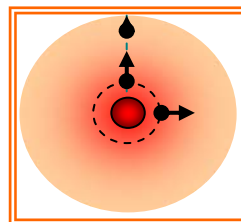
(4) 電場強度的方向：我們規定電場中某點的場強方向跟正電荷在該點所受電場力的方向相同。亦即負電荷在電場中的受力方向跟該點的電場強度方向相反。

(5) 注意問題：(a)電場中某點場強的大小和方向是由場源電荷和該點所在的位置決定的，與引入的探測電荷無關。(b) $E = F/q$ 中的 q 必須取絕對值。

點電荷的場強

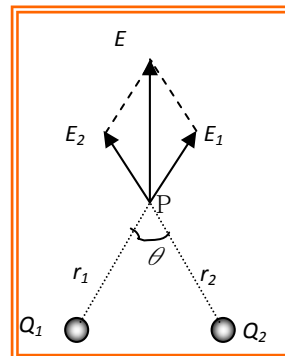
在點電荷 Q 的電場中有： $E = F/q = kQq/r^2 q = Kq/r^2$ 。 $E = Kq/r^2$ 只能應用在場源電荷為點電荷的電場中。

在點電荷的電場中：以點電荷為球心的每一個球面上，各點場強的大小都相等的，方向不同；從點電荷出發的每一條射上，各點的方向相同，大小不等。



電場的疊加

如果有幾個電場同時存在同一空間，這些電場就互相疊加形成合電場。合電場中某點的場強等於各電場在該點產生的場強的向量(矢量)和。如右圖，P 點的場強 E 等於 Q_1 在該點產生的場強 E_1 和 Q_2 在該點產生的場強 E_2 的向量和。



向量和的計算跟力的合成的計算是一樣的，都是遵守平行四邊形法則。如右圖：分場強 E_1 和 E_2 相當於分力 F_1 和 F_2 ，合場強 E 相當於合力 F 。

$$E_1 = kQ_1/r_1^2; E_2 = kQ_2/r_2^2;$$

$$E = (E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\theta)^{1/2}。$$

例一 邊長為 R 的等邊三角形的兩個頂點分別放置電量為 $+Q$ 和 $-Q$ 兩點電荷，求第三個頂點的場強。

已知 Q R

求 求第三個頂點的場強 E 。

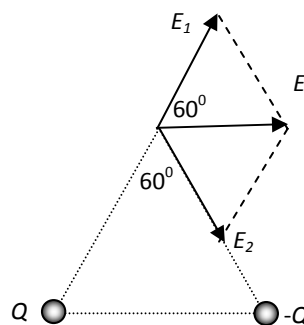
解 據點電荷的場強公式有：

$$E_1 = E_2 = kQ/R^2。$$

由向量圖可知組成 E 的向量三角形為一正三角形，所以有：

$$E = E_1 = E_2 = kQ/R^2。$$

答：第三個頂點的場強的大小為 kQ/R^2 ；方向為平行於 Q 和 $-Q$ 的連線，由 Q 向 $-Q$ 的方向。



勻強電場

在電場的某一區域裏，如果各點場強的大小和方向都相同，這個區域的電場就叫做**勻強電場**。勻強電場是最簡單的，也是很重要的電場，在實驗研究中常要用到。

帶正電荷的叫正極板

帶負電荷的叫負極板

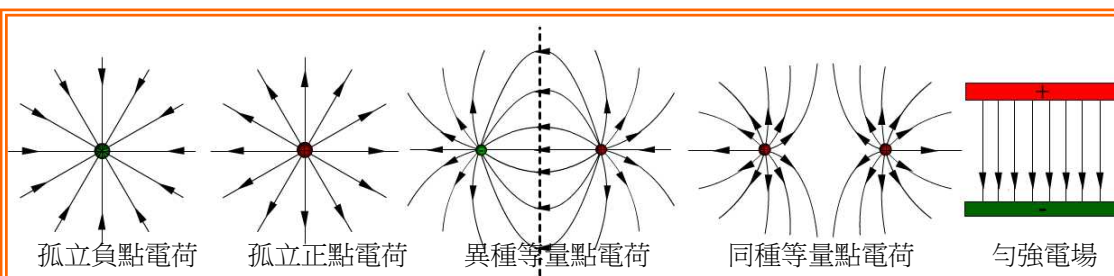
兩塊靠得很近的平行金屬板互相正對，分別帶等量的異種電荷，它們之間的電場，除邊緣附近外，就是勻強電場。

電場線

帶電體周圍的電場雖然看不見、摸不著，然而它確實是存在著的。英國物理學家法拉第首先引入了電場強度的圖像，他在**電場中畫了一些線，使這些線上每一點的切線方向都跟該點的場強方向一致**。這些線稱為**電場線**(又叫做電力線)。

電場線上須標有箭頭。利用電場線，可確定它所通過的每一點的場強的方向，因而也就可以表示出放在該點上的電荷所受電場力的方向。但要注意，一般情況下，電場線並非是電荷受電場力作用而運動的軌道，這是因為電荷運動方向(即速度方向)不一定沿力的方向。

下面是幾種典型的電場線。



電場線的特點：

- (1)每一點的切線方向都跟該點的場強方向一致
- (2)電場線較密的地方電場較強，反之亦然
- (3)電場線空白的地方並不等於沒有電場
- (4)電場線起於正電荷（或無窮遠），止於負電荷（或無窮遠）
- (5)電場線不能相交(原因：因為在電場中的任一點上只有一個合電場強度，方也只有一個，如相交則該處出現兩個場強方向，所以不能相交)

第二十章 電場的能

第一節 電場力做功和電勢

電場力做功跟路徑無關

A 設電荷的路徑為 ac ，電場力對電荷做的功為：

$$W_{ac} = F \overline{ac} \cos \alpha = EQ \overline{ac} \cos \alpha = EQ \overline{ad}$$

B 設電荷的路徑為 adc ，電場力對電荷做的功為：

$$W_{adc} = W_{ab} + W_{cd} = EQ \overline{ad} + EQ \overline{dc} \cos 90^\circ = EQ \overline{ad}$$

C 設電荷的路徑為 abc ，電場力對電荷做的功為：

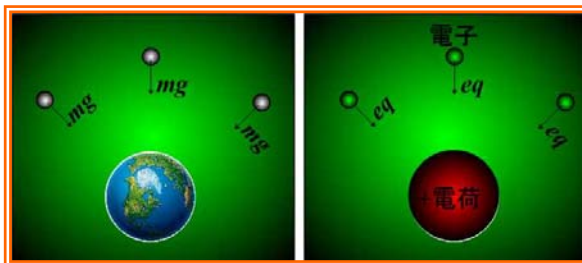
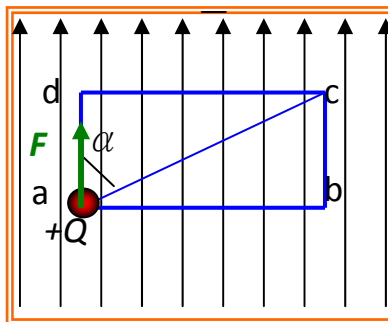
$$W_{abc} = W_{ab} + W_{bc} = EQ \overline{ab} \cos 90^\circ + EQ \overline{bc} = EQ \overline{bc} = EQ \overline{ad}$$

由上可知：勻強電場對電荷做功的多少跟路徑無關，跟始、終位置有關

點電荷跟探測電荷之間的吸引作用與地球跟物體之間的吸引作用相似。跟重力做功一樣，電場力對電荷做功的多少也跟路徑無關，跟始、終位置有關。

實驗和物理學理論都能證明：不論甚麼靜電場，電場力對電荷做功的多少跟路徑無關，跟始、終點位置有關。

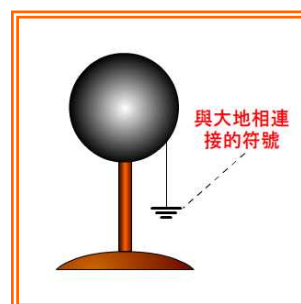
電荷順着電場力運動時，電場力方向跟位移方向成銳角，電場力做正功；電荷逆着電場力(克服電場力)運動時，電場力方向跟位移方向成鈍角，電場力做負功。



電勢能

有做功本領的物體就有能量。因為電荷在電場中移動可以做功，所以引入電場的電荷和場源電荷共同擁有能量。這種能量叫做電能。物理學中把做功的多少跟路徑無關，跟始、終位置有關的能量歸類為勢能，所有的勢能都有一些相同的性質。因為靜電場的電能屬於勢能，所以叫做**電勢能**。

在重力場中，重力勢能的多少跟零勢能位置的選定有關，一般我們會選地面為零重力勢能面。對於電勢能：一般選取地球或與地球相連接的導體為零電勢能的地方；孤立點電荷的電場，一般選取離電荷無限遠的地方的電勢能為零。



電場力做跟電勢能的變化

我們知道：如果重力對物體做了多少負功，物體的重力勢能就增加多少；如果重力對物體做了多少正功，物體的重力勢能就減少多少。電場力做功跟電勢能的關係也

是一樣的：如果電場力對電荷做了多少負功，電荷的電勢能就增加多少；如果電場力對電荷做了多少正功，電荷的電勢能就減少多少。上述關係可用下式表示：

$$W = -\Delta E_p。$$

式中的負號表示做正功則電勢能減少，做負功則電勢能增加。

電勢

- 1 意義 是描述電場能量性質的物理量。
- 2 定義 探測電荷在電場中某點的電勢能跟它的電量的比值叫做該點的電勢。定義公式為：

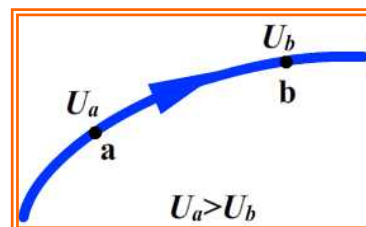
$$U_a = E_{Pa}/q。$$

上式中的 U_a 為 a 點的電勢， E_{Pa} 為探測電荷在 a 點的電勢能， q 是探測電荷的電量。上式中 q 的正、負號由它所帶電的種類決定。

- 3 單位 在國際單位制中電勢的單位是“伏特”，簡稱為“伏”，記作“V”。
 $1V=1J/C。$

4 特點

- (a) 因為 E_p 和 q 都是標量，所以 U_a 是標量。
- (b) 因為 E_p 和 q 分別可能是正值或負值，所以 U_a 可能是正值，也可能是負值。正電勢比負電勢高。
- (d) 電勢總是沿着電場線的方向降低。(本題在以後學習中會有證明)

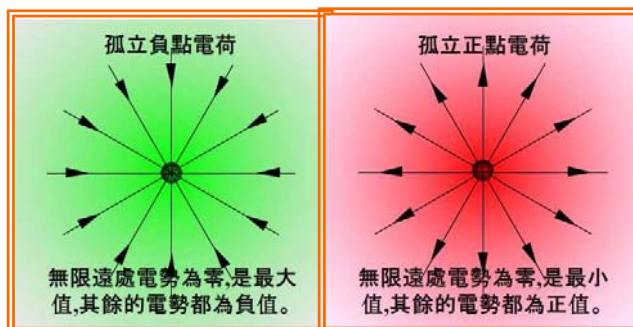


孤立點電荷電場的電勢

$$U_a = kQ/r_a。$$

由上式知， r 為無限遠時電勢為零。若電荷 Q 為正值，則 $U_a > 0$ ，所有的電勢都為正值；若電荷 Q 為負值，則 $U_a < 0$ ，所有的電勢都為負值。

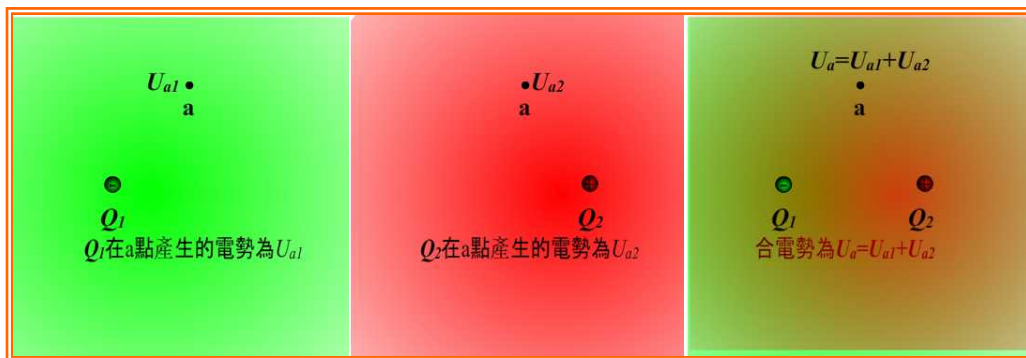
距離場源點電荷 Q 為 r_a 的 a 點的電勢為：



電勢的疊加

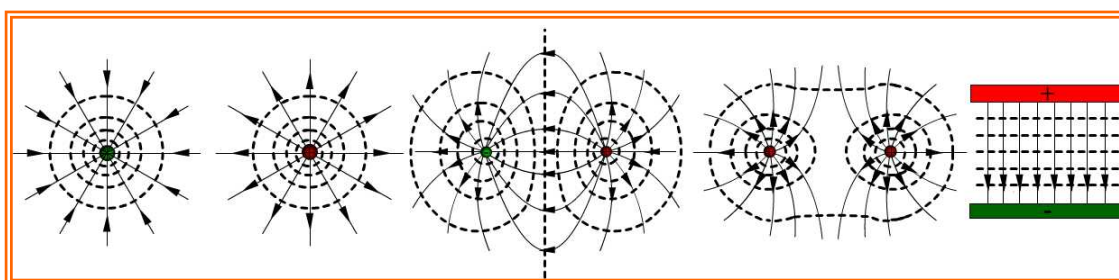
兩電場在空間中疊加，某點的電勢為兩電場在該點的電勢的代數和。如果一電場在 a 點的電勢為 U_{a1} ，另一電場在 a 點的電勢為 U_{a2} ，那麼 a 點的電勢為：

$$U_a = U_{a1} + U_{a2}。$$



等勢面

電場中電勢相同的點構成的面叫做**等勢面**。以下是幾種典型電場的等勢面。下圖中帶箭頭的是電場線，虛線是等勢線。



等勢面有以下的一些特點：

- (a) 同一等勢面上各點的電勢相等。
- (b) 電荷在同一等勢面上移動時，因為勢能沒有變化，所以電場力不做功。
- (c) 因為電荷在等勢面上移動時電場力不做功，即力與位移垂直，所以電場線跟等勢面垂直。

第二節 電勢差

電勢差

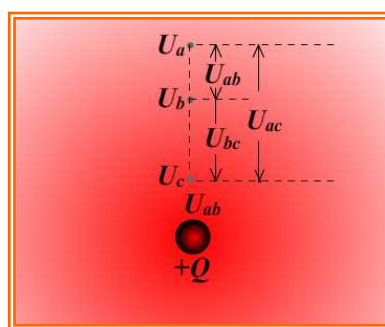
電勢差就是兩點電勢的差值。即：

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

如果 $U_{ab} > 0$ ，則有 $U_a > U_b$ ，意思是 a 點的電勢比 b 點的電勢高；如果 $U_{ab} < 0$ ，則有 $U_a < U_b$ ，意思是 a 點的電勢比 b 點的電勢低。

根據電勢差的定義公式可得： $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

根據電勢差的定義公式可得： $U_{ac} = U_{ab} + U_{bc}$ 。

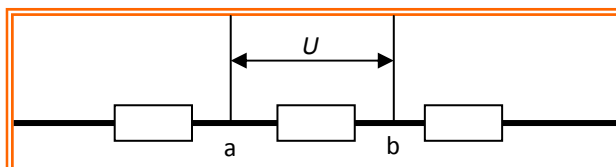


電壓

電勢降低的值叫做**電壓**。電壓用“U”表示，規定為正值。

$$U = U_{\text{高}} - U_{\text{低}} = |U_{\text{低}} - U_{\text{高}}|$$

在學習電路的時候，我們也學習過電壓這個物理量。電路中的電壓跟電場中的電壓在定義、性質等各方面都是一樣的。電路中 a、



b 兩點之間的電壓，就是 a、b 兩點電勢降低的數值。不管 a、b 哪一點電勢高，都有： $U = |U_a - U_b|$ 。

電壓跟電場力做功的關係

$$U = |U_a - U_b| = |E_{Pa}/q - E_{Pb}/q| = |(E_{Pa} - E_{Pb})/q| = |W/q|$$

由上式得：

$$|W| = |Uq|。$$

電力對電荷做正功還是負功，可根據二種方法來判斷。其一：若電荷順電場力運動，則做正功；若電荷逆電場力運動，則做負功。其二：把 $|W| = |Uq|$ 的絕對值號去掉，變為：

$$W_{ab} = U_{ab}q。$$

把 U_{ab} 及 q 的正、負號代入式中運算，便可算出 W_{ab} 是正功還是負功。

計算電場對帶電粒子做功時， q 用元電荷 e 做單位會較方便。根據 $|W| = |Uq|$ ，若 q 的單位為 e ， U 的單位為 V ，則功和能的單位為“電子伏”，記作“ eV ”。

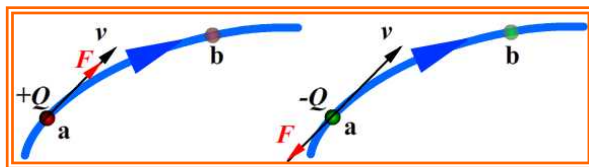
$$1eV = 1.6 \times 10^{-19} C \cdot 1V = 1.6 \times 10^{-19} J。$$

電勢和電場線

現在證明電勢總是沿着電場線的方向而降低。

證明

設正電荷沿電場線，由 a 點移動到 b 點。這種情況下電荷是順着電場力移動，電場力做正功， W_{ab} 和 q 均為正值，由 $W_{ab} = (U_a - U_b)/q$ ，可得 $U_a > U_b$ 。



設負電荷沿電場線，由 a 點移動到 b 點。這種情況下電荷是逆着電場力移動，電場力做負功， W_{ab} 為負值， q 為負值，由 $W_{ab} = (U_a - U_b)/q$ ，可得 $U_a > U_b$ 。

原命題得證。

例一 一個原來靜止的電子，從電場中的 A 點被加速到 B 點，A、B 兩點的電壓是 4000 伏，電場力對電子做的功是多少電子伏？電子的電勢能變化了多少電子伏？電子到達 B 點的速度是多少？

已知 $U_{AB} = 4000V$ $q = 1e$ $v_0 = 0$ $m = 9.1 \times 10^{-31} kg$ (查表)

求 電場力對電子做的功 W 、電勢能的變化 ΔE ，電子到達 B 點的速度 v 。

解 電子被加速，電場力做正功，電從電勢低移到電勢高處，即 $U_{ab} = -4000V$ 。

$$W_{ab} = U_{ab}q = -4000 \cdot (-1) = 4000(eV)。$$

根據動能定理 $W = \Delta E_K = mv^2/2$ 有：

$$v = (2\Delta E_K/m)^{1/2} = (2 \cdot 4000 \cdot 1.6 \times 10^{-19} / 9.1 \times 10^{-31})^{1/2} = 3.75 \times 10^7 (m/s)。$$

答：電場力對電子做的功為 4000eV，電勢能電減少了 4000eV，電子到達 B 點

的速度是 $3.75 \times 10^7 \text{ m/s}$ 。

例二 如圖所示。M、N 是一對帶等量異種電荷的平行金屬板。M、N 之間的電壓是 100V，M、a 之間的電壓是 30V，b、N 之間的壓是 30V。如果 M 板接地，a、b、N 各點的電勢是多少，a、b 之間的電壓是多少？如果 N 板接地，a、b、M 各點的電勢是多少，a、b 之間的電壓是多少？

分析 因為電場線由 M 向 N，所以 M 的電勢最高，N 的電勢最低。且有 $U_M > U_a$ ， $U_M - U_a = 30\text{V}$ ； $U_b > U_N$ ， $U_b - U_N = 30\text{V}$

已知 $U_{MN} = 100\text{V}$ $U_{Ma} = 30\text{V}$ $U_{bN} = 30\text{V}$

求 M 板接地的 U_a 、 U_b 、 U_N 、 U_{ab} 。N 板接地的 U'_a 、 U'_b 、 U'_M 、 U'_{ab} 。

解一 因為 M 接地，所以 $U_M = 0$ 。

因為 $U_{MN} = 100\text{V} = U_M - U_N$ ，所以 $U_N = -100\text{V}$ 。

因為 $U_{Ma} = 30\text{V} = U_M - U_a$ ，所以 $U_a = -30\text{V}$ 。

因為 $U_{Nb} = 30\text{V} = U_b - U_N$ ，所以 $U_b = -70\text{V}$ 。

$$U_{ab} = U_a - U_b = -30 - (-70) = 40\text{V}。$$

解二 因為 N 接地，所以 $U'_N = 0$ 。

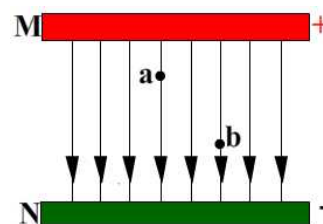
因為 $U'_{MN} = 100\text{V} = U'_M - U'_N$ ，所以 $U'_M = 100\text{V}$ 。

因為 $U'_{Ma} = 30\text{V} = U'_M - U'_a$ ，所以 $U'_a = 70\text{V}$ 。

因為 $U'_{Nb} = 30\text{V} = U'_b - U'_N$ ，所以 $U'_b = 30\text{V}$ 。

$$U'_{ab} = U'_a - U'_b = 70 - 30 = 40\text{V}。$$

答：略.....



第三節 電勢差和電場強度的關係

電場力做功與電勢差無關

如圖所示。在勻強電場中，把電荷 q 從 a 點移到 c 點電場力做的功為 W 。用力的來計算有：

$$|W| = |Fd| = E|q|d \dots (1)$$

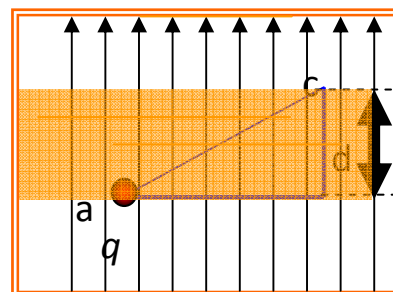
用電勢差來計算：

$$|W| = U|q| \dots \dots \dots (2)$$

由(1)式和(2)式可得：

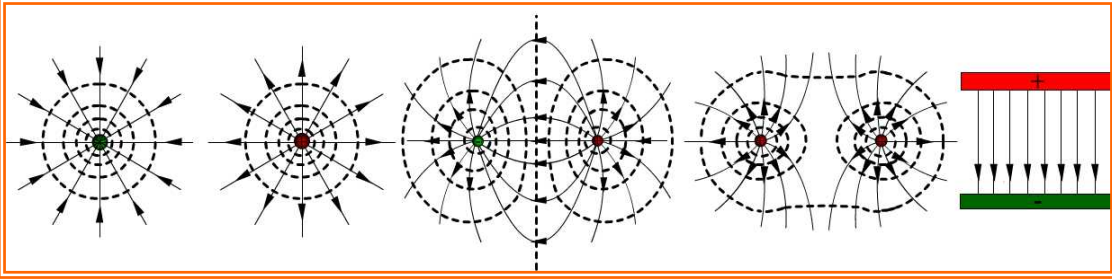
$$U = Ed。$$

式中的 d 是位移 ac 在電場線上的射影， U 是 a、c 點之間的電壓， E 是勻強電場的場強。上式只能應用在勻強電場中。

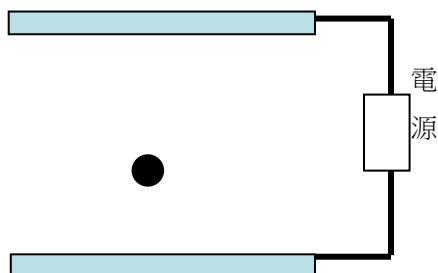


由 $E = U/d$ 可得 E 在國際單位制中的另一個單位“伏/米”，記作“V/m”。可以證明： $1\text{V/m} = 1\text{N/C}$ 。

電場強度跟電勢的相關比較

場強	場強與電 勢差	電勢
定義： $E=F/q$ (矢量) 單位：N/C；V/m		定義： $U_a=E_{Pa}/q$ (標量) 單位：V
點電荷： $E=kQ/r^2$		點電荷： $U_a=kQ/r$
場強疊加用平行四邊形法則		電勢疊加用代數和
 電場線和勢線 帶箭頭的實線為電場線，虛線為等勢線 電場線跟等勢面正交(垂直)		
$W_{ab}=FS_{ab}\cos\alpha=EqS_{ab}\cos\alpha$	$U=Ed$	$W_{ab}=U_{ab}q$ $U_{ab}=U_a-U_b$
電荷順電力移動做正功 電荷逆電力移動做負功		功的正負符號由上式算出
電場線較密的地方電場較強		電勢沿電場線的方向降低
離電荷無限遠處場強為零 孤立正點電荷的場強方向由電荷向外幅射，孤立負點電荷的場強方向由外向電荷內聚		離點電荷無限遠處電勢為零 孤立正點電荷的電勢均為正值,零是最小值；孤立負點電荷的電勢均為負值, 零是最大值
* 靜電平衡的導體內部場強為零		* 靜電平衡的導體是一個等勢體
帶 * 號的容會以後學習。		

例一 兩平行金屬板相距 4cm，兩板分別接到直流源上，板間有一質量為 10^{-5}g 帶電微粒剛好平衡，微粒帶的電量為 $5\cdot 10^{-11}\text{C}$ 。電源的電壓是多少？如果上極板向上移動 1cm，微粒如何運動？($g=10\text{m/s}^2$)



已知 $d=0.04\text{m}$ $q=5*10^{-11}\text{C}$

$m=10^{-8}\text{kg}$ $\Delta d=0.01\text{m}$

求 電源的電壓 U ，上極板向上移動
1cm，微粒如何運動。

分析 (一) U 與電場有關， $U=Ed$ ， $E=F/q$ ，
微粒平衡時 $F=mg$ 。

(二)根據極板移動後微粒的受力情況，分析微粒的運動。

解一 微粒受力如圖所示。平衡時有 $Eq=mg$ 。

$$E=mg/q=10^{-8}*10/5*10^{-11}=2000\text{N/C}。$$

$$U=Ed=2000*0.04=80\text{V}。$$

解二 極板上移時電壓仍等於電源的電壓，但電場強度變弱($U=Ed$)， Eq 變小，
微粒受到的合力向下，得到一個向下的加速度。

$$E'=U/d'=U/(d+\Delta d)$$

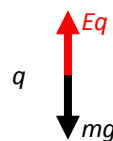
$$=80/(0.04+0.01)=1600\text{N/C}$$

$$a=(mg-Eq)/m$$

$$=(10^{-8}*10-1600*5*10^{-11})/10^{-8}$$

$$=2(\text{m/s}^2)$$

答：電源的電壓為 80V。微粒以 2m/s^2 的加速度向下作初速為零的勻加速直線運動，直到下極板為止。

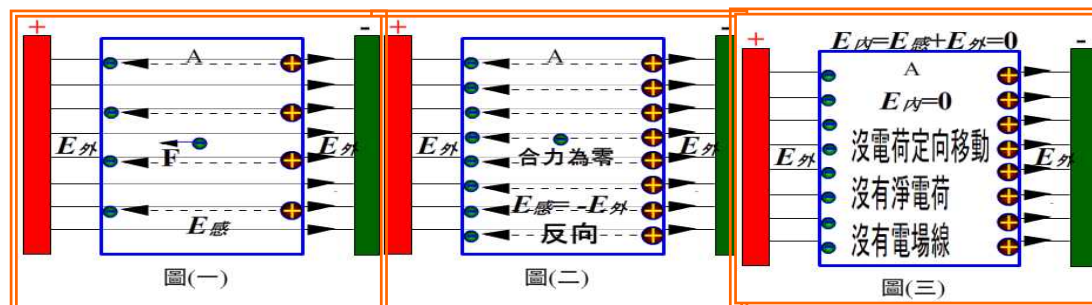


第四節 電場中的導體

靜電平衡

如圖(一)所示。把中性導體 A 放入強度為 $E_{\text{外}}$ 電場中，導體內電荷受電場力作用向導體表面移動，使導體出現感應電荷，這些電荷形成了一個感應電場 $E_{\text{感}}$ 。 $E_{\text{感}}$ 的方向跟 $E_{\text{外}}$ 相反，削弱導體內的場強。

如圖(二)所示。隨着感應的電荷增多，感應電場加增強，導體內電場繼續削弱。只要感應電場跟外電場未完全抵消，電荷就繼續定向移動，直到感應電荷足



夠多、分佈適當，使導體內的處處合場強為零為止。這個過程在極短的時間內就可以完成。

如圖(三)所示。導體中（包括表面）沒有電荷定向移動的狀態叫做靜電平衡態。

導體帶電之後，電場力也會使電荷重新分佈，直到靜電平衡態為止。

靜電平衡的導體有以下特點：

特 點	原 因
靜電平衡導體內部場強為零	電荷在電場力作用下不斷移動，直到合場強為零時才不受電力作用而不作定向移動。
電荷只分布在靜電平衡導體的外表面，內部沒有淨電荷	如果內部有電荷，就不能保證內部場強為零。
靜電平衡導體是一個等勢體	因為電荷在導體上移動時，電場力不做功，所以沒有電勢差。
靜電平衡導體的電場線跟表面垂直	等勢面跟電場線垂直。

尖端放電

在帶電導體表面上，實驗證明：曲率半徑較大(光滑、平整)的地方，電荷比較稀疏，附近的電場較弱；曲率半徑較小(尖銳、凸出)的地方，電荷比較密集，附近的電場較強，比較容易放電。

帶電雲層會在其它雲層和在地上感應出電荷，形成高壓電場，使空氣導電，這就雷電。雷電放出的能量十分大，功率更大，可以產生很大的破壞力。

地面上高而尖的物體集中了較多的電荷，與雲層間形成較高的電壓，產生雷電。在雷雨時間，我們不應站在原野上的大樹下或高的物體旁，以防遭雷擊。

為了防止高的物體受到雷擊，我們反其道而行之，干脆在物體的頂部豎一根很高、很尖的金屬杆，還讓它跟大地有十分良好的接觸。這樣它就能夠很易地把其它地方的電荷集中在尖頂，在電荷還不太多，能量還不太大的時候，使它與帶電雲層間有足夠大的電壓，作一次不具破壞力的微型閃電。防止具破壞力的雷擊。

靜電屏蔽

用一個金屬外殼或金屬網把物體包住，金屬外殼或金屬網內的場強為零，這樣物體就不會受外界電場的影響。

利用靜電平衡導體的內部場為零這一特點來防止電場的干擾叫做靜電屏蔽。

如果為金屬外殼或金屬網把接一根地線，屏蔽的效果更佳。

第二十一章 電路(一)

第一節 電流

電流

我們已知，**電流是電荷的定向移動形成的**。在金屬導體內形成電流的是自由電子，在液體和氣體中形成電流的是正離子和負離子，在真空中定向運動的離子、電子、質子和原子核等都能形成電流。

導體和絕緣體

導體是讓電流順利通過的物體，它的內部有大量可以自由移動的電荷（電子、離子）。**絕緣體**是電流難以通過的物體，它的內部沒有大量可以自由移動的電荷（電子、離子）。

導體和絕緣體不是絕對的，在電壓很高或溫度較高的情況下，有不少常規的絕緣體也會變成導體。例如：一般電線外層的塑料，在上萬伏的電壓下，它就會變為導體了；玻璃被燒紅後也能導電。

電流的方向

實驗證明，由正電荷形成的電流和由負電荷形成的電流，如果只是方向相反，其它情況相同的話，它們產生的效果是一樣的。我們規定**正電荷定向移動的方向為電流的方向**，**負電荷定向移動的反方向為電流的方向**。

因為在電源外部的電路中的電荷是在電場力的作用下定向移動的，所以在電源外部的電路中的電流是從電勢高流向電勢低的，也就是從電池的正極流向負極。

方向保持不變的電流叫做**直流電**，強弱和方向都不隨時間而變化的電流叫做**恒定電流**，大小和方向都作周期變化的電流叫做**交流電**。通常把恒定電流說成是直流電。

形成電流的條件

一般情況下，導體是處於靜電平衡狀態的，是一個等勢體，導體內的自由電荷都在作無規則的熱運動，不會作定向移動，導體中不會形成電流。如果在導體中加上電場，自由電荷就會受到電場力的作用，電場力就會使自由電荷在作熱運動的基礎上加上一個定向移動，從而形成電流。要使導體中有電場存在，導體就不能處於靜電平衡狀態，就不能是一個等勢體，導體上就要有電壓。根據以上分析，在**物體中形成電流的外部條件是導體上要有電壓**，**內部條件是有大量的自由電荷**。

電流強度

- (1) 意義：電流強度是表示電流的強弱的物理量。
- (2) 定義：通過導體橫截面的電量 q 跟通電時間 t 的比值叫做電流強度，電流強度通常簡稱為電流，電流強度的符號為 I 。數學表達式為：

$$I=Q/t。$$

- (3) 單位：在國際單位制中，電流的單位是安培，簡稱安，符號是 A。如果在 1s

內通過導體橫截面的電荷量是 1C，導體中的電流就是 1A， $1\text{A}=1\text{C/s}$ 。電流的常用輔助單位還有毫安 (mA)和微安(μA)。

$$1\text{mA}=10^{-3}\text{A}; \quad 1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}。$$

(4) 特點：

(a) 雖然電流在電路中會有兩種不同的環繞方向，但是電流強度是標量，它只表示電流的強弱，而不表示電流的方向。

(b) 電流強度在數值上等於單位時間內通過導體橫截面積的電量。

例一 氫原子的電子繞原子核作順時針圓周運動，半徑為 10^{-10}m ，電子質量為 $9.0 \times 10^{-31}\text{kg}$ ，求這電子的等效電流方向和電流強度。

已知： $R=10^{-10}\text{m}$ $Q=e=1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ $m=9.0 \times 10^{-31}\text{kg}$

求 電流強度 I 和電流方向。

解： 電子繞原子核作圓周運動的向心力為庫侖力 $F=ke^2/R^2$ 。

據圓周運動的向心力公式 $F=ma_{\omega}=4\pi^2m/T^2$ 有：

$$T=2\pi Rm^{1/2}/ek^{1/2}=2 \times 3.14 \times 10^{-10} \times (9.0 \times 10^{-31})^{1/2} / 1.6 \times 10^{-19} (9.0 \times 10^9)^{1/2} \\ =3.9 \times 10^{-11}(\text{s})。$$

電子在一周時間(T)內通過一次橫截面，其電量為 e ，所以有：

$$I=Q/t=e/T=1.6 \times 10^{-19} / 3.9 \times 10^{-11}=4.1 \times 10^{-7}(\text{A})$$

答： 因為負電荷作順時針轉動，所以電流的方向為逆時針方向。電流強度為 $4.1 \times 10^{-7}\text{A}$ 。

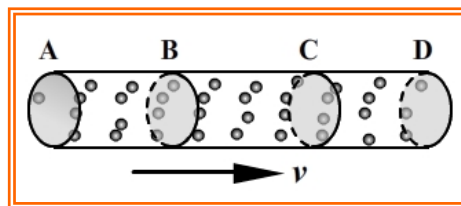
電荷的定向移動速度

圖中的 AD 表示粗細均勻的一段導體。設導體的橫截面積為 S ，電荷密度為 n (每立方米內的自由電荷數)，每個電荷的電量為 q ，電荷定向移動的速率為 v 。在導體中任取兩個橫截面 B 和 C，它們之間的距離為 l ，在時間 t 內兩截面 B、C 之間的自由電荷將全部通過 C，通過的電量 $Q=nsq$ (sl 是 BC 間的體積， nsq 是 BC 間的自由電荷總數)，導體中的電流強度為 $I=Q/t=nsq/t$ ，又因為 $v=l/t$ ，所以有：

$$v=I/nsq。$$

若上式中 v 的單位為 m/s ，則 I 的單位為 A ， n 的單位為 m^{-3} ， s 的單位為 m^2 ， q 的單位為 C 。

常溫下金屬中自由電子熱運動的平均速率約為 10^5m/s ，而定向移動速率約為 10^{-5}m/s 。



例三 設橫截面積為 2.0mm^2 的銅導線中通過 2.0A 的電流，銅的單位體積中的自由電子數為 8.5×10^{28} 個/ m^3 ，電子的電量為 $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ 。求自由電子的定向移動速率。

已知 $I=2.0\text{A}$ $n=8.5 \times 10^{28}\text{m}^{-3}$ $s=2.0\text{mm}^2=2.0 \times 10^{-6}\text{m}^2$ $q=1.6 \times 10^{-19}\text{C}$

求 自由電子的定向移動速率 v 。

解 $v=I/nsq=2.0/8.5 \times 10^{28} \times 2.0 \times 10^{-6} \times 1.6 \times 10^{-19}=7.4 \times 10^{-5}\text{m/s}$ 。

答： 自由電子的定向移動速率為 $7.4 \times 10^{-5}\text{m/s}$ 。

第二節 電阻

歐姆定律

德國物理學家歐姆(Georg Simon Ohm)通過實驗研究得出以下結論，導體中的電流 I 跟導體兩端的電壓 U 成正比，以上結論稱為歐姆定律。歐姆定律的數學表達式為：

$$U/I=R。$$

式中 R 是電壓與電流的比例常量。

因為正比例函數叫做線性函數，所以能夠應用歐姆定律的導體叫做線性導體。並不是所有的導體都可以應用歐姆定律的。金屬和電解液是線性導體，電容器、電感器、電動機、電子管、晶體管等，都不是線性導體。

電阻

由歐姆定律可知： R 越大，在同一電壓下，通過它的電流越小，即導體對電流的阻礙較大； R 越小，在同一電壓下，通過它的電流越大，即導體對電流的阻礙較小。 R 能反映導體對電流的阻礙作用。

電阻

- (1) 意義：表示導體對電流阻礙作用的大小的物理量。
- (2) 定義：導體兩端的電壓 U 跟通過導體的電流 I 的比值叫做導體的電阻。電阻的符號為 R 。

$$R=U/I。$$

- (3) 單位：在國際單位制中，電阻的單位是歐姆，簡稱歐，國際符號是 Ω 。導體兩端的電壓為 1V ，跟通過導體的電流為 1A ，則導體的電阻為 1Ω ， $1\Omega=1\text{V/A}$ 。電阻的輔助單位有千歐 ($\text{k}\Omega$)和兆歐($\text{M}\Omega$)等。

$$1\text{K}\Omega=10^3\Omega； 1\text{M}\Omega=10^3\text{K}\Omega=10^6\Omega。$$

- (4) 特點：
 - (a) 電阻是標量，它不具方向性。
 - (b) 對同一個導體來說，雖然有 $R=U/I$ ，但 R 不跟電壓成正比，不跟電流成反比。 R 的大小是由導體本身的情況---材質、形狀及溫度等而決定的。只改變 U 、 I ，不能改變導體的電阻。電阻是導體的特徵量。

電阻定律

實驗表明：用同一種材料製成的，橫截面積相等的導體，其電阻跟導體的長度成正比；用同一種材料製成的，長度相等的導體，其電阻跟導體的橫截面積成反比；導體的電阻跟其組成的材料有關。溫度不變時，導體的電阻 R 跟它的長度 l 成正比，跟它的橫截面積 s 成反比。以上結論

稱為**電阻定律**。電阻定律數學表達式為：

$$R=\rho l/s。$$

電阻率

電阻定律中的比例常量 ρ 叫做**電阻率**。

(1)意義： 電阻率是表示導體的導電性能的物理量。電阻率越大，表示越難導電。

(2) 定義： $\rho=Rs/l$ 。

(3) 單位：若電阻單位為 Ω ，面積的單位為 m^2 ，長度 的單位為 m ，由電阻率的計算式可得其單位為 Ωm 。

(4) 特點：

(a) 電阻率是標量，它不具方向性。

(b) 電阻率是由導體的材料決定的，它不會跟隨導體的形狀、加在導體上的電壓和通過導體的電流而改變。電阻率是材料的特徵量。

(c) 電阻率會隨溫度的變化而變化。一般金屬的電阻率會隨溫度的升高而略為增加。有些半導體的電阻率會對溫度或光很敏感。

幾種材料在 $18^{\circ}C$ 時的電阻率

材 料	電阻率(Ωm)
銀	1.58×10^{-8}
銅	1.68×10^{-8}
鋁	2.72×10^{-8}
鎢	5.32×10^{-8}
鐵	9.9×10^{-8}
錳銅(85%鑄銅+3%鑄鎳 12%錳)	4.8×10^{-7}
康銅(54%銅+46%鎳)	5.0×10^{-7}
鎳鉻合金 (67.5%鎳+15%鉻+16%鐵+1.5%錳)	1.0×10^{-6}

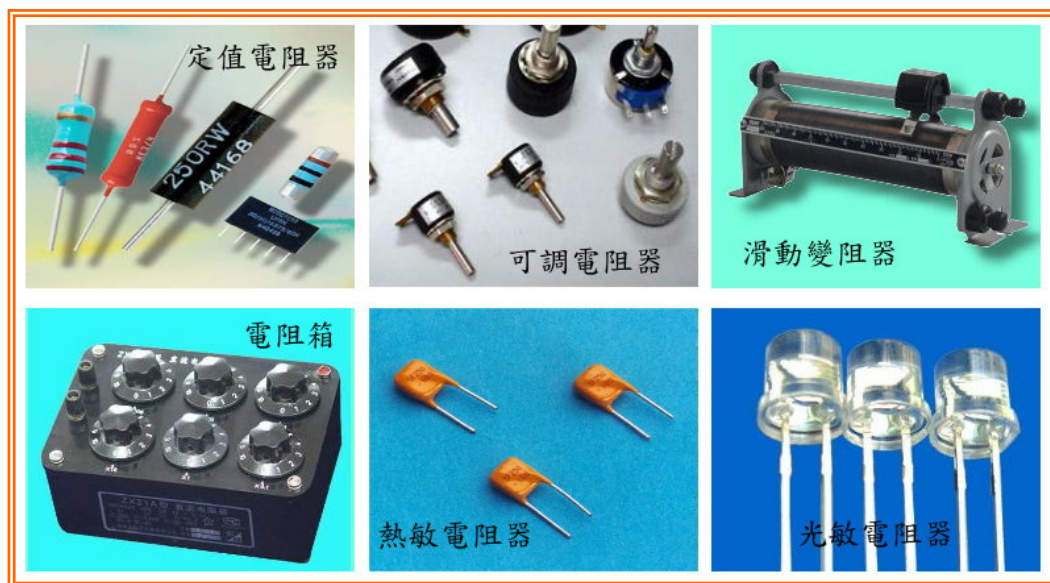
(如果要求不是很精密，在普通氣溫的情況下，可採用上述數據)

各種材料的電阻率都隨溫度而變化。金屬的電阻率隨溫度升高而增大。利用金屬電阻率隨著溫度升高而增大的特性，可以製成電阻溫度計。常用的電阻溫度計是用金屬鉑做成的。已知鉑絲的電阻隨溫度的變化情況，測出鉑絲的電阻，就可以知道溫度。有些合金如錳銅和康銅的電阻率幾乎不受溫度變化的影響，常用來製作標準電阻。

電阻器

用導體做成具有一定電阻規格的電器元件叫做**電阻器**，電阻器常簡稱為**電阻**。下圖是一些常見的電阻器。





超導體

某些金屬、合金和化合物，在溫度降到絕對零度附近某一特定溫度時，它們的電阻率突然減小到無法測量的現象叫做**超導現象**，發生超導現象的物體叫做**超導體**。超導體有兩個基本特性。一是零電阻，就是說在超導臨界轉變溫度以下，超導體可以在無電阻的狀態下傳輸電流；二是完全抗磁性，超導體在處於超導狀態時，可以完全排除磁力線的進入。

1908 年，荷蘭物理學家昂尼斯(H. Kamerlingh Onnes)首次成功地把稱為“永久氣體”的氦液化，因而獲得 4.2K 的低溫源，為超導準備了條件，三年後即 1911 年，在測試純金屬電阻率的低溫特性時，他又發現，汞的直流電阻在 4.2K 時突然消失，多次精密測量表明，汞柱兩端的電壓降為零，他認為這時汞進入了一種以零阻值為特徵的新物態，並稱為“超導態”。昂尼斯在 1911 年 12 月 28 日宣佈了這一發現。

1987 年，朱經武博士及吳茂昆博士所領導的研究群又開啟了超導科學史上的新頁。他們發現了臨界溫度 90K 以上的鈮鉕銅氧化合物(Y-Ba-Cu-O)。以實用的角度，高臨界溫度的發現是非常重要的。因為 90K 的溫度已高於液態氮的沸點 77K，因此不需再利用沸點極低(約 4K)的液態氮來做為冷卻媒體。



右圖為超導磁懸浮的演示，上面是用超強永磁體鈹鐵硼製成的圓片，下面是燒製的高溫超導體鈮鉕銅氧化合物。

超導現象的應用總體來說可分為兩大類：一類是用於強電流，用超導體製成大尺度的超導器件，如超導磁鐵、電機、電纜等，用於發電、輸電、貯能和交通運輸等方面；另一類是用於弱電，用超導體製成小尺度的器件，如超導量子干涉器件(簡稱 SQUID)和計算機的邏輯元件，這些元件可用於精密儀器、儀表、計算機等方面。

第三節 電功和電率

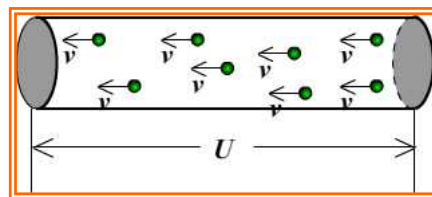
電功

電流通過一段電路時，自由電荷在電場力作用下發生定向移動，電場力對自由電荷做功。設一段電路兩端的電壓為 U ，通過的電流為 I ，在時間 t 內通過這段電路任一橫截面的電荷量為 q 。電荷由這段電路的一端移到另一端，電場力所做的功 $W=Uq$ ，由於 $q=It$ ，所以

$$W=UIt。$$

若 U 的單位是 V， I 的單位是 A， t 的單位是 s，則電功 W 的單位是 J。

根據功和能的關係可知，電流在電路中做了多少功，電路就消耗了多少電能。



電功率

根據功率定義 $P=W/t$ ，可得電功率的計算式為：

$$P=UI。$$

若 U 的單位是 V， I 的單位是 A，則電功率 P 的單位是 W(瓦特)。

若 P 的單位為千瓦(kW)，時間的單位為小時(h)，根據 $W=Pt$ ，則電功的單位為千瓦時(kWh)，俗稱為度。

$$1\text{kWh}=1000\text{w}\cdot 3600\text{s}=3.6\cdot 10^6\text{J}。$$

在用電器的銘牌上常標上額定電壓和電功率的值。例如某燈具標有“220V 30W”的字樣，這是表示：該燈具應在 220V 電壓的電路中使用，在 220V 的電路中，電燈的功率為 30W。如果該燈具是白熾燈(鎢絲燈)，它正常工作時的電阻為：

$$R=U^2/P=220^2/30=1613\Omega。$$

例一 辦公室內有 20 盞 40w 的光管，如每天每盞燈都能節約用電 45 分鐘，一個月(30 天)能省多少度電？

已知 $n=20$ 盞 $P_0=40\text{W}=0.04\text{kW}$ $t_1=45$ 分 $=0.75\text{h}$ $d=30$ 天

求 一月省的電能 W 。

解 $W=Pt=P_0t_1d=0.04\cdot 0.75\cdot 30=0.9(\text{kWh})$

答：一個月能節約 0.9 度電。

焦耳定律

焦耳用實驗的方法得出：電流通過導體時發出的熱量跟電流的平方成正比，跟導體的電阻成正比，跟通電時間成正比。這個結論叫做焦耳定律。數學表達式為：

$$Q=I^2Rt。$$

熱功率為：

$$PQ=I^2R。$$

電流通過有電阻的導體時都會發熱，但通過超導體時是不會發熱的。

電能的轉化

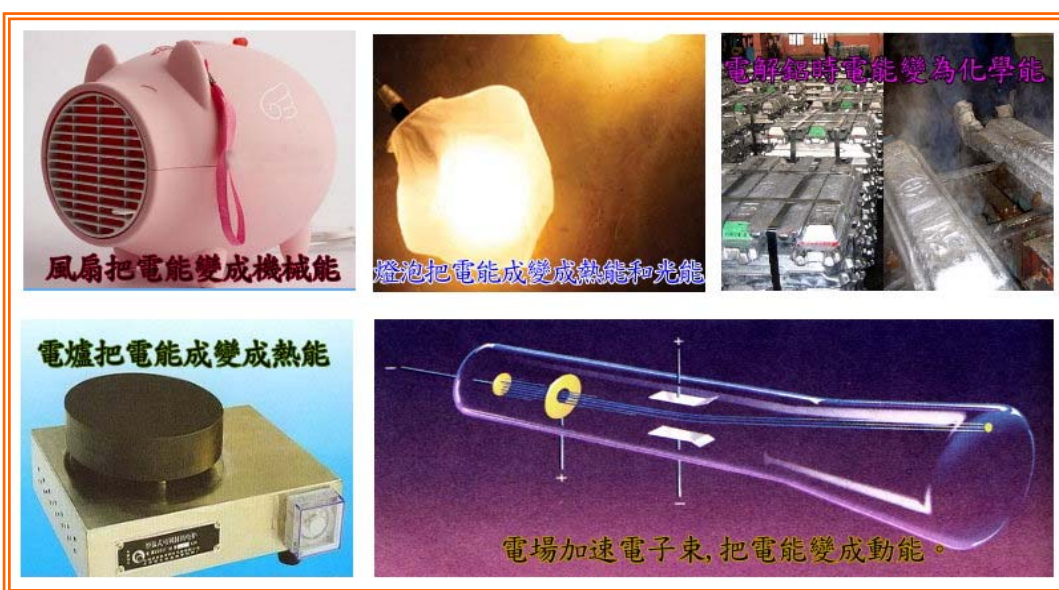
電路中有電流時，電場力移動電荷做正功，做了多少功，電荷就減少多少電勢能，減少的電勢能轉化為其它形式的能，如轉化為內能(熱能)、機械能、化學能、光能等。電流做功，實質上是電場力對電荷做功，消耗了的電能，電能轉化成其它形式的能。

上述關係可用下式表示：

$$W = E_{\text{機}} + Q + E_{\text{化}} + E_{\text{光}} + \dots$$

$$P = P_{\text{機}} + P_Q + P_{\text{化}} + P_{\text{光}} + \dots$$

上式中 $E_{\text{機}}$ 為轉化的機械能， $Q = I^2 R t$ 為轉化的內(熱)能， $E_{\text{化}}$ 為轉化的化學能； $P_{\text{機}}$ 是轉化為機械能的功率， $P_Q = I^2 R$ 是熱的功率， $P_{\text{化}}$ 轉化為化學能的功率。電能會轉化成甚麼形式的能，要由電路的元件決定。



在真空中，電場力對電荷做正功，電荷做加速運動，減少的電勢能轉化為電荷的動能。在導體中，在電場力作用下做定向移動的自由電荷要頻繁地與離子發生碰撞，把動能傳給離子，使離子的熱運動加劇，溫度升高，從而把電能轉化成內能。電流通過電解質時發生的某些化學反應會把電能轉化成化學能。

純電阻電路

純電阻電路是只有電阻元件的電路。在純電阻電路中消耗的電能全部轉變成內能。例如，電燈，電烙鐵，電熨斗，電爐、電熱水器等，它們主要是發熱，都可視為是純電阻元件。

根據上述定義和歐姆定律 $R = U/I$ ，在純電阻電路中有：

$$W = Q = I^2 R t = U^2 t / R = U I t = P t$$

$$P = P_Q = I^2 R = U^2 / R = U I = W / t$$

電解反應，電風扇等電路，除了發熱以外，還把電能轉化成化學能、機械能等，這些電路是非純電阻電路。

例二 用直流電動機提升重物，重物的重量 $G = 500\text{N}$ ，電源的輸出電壓恒定為

110V，當電動機以 $v=0.90\text{m/s}$ 的恒定速度向上提升重物時，電路中的電流強度 $I=5.0\text{A}$ ，若不計各處摩擦，求電動機線圈的電阻。

已知 $G=500\text{N}$ $U=110\text{V}$ $v=0.90\text{m/s}$ $I=5.0\text{A}$

求 電動機線圈的電阻 R 。

解 電動機的總耗電功率為：

$$P=UI=110*5.0=550(\text{W})。$$

因為 $P=Fv$ ，勻速上升時 $F=G$ ，所以電動機的做機功的功率為：

$$P_{\text{機}}=Fv=500*0.90=450(\text{W})。$$

因為電動機只是把電能轉化成機械能和內能，所以有 $P=P_{\text{機}}+P_Q$ ，電動機的發熱功率為：

$$P_Q=P-P_{\text{機}}=550-450=100\text{W}。$$

因為 $P_Q=I^2/R$ ，所以 電動機線圈的內阻為：

$$R=P_Q/I^2=100/5.0^2=4.0(\Omega)。$$

答：電動機線圈的內阻為 4.0Ω 。

第二十二章 電路(含電源)

第一節 電池

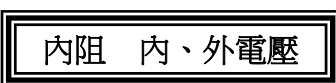


我把化學能轉化為電能的裝置叫做**電池**，如干電池、蓄電池、鈕扣電池、燃料電池等。把太陽能轉化為電能的裝置叫做**太陽能電池**，又叫做**光伏電池**。

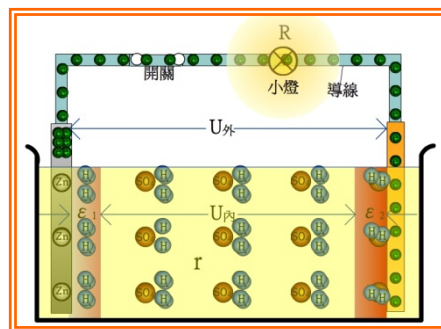
下圖是一些常見的電池。



電池的主要構造是由正極、負極電和電解質組成。電勢較高的做正極。由電池組成的閉合電路，電流從正極流出，經外電路流向負極，再從負極經電池內部流向正極，形成一個閉合的循環回路。電池是把化學能轉化為電能，能持續提供電流的裝置。



電池內，兩極間的電解質是有電阻的，這些電解質的電阻叫做**內阻**(r)。干電池(電芯)的內阻約為 0.5Ω ，鉛蓄電池的內阻約 0.02Ω 。當外電路的電阻遠大於內阻時，一般可忽略內阻，內阻為零的電池叫做理想電池。



電流通過電池兩極間的電解質時會因消耗電能做功而產生熱，在這些電解質上產生電壓，這個電壓叫做**內電壓**。若 I 為閉合電路的電流，則內壓為 $U_{內}=Ir$ 。電池內產生的熱量為 $Q=I^2rt$ 。

電池外部兩極之間的電壓叫做**外電壓**或**路端電壓**。若 I 為閉合電路的電流，外電路的總電阻為 R ，則外電壓為： $U_{外}=IR$ 。



由電池的工作原理可知，電源未接入電路時兩極之間總保持一定電壓。為了表徵電源的這種特性，物理學中引入了**電動勢**的概念。電源的**電動勢**等於電源沒有接入電路時兩極間的電壓。電源的電動勢用符號 ε 來表示。電動勢的單位跟電壓的單位相同，也是伏特。

電池的電動勢是由電池的化學反應種類決定的，等於兩個電極化學反應產生的電勢差之和 $\varepsilon=\varepsilon_1+\varepsilon_2$ 。相同化學反應的電池，不論其外形如何，它們的電動勢都是相等的。干電池的電動勢為 $1.5V$ ，鉛蓄電池的電動勢為 $2V$ 。電源的電動勢可以用電壓表直接在電源的兩極上測得。

由電池的工作原理可知：

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = U_{\text{內}} + U_{\text{外}}。$$

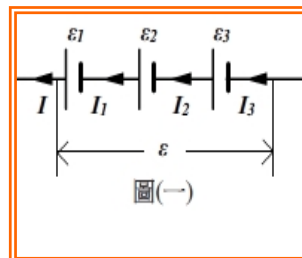
根據電壓 $U = W/q$ 可知，電動勢在數值上等於電源使單位電荷獲得的電能。繞電路一周後，電荷獲得的電能全部消耗在內電路和外電路上。

電池的串聯

圖(一)所示電路中的電池為串聯。電池串聯有以下特點。

- (1) $I = I_1 = I_2 = \dots\dots\dots$ ；
- (2) $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots\dots\dots$ ；
- (3) $r = r_1 + r_2 + \dots\dots\dots$ 。

ε 為電池組的總電動勢， r 為電池組的總內阻， r_1 、 r_2 為各電池的內阻。一般的蓄電池是由多個小蓄電池串聯而成的。

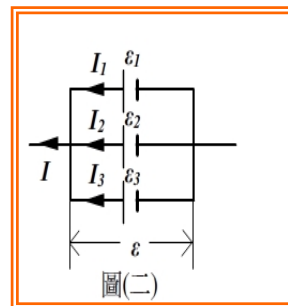


電池的并聯

圖(二)所示電路中的電池為並聯。電池並聯有以下特點。

- (1) $I = I_1 + I_2 + \dots\dots\dots$ ；
- (2) $\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \dots\dots\dots$ ；
- (3) $1/r = 1/r_1 + 1/r_2 + \dots\dots\dots$ 。

ε 為電池組的總電動勢， r 為電池組的總內阻， r_1 、 r_2 為各電池的內阻。



一般只將電動勢和內阻相同的電池作并聯用，因為若電池的電動勢和內阻不相同時，電動勢較高或外電壓較高的電池就會向其它電池供電。這樣就會浪費電能，還可能損壞電池。

第二節 閉合電路歐姆定律

閉合電路歐姆定律

由電池的工作原理可知：

$$\varepsilon = U_{\text{外}} + U_{\text{內}}。$$

設外電路為純電阻電路，總電阻為 R ，設內阻為 r ，由歐姆定律得 $U_{\text{外}} = IR$ ， $U_{\text{內}} = Ir$ 。由以上關係得：

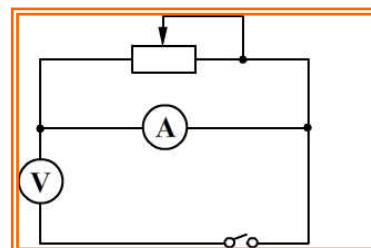
$$I = \varepsilon / (R + r)。$$

上式表明在純電阻電路中，閉合電路中的幹路電流跟電源的電動勢成正比，跟內、外電路中的電阻之和成反比。這個結論叫做閉合電路歐姆定律，或全電路歐姆定律。又叫做全電路歐姆定律。

閉合電路歐姆定律又可寫為：

$$\varepsilon = I(R + r) = U_{\text{外}} + U_{\text{內}} = U_{\text{外}} + Ir。$$

例一 利用圖中所示的電路可以測出電源的電動勢



和內阻。當變阻器的滑片在某一位置時，安倍表和伏特表的讀數分別是 0.20A 和 1.98V。改變滑片位置後，兩表的讀數分別是 0.40A 和 1.96V。求電池的電動勢和內阻。

已知 $I_1=0.20\text{A}$ $U_1=1.98\text{V}$ $I_2=0.40\text{A}$ $U_2=1.96\text{V}$

求 求電池的電動勢 ε 和內阻 r 。

解 電壓表測得的是外電壓，電流表測得是幹路電流。據閉合電路歐姆定律有：

$$\varepsilon = U_1 + I_1 r \dots\dots\dots(1)$$

$$\varepsilon = U_2 + I_2 r \dots\dots\dots(2)$$

(1)式和(2)式代入數據得：

$$\varepsilon = 1.98 + 0.20r \dots\dots\dots(3)$$

$$\varepsilon = 1.96 + 0.40r \dots\dots\dots(4)$$

解(3)式和(4)式得： $\varepsilon=2\text{V}$ ； $r=0.1\Omega$ 。

答：電池的電動勢為 2V，內阻為 0.1Ω。



據閉合電路歐姆定律和歐姆定律可得：

$$U_{\text{外}} = \varepsilon - Ir = IR。$$

據上式可得：

當外電路斷開時， $I=0$ ； $U_{\text{外}}=\varepsilon$ 。

當外電路電阻增大時，外電壓增大，外電壓的最大值為 ε ；當外電路電阻減少時，外電壓減少，外電壓的最小值為 0。

當電池短路時， $R=0$ ；得 $U_{\text{外}}=0$ 。

當電池內電阻為零時， $U_{\text{外}}=\varepsilon$ 。



在電池內電路中消耗的功率為： $P_{\text{內}} = U_{\text{內}} I = I^2 r$

在電池外電路中消耗的功率為： $P_{\text{外}} = U_{\text{外}} I$ 。外電路消耗的功率也叫做電池輸出的功率。

根據能量守恒，電源消耗的總功率為： $P = P_{\text{內}} + P_{\text{外}} = \varepsilon I$ 。

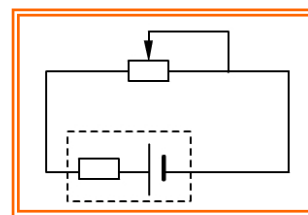
下面我們分析 R 取何值時 $P_{\text{外}}$ 最大。

$$\begin{aligned} P_{\text{外}} &= I^2 R = \varepsilon^2 R / (r + R)^2 = \varepsilon^2 R / (R^2 + 2Rr + r^2) \\ &= \varepsilon^2 R / (R^2 - 2Rr + r^2 + 4Rr) \\ &= \varepsilon^2 / ((R - r)^2 / R + 4r) \end{aligned}$$

上式的分母最小時 $P_{\text{外}}$ 為最大，即 $R=r$ 時 $P_{\text{外}}$ 為最大值。

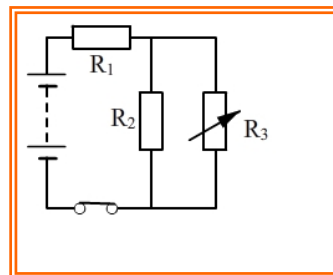
例二 電池的內阻為 0.1Ω，外電路是一個阻值為 5Ω 的電阻跟一個滑動變阻器串聯，滑動變阻器的有效電阻為 _____Ω 時消耗的电功率最大。

解 因為阻值為 5Ω 的電阻是跟電池是串聯的，我們可成以認為這電阻跟電池是一整體，內阻為 5.1 Ω。滑動



變阻器是外電路，那麼分析滑動變阻器的最大消耗功率跟分析外電路最大消耗率一樣，即滑動變阻器的阻值為 5.1Ω 時消耗功率最大。

例三 如圖所示，6 個電動勢 1.5V ，內阻 0.1Ω 的電池串聯成一個電池組。 $R_1=4.4\Omega$ 歐， $R_2=6\Omega$ ，變阻箱電阻為 12Ω ，求路端電壓、電源的總功率、輸出功率和 R_1 消耗的功率。



已知 $n=6$ $\varepsilon_1=1.5\text{V}$ $r_1=0.1\Omega$ $R_1=4.4\Omega$ $R_2=6\Omega$
 $R_3=12\Omega$

求 求路端電壓 U 、電源的總功率 P 、輸出功率 $P_{\text{外}}$ 和 R_1 消耗的功率 P_1 。

解 電池組的電動勢和內阻分別為：

$$\varepsilon=n\varepsilon_1=6*1.5=9(\text{V}) ; \quad r=nr_1=6*0.1=0.6(\Omega)。$$

$$\text{外電阻為：} \quad R=R_{2,3}+R_1=6*12/(6+12)+4.4=8.4(\Omega)。$$

干路的電流為：

$$I=\varepsilon/(R+r)=9/(8.4+0.6)=1(\text{A})。$$

路端電壓 U 為：

$$U=IR=1*8.4=8.4(\text{V})。$$

電源的總功率為

$$P=\varepsilon I=9*1=9\text{W}$$

電源的輸出功率為 $P_{\text{外}}=UI=8.4*1=8.4(\text{W})$

$$R_1 \text{ 消耗的功率為 } P_1=I^2R_1=1^2*4.4=4.4(\text{W})$$

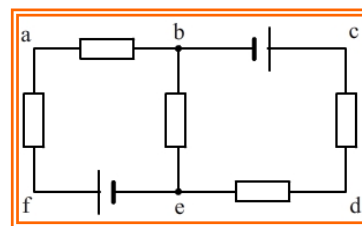
答：路端電壓為 8.4V 、電源的總功率為 9W 、輸出功率為 8.4W 、 R_1 消耗的功率為 4.4W 。

第三節 基爾霍夫定律

專用名詞

三條或三條以上的支路的連接點叫**結點**，又叫做**節點**。圖中 b 、 e 為結點。

由支路組成的閉合路徑叫做**回路**。圖中的 $abefa$ 、 $bcdeb$ 、 $abcdefa$ 均為回路。



節點定律

基爾霍夫(Kirchhoff, Gustav Robert)定律可以解一些分不清是串聯還是并聯的電路(網絡電路)的問題。基爾霍夫定律分為節點定律和回路定律兩個定律。

電流穩定時，流入節點的電流之和等於流出節點的電流之和。這個結論叫做基爾霍夫電流定律或基爾霍夫節點定律。若流入節點的電流取正值，則流出節點

的電流取負值，則有：

$$\Sigma I=0。$$

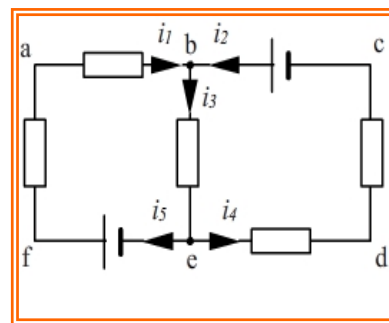
設電流方向如圖所示，對於 a 點和 b 點分別有：

$$i_1+i_2-i_3=0； i_3-i_4-i_5=0。$$

(因為 cfab 只有一通路，所以 $i_1=i_5$ ；同理有 $i_2=i_4$)

列方程前可先為經過節點的電流設一個方向。

如果經方程組解出的電流為正值，則實際電流方向跟所設相同，否則，相反。



回路定律

任一閉合回路中，電動勢的代數和必定等於各段電阻上的電壓降之代數和。這個結論叫做基爾霍夫電壓定律或基爾霍夫回路定律。

應用回路定律時，須在回路中設定一個環繞方向。若通過電阻的電流方向跟設定的環繞方向相同，則電阻的電壓取正值，反之，取負值；若環繞方向從電源的負極到正極，則電動勢取正值，反之，取負值。該定律的數學表達式為：

$$\Sigma U=\Sigma \varepsilon；$$

或

$$\Sigma IR - \Sigma \varepsilon=0。$$

設環繞方向如右圖所示，對於各回路有：

對於 abefa，電流方向跟環繞方向相同的有 U_1 、 U_2 、 U_3 ，得下式：

$$U_1+U_2+U_3-\varepsilon_1=0；$$

對於 bedcb，電流方向跟環繞方向相同的有 U_3 、 U_4 、 U_5 ，得下式：

$$U_3+U_4+U_5-\varepsilon_2=0；$$

對於 abcdefa，電流方向跟環繞方向相同的有 U_1 、 U_2 ，反向的有 U_4 、 U_5 ，得下式：

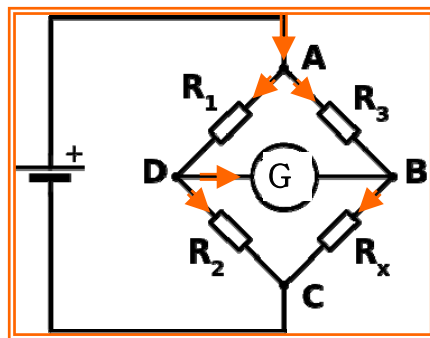
$$U_1+U_2-U_4-U_5+\varepsilon_1-\varepsilon_2=0。$$

應用基爾霍夫定律解題，一般是選一些節點和回路列出多個方程，然後用這些方程組求解出未知量。

惠登斯電橋

右圖的電路叫做惠登斯電橋 (Wheatstone bridge) 是在 1833 年由克里斯丁 (Samuel Hunter Christie) 發明，1843 年由查理斯·惠登斯改進及推廣的一種測量工具。它用來精確測量未知電阻器的電阻值。

未知電阻值的電阻 R_x ，已知可變電阻器



R_2 、電阻 R_1 和電阻 R_3 的值， G 為靈敏電流計， R_G 為電流計內阻。設電流的方向如圖所示。根據基爾霍夫節點定律，對 D 點和 B 點有：

$$I_1 - I_2 - I_G = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$I_3 + I_G - I_X = 0 \dots\dots\dots(2)$$

根據基爾霍夫回路定律，對 $ABDA$ 回路和 $BCDB$ 回路有：

$$I_3 R_3 - I_G R_G - I_1 R_1 = 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$I_X R_X - I_2 R_2 + I_G R_G = 0 \dots\dots\dots(4)$$

調節 R_2 ，使 $I_G = 0$ (此情況稱為電橋平衡)，由(1)式至(4)式得：

$$R_X = R_2 R_3 / R_1。$$

如果 G 的靈敏很高， R_1 、 R_2 、 R_3 的精確度很高，那麼測得 R_X 的精確度也很高，這是惠斯登電橋的優越之處。

電橋未平衡時 DB 之間的電壓為：

$$U_{DB} = (R_X / (R_3 + R_X) - R_2 / (R_1 + R_2)) U_{AC}。$$

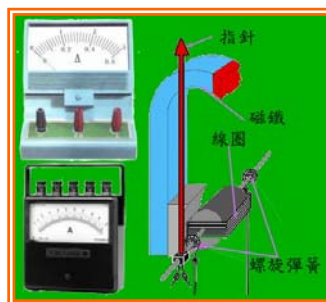
通過電流計的電流為：

$$I = U_{DB} / R_G。$$

第四節 電表

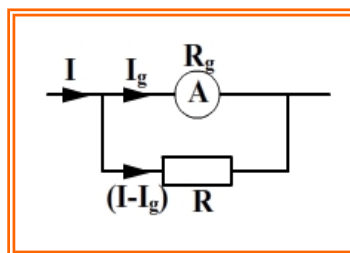
電流表

常用的電流表主要由永久磁鐵和可轉動的線圈組成。線圈中有電流通過時，線圈在磁場力的作用下帶著指標一起偏轉，螺旋彈簧的力阻止指針轉動，指針偏轉越大，彈簧的阻力也越大，兩力平衡時，指針靜止。電流表的設計使通過它的電流跟指針的偏轉角度成正比，根據指針的偏轉角就知道通過電流表的電流。根據偏轉角，在刻度盤上標出流值，就可以直接從刻度盤讀出電流值。



電流表的電阻 R_g 叫做**電流表內阻**，指針偏轉到最大刻度時的電流 I_g 叫做**電流表滿偏電流**。

電流表原表的滿偏電流一般都比較小，**擴大量程時要讓原表並聯一個分流電阻 R** 。把小量程的電流表改裝成大量程的電流表的電路如圖所示。圖中，分流電阻為 R ，擴大量程後的滿偏電流為 I ，原表可等效成一個電阻 R_g ，根據並聯電路 $U_1 = U_2$ 有：



$$I_g R_g = (I - I_g) R$$

得： $R = I_g R_g / (I - I_g)$

加分流電阻後的電壓表，讀數時要把原來刻度盤的讀數擴大 N 倍， $N = I_g / I$ 。

電壓表

常用的電壓表都是由小量程的電流表的表頭改裝而成的。由歐姆定律知道，通過表頭的電流跟表頭兩端的電



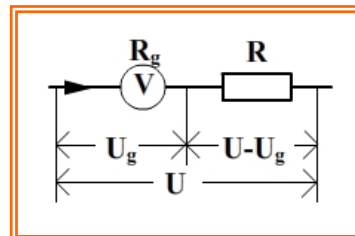
壓成正比。如果在刻度盤上直接標出電壓值，由指針所指的位置就可以讀出表頭兩端的電壓值。若原表的滿偏流和內阻分別為 I_g 、 R_g ，則電壓表的滿偏壓為 $U_g = I_g R_g$ 。

擴大量程時要讓原表串聯一個分壓電阻。把小量程的電壓表改裝成大量程的電壓表，電路如圖所示。圖中，分壓電阻為 R ，擴大量程後的滿偏電壓為 U ，原電壓表可等效成一個電阻 R_g ，根據串聯電路 $I_1 = I_2$ 有：

$$U_g / R_g = (U - U_g) / R$$

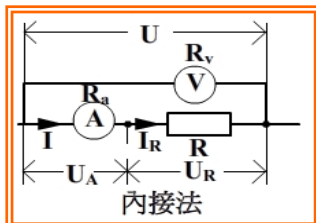
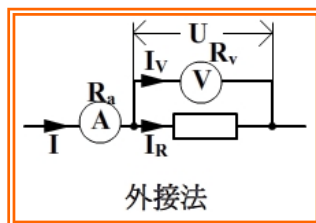
得： $R = (U - U_g) R_g / U_g$

加分壓電阻後的電壓表，讀數時要把原來刻度盤的讀數擴大 N 倍， $N = U / U_g$ 。



伏安法測電阻

用電壓表和電流表測出導體兩端的電壓 U 和通過它的電流 I ，用歐姆定律計算出導體的電阻的方法叫做伏安法。該方法有電流表外接法和電流表內接法兩種。



在電路中電流表和電壓表均可等效為電阻 R_A 和 R_V 。它們的加入改變了電路的連接，使測量值出現偏差，從而使測量結果也出現偏差。

在外接法中，電阻的測量值 R' 和真實值 R 為：

$$R' = U / I; \quad R = U / I_R$$

因為 $I > I_R$ ，所以 $R' < R$ 。

如果 $R_V \gg R$ ，則可認為 $I = I_R$ ，則可認為 $R' = R$ 。以上說明，被測電阻 R 越小，測量結果越準確。

在內接法中，電阻的測量值 R' 和真實值 R 為：

$$R' = U / I; \quad R = U_R / I$$

因為 $U > U_R$ ，所以 $R' > R$ 。

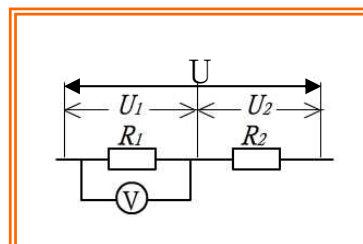
如果 $R_A \ll R$ ，則可認為 $U = U_R$ ，即 $R' = R$ 。以上說明，被測電阻 R 越大，測量結果越準確。

例一 在如圖所示的電路中， $R_1 = R_2 = 50\Omega$ ， $U = 50V$ 。在未連入電壓表時， R_1 兩端的電壓 U_1 是多大？用內阻 $R_V = 2k\Omega$ 的電壓表來測量 R_1 兩端的電壓 U_1' 是多大？用內阻 $R_V = 50k\Omega$ 的電壓表來測量 R_1 兩端的電壓 U_1'' 是多大？

已知 $R_1 = R_2 = 50\Omega$ $U = 50V$ $R_V = 2k\Omega$ $R'_V = 50k\Omega$

求 R_2 的電壓 U_2 和 U_2'' 。

解一 因為 $R_1 = R_2$ ，所以 $U_2 = U / 2 = 25(V)$ 。



解二 接入 $R_V=2\text{k}\Omega$ 的電壓表時，電壓表與 R_I 並聯的等效電阻為：

$$R_{\#}=R_I R_V / (R_I + R_V) = 50 \times 2000 / (50 + 2000) = 44.8(\Omega)。$$

電路的總電阻為：

$$R = R_I + R_{\#} = 50 + 44.8 = 99.8(\Omega)。$$

由串聯電路的電壓分壓計算可得：

$$U_I' = R_{\#} U / R = 44.8 \times 50 / 99.8 = 24.7(\text{V})。$$

解三 同理可求得接入另一電壓表時 $U_I'' = 25.0(\text{V})。$

答：用 $R_V=2\text{k}\Omega$ 的電壓表來測量，測量的結果 U_I' 是 24.7V；用 $R_V'=50\text{k}\Omega$ 的電壓表來測量， U_I'' 為 25.0V。用內較大的電壓表測量時，對電路的影響較小。

多用表

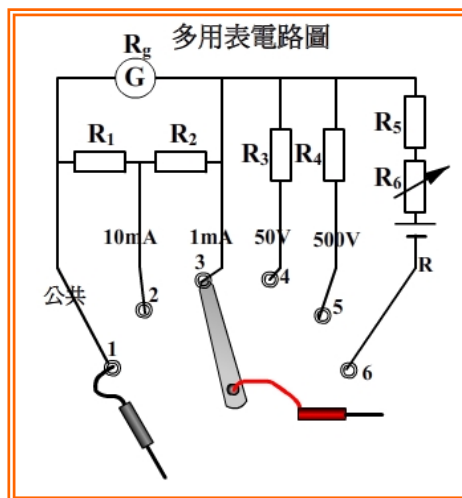
(一)測量電阻的原理

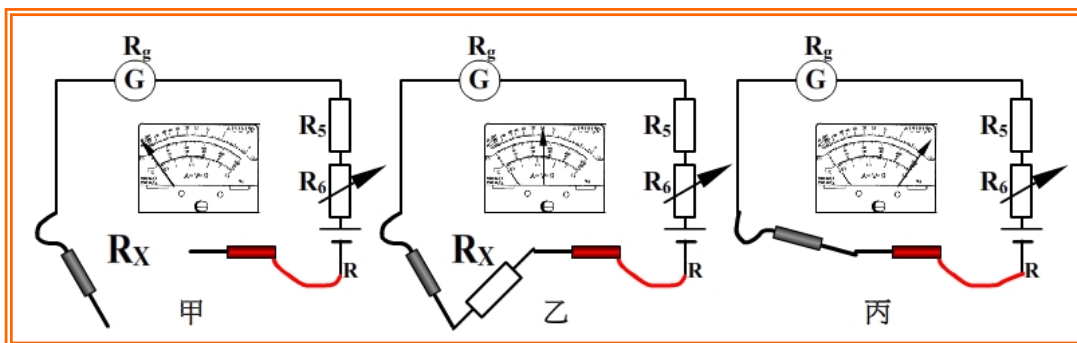
多用電表(通常叫萬用表)能夠測量直流電流、直流電壓、電阻、交流電壓等，並且每種測量都有幾個量程，多用電表具有用途廣、量程多、使用方便等優點，因而有廣泛的應用。

多用電表由一隻靈敏的直流電流表 G(表頭)與若干元件組成測量電路，每進行一種測量時，只使用其中一部分電路，其他部分不起作用。

如果把選擇開關撥到 2 或 3，可測量電流， R_1 、 R_2 和 G 組成分流電路。如果把選擇開關撥到 4 或 5，可測量電壓， R_3 或 R_4 和 G 組成分壓電路。如果把選擇開關撥到 6，可測量電阻，G、 R_5 、 R_6 和電池組成測電阻的電路。

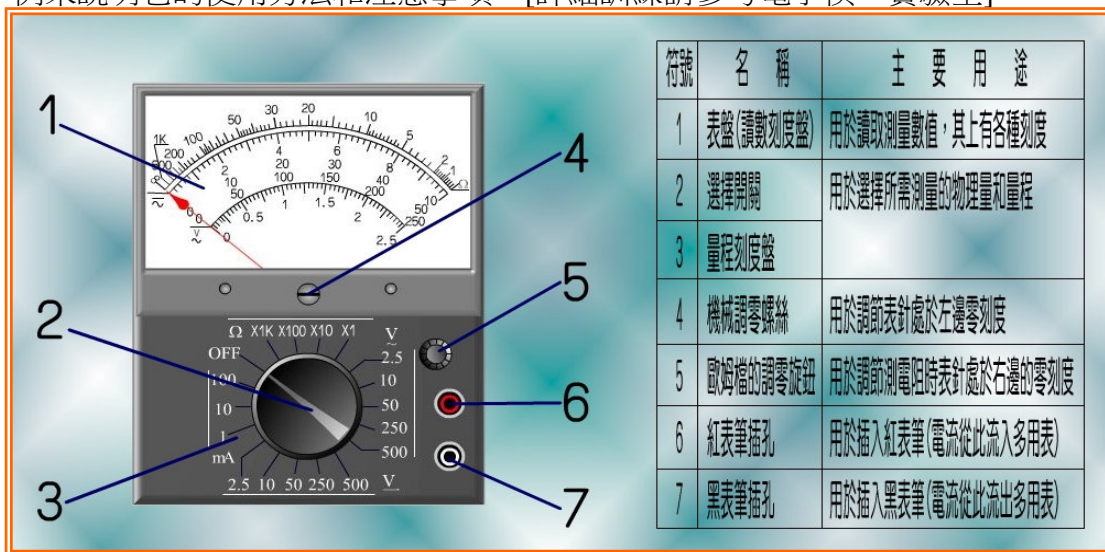
電阻擋的電路由 G、 R_5 、 R_6 、被測電阻 R_X 和電池組成。電池的電動勢為 ε ，內阻為 r 。電阻 R_6 是可變電阻，也叫調零電阻。當紅、黑表筆不接觸時(圖甲)，相當於被測電阻 $R_X = \infty$ ，電路中沒有電流，表頭的指針不偏轉，此時指標所指的位置是電阻擋刻度的“ ∞ ”點。當紅、黑表筆間接上被測電阻 R_X 時(圖乙)，電路中的電流 $I = \varepsilon / (R_5 + R_6 + R_g + R_X + r)$ ，即 $R = \varepsilon / I - (R_5 + R_6 + R_g + r)$ 。由此可知，只要測出電流 I ，就可算出被測電阻 R_X 。因為 R_X 與 I 不是成線性關係，所以刻度盤的刻度是不均勻的。紅、黑表筆接觸時(圖丙)，相當於被測電阻 $R_X = 0$ ，電路中的電流最大(I_g)，表頭的指針轉到最右邊，因此刻度盤的右端為 0 刻度。因為 $I_g = \varepsilon / (R_5 + R_6 + R_g + r)$ ，所以只要調節 R_6 的大小就能使指針指到 0 刻度處。





(二) 練習使用

多用電表的型號很多，但使用的方法基本相同，下面以 J0411 型多用電表為例來說明它的使用方法和注意事項。[詳細訓練請參考電子模 實驗室]

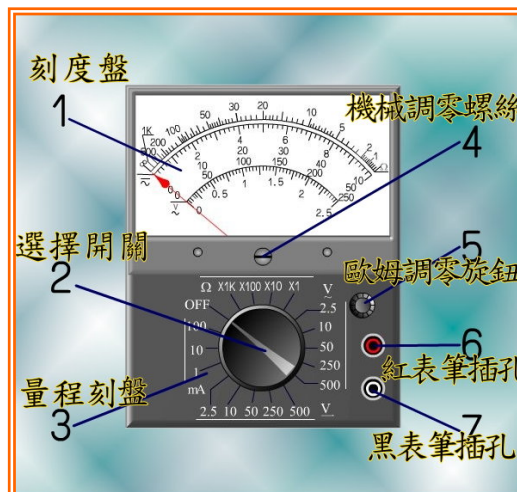


(1) 多用電表的外形如圖所示。上半部是表頭，表盤上有電阻、電流、電壓等各種量程的刻度。有些量程會合用一個刻度。下半部是選擇開關，它的四周刻著各種測量專案和量程。電流和電壓分為直流(用符號“—”表示)和交流(用符號“~”表示)兩類，要注意區分。另外還有電阻檔的調零旋鈕和測試筆插孔。

測量前，應先檢查表針是否停在左端的“0”位置，如果沒有停在零位置，要用小螺絲刀輕輕地轉動表盤下邊中間的機械調零螺絲，使指標指零。然後將紅表筆和黑表筆分別插入正(+)、負(−)表筆插孔。

(2) 測量時，應把選擇開關旋到相應的測量專案和量程上，讀數時，要用跟選擇開關的檔位相應的刻度。

測量電流。跟電流表一樣，應把多用電表串聯在被測電路裏；測量直流電流



時，必須使電流從紅表筆流進多用電表，從黑表筆流出來，否則表針會反轉。測交流電時，則紅、黑表筆可以調換使用。

測量電壓。跟電壓表一樣，應把多用電表和被測部分並聯；測量直流電壓時，必須用紅表筆接電勢較高的點，用黑表筆接電勢較低的點，否則表針會反轉。測交流電時，則紅、黑表筆可以調換使用。

測量電阻。先選擇好測電阻的量程，然後把兩根表筆相接觸，調整歐姆擋的調零旋鈕，使指針指在電阻刻度的零位置上(注意，電阻刻度的零位置在表盤的右端)。測量電阻時把兩表筆分別與待測電阻的兩端相接。

應當注意：換用歐姆擋的另一量程時，需要重新調整歐姆擋的調零旋鈕，才能進行測量；測量時待測電阻要跟別的元件和電源斷開；測量時手不要碰到表筆的金屬觸針，以保證安全和測量的準確。

(3)使用後，要把表筆從表筆插孔拔出，並把選擇開關置於交流電壓的最高檔。長期不使用時，應把電池取出。

