

The cover features a vibrant space-themed background with a blue and purple gradient, a crescent moon, and several bright, multi-pointed stars. A central rectangular frame with a double-line border contains the main text. The text is rendered in a bold, golden-yellow, 3D-style font with a slight shadow effect.

# 高三物理CAI (電腦輔導教學)

## 教學設計

參選編號: C024  
參選類型: 學 年  
適用年級: 高 三  
科 目: 物 理

# 高三級物理 CAI(電腦輔助教學)教學設計

## 目 錄

CAI 課本簡介.....	3
教學進度表.....	8
第三冊教案.....	12
試教評估.....	36
反思與建議.....	39
參考文獻.....	40
高三級物理 CAI 課本紙質版.....	41

### 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 高三級物理 CAI 課本
- 4 製作原始檔(參考用)
- 5 CAI 練習冊參考資料(非教學設計內容)
- 6 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,這是第三冊的教學設計,可供高中三年級使用。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)”檔案夾複製到電腦,最好複製到電腦桌面,否則可能會因為路徑過長而不能播放嵌入 ppt 中的動畫。
- 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,點擊內嵌的視頻檔或動畫檔的畫面就可播放相應的實驗錄影,或模擬動畫,或互動動畫。如果不能播放,可以點擊旁邊的“播放器”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。
- 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網,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。如果播放內容已從網上刪除,或網址變動,則不能播放。

### 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；CAI課本又是的學生的學案，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動畫加入到課本的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、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。

## 7 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，反反復復，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，更着重在補充教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，平板電腦，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懂得修改和編輯 PowerPoint 的東西。ppt 的通用性很好，但 ppt 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，插入用其它軟件製作的東西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出一個密碼，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。**

## 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	<b>第二十三章 電容器</b> 第一節 電容器 第二節 電容		10日放假
3	9月12日 9月17日	<b>第二十三章 電容器</b> 第三節 帶電粒子在電場中的運動 第四節 有電容器的電路		13日放假
4	9月19日 9月24日	<b>第二十三章 電容器</b> 第四節 有電容器的電路 習題課 <b>第二十三章復習 測驗</b>		
5	9月26日 10月1日	<b>第二十四章 磁場</b> 第一節 磁體和磁場 第二節 電流的磁場		1日放假
6	10月3日 10月8日	<b>第二十四章 磁場</b> 第三節 磁場對流的作用 第四節 洛倫茲力	練習使用 電流天平	3日、5日 放假
7	10月10日 10月15日	<b>第二十四章 磁場</b> 第五節 帶電粒子在磁中的運動 習題課 <b>第二十四章復習</b>		
8	10月17日 10月22日	<b>第二十四章 測驗</b>		19至22 日校運會 停課
9	10月24日 10月29日	專題探究活動: 各種高能粒子加速器		
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 11月19日	第二十五章 電磁感應 第一節 電磁感應現象 第二節 感應電流的方向	驗證楞次定律	
13	11月21日 11月26日	第二十五章 電磁感應 第三節 感應電動勢 第四節 自感現象		
14	11月28日 12月3日	習題課 第二十四章復習 測驗		
15	12月5日 12月10日	第二十六章 交流電 15-17 第一節 交流電		
16	12月12日 12月17日	第二十六章 交流電 15-17 第二節 變壓器 第三節 電能的輸送		
17	12月19日 12月24日	習題課 第二十六章復習 測驗		20日至26日放假
18	12月26日 12月31日	專題探究活動: 變壓器的其它用途		
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	第二十七章 電磁振盪和電磁波 第一節 電磁振盪		
2	2月13日 2月18日	第二十七章 電磁振盪和電磁波 第二節 電磁場和電磁波 第三節 無線電波	組裝電磁振盪發生器	
3	2月20日	第二十八章 光的波動性		

	2月25日	第一節 光的衍射		
4	2月27日 3月3日	<b>第二十八章 光的波動性</b> 第二節 光的干涉 第三節 光的電磁說		
5	3月5日 3月10日	<b>第二十八章 光的波動性</b> 第四節 光譜 <b>習題課</b> <b>第二十七、二十八章復習 測驗</b>		8日放假
6	3月12日 3月17日	專題探究活動: 無線電訊號的發射與接收 <b>第二十九章 光的粒子性</b> 第一節 光電效應		
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	<b>第二十九章 光的粒子性 6-7</b> 第二節 光子說 第三節 光的波粒二象性		9日放假
11	4月16日 4月21日	習題課 <b>第三十章 原子</b> 第一節 提子面模型原子 第二節 星系(核式)模型原子		
12	4月23日 4月28日	<b>第三十章 原子</b> 第三節 玻爾原子理論 第四節 對氫原子光譜的解釋 第五節 量子力學描述的原子		
13	4月30日 5月5日	習題課 <b>第二十九、三十章復習 測驗</b>		30、1、4日放假
14	5月7日 5月12日	<b>第三十一章 原子核</b> 第一節 天然放射現象 第二節 探測放射線 第三節 放射性同位素及其應用		
15	5月14日	<b>第三十一章 原子核</b>		

	5月19日	第四節 核能 第五節 重核裂變 第六節 輕核聚變		
16	5月21日 5月26日	習題課 第三十一章復習 測驗		
17	5月28日 6月2日	專題演講活動: 核武器和核能的和平利用 專題實踐活動: 製作一個簡易的發電機		
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校歷安排

## 第三冊補充教案

各章節的 PPT 檔案已經是教案和學案，補充教案對 PPT 檔案的詮釋，只是補充了教學目標和重點、難點。補充教案可供新老師參考和作教學研討活動。學生自學，直接開 PPT 檔，以播放方式觀看就可以了。

### 第二十三章／第一節電容器

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

(1)理解知識：了解電容器的構造、種類、符號和充放電

(2)掌握技能：用電容器的充、放電特點去分析問題

##### 2 培養能力

分析問題的能力

#### 二 教學重點和難點

##### 1 重點 了解電容器的構造、種類和充放電，記住符號

#### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	電容器的構造	播放第 2 頁	配合實物講解
2	電容器的種類	播放第 3 頁	配合實物講解
3	電容器的符號	播放第 4 頁	講電容器和電池符號的區別， 電解電容器正、極的區分 盡可能播放反接電容器和可調電容器 那二個視訊
4	電容器的充電	播放第 5 頁	講清楚充電時的電量極性和電流方向
5	電容器的放電	播放第 6 頁	講清楚放電時的電量極性和電流方向
6	講解例題		能掌握根據電流方判電容器是充電還是放電 培養分析問題的能力
7	畫龍點睛	播放第 7 頁	
8	布置功課	基礎練習§2301	
9	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

### 第二十三章／第二節電容

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

(1)理解知識：電容 電容的定義式 平行板電容器的電容公式

(2)掌握技能：能運用電容的定義式和平行板電容器的電容公式

##### 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 電容 電容的定義式

2 難點 正確理解  $C=Q/U$  中,  $C$  不與  $Q$  成正比、不與  $U$  成反比的道理

三 課時安排 1 課時

## 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	電容的意義:電容是描述電容器的性能的物理量。	播放第 2 頁	
2	電容的定義: 電容器帶的電量( $Q$ )跟兩極的電壓( $U$ )的比值叫做電容器的電容( $C$ )。 $C=Q/U$ 。	播放第 2 頁	
3	電容的單位: 電容單位是法拉, 簡稱法, 記作 $F$ 。 $1F=1C/V$ 。	播放第 2 頁	電容的常用單位還有微法( $\mu F$ )和皮法( $pF$ )。 $1F=10^6 \mu F$ ; $1 \mu F=10^6 pF$ ; $1F=10^{12} pF$ 。
4	電容的特點 (a) 電容是標量。 (b) 電容是電器屬性的物理量, 它的大小是由電容器的構造決定的, 而不是跟 $Q$ 成正比, 跟 $U$ 成反比。	播放第 2 頁	重點講解 $C$ 不與 $Q$ 成正比、不與 $U$ 成反比的道理。 電容器不會因 $Q$ 、 $U$ 的改變而變, 其實 $C$ 是比例常數 培養透過表面看本質的分析能力
5	平行板電容器的兩個電極是兩塊平行平板導體。平行板電容器的電容由下式決定: $C= \epsilon S/4 \pi Kd$ 。	播放第 3、4 頁	按教綱要求, 公式不需要推導, 學生只須掌握各變量之間的關係就可以了 $\epsilon$ 是介電常量每種介質都有自己的介電常量, $\epsilon$ 不需要背。
6	電容器的耐壓和它的標籤	播放第 5 頁	電容值和耐壓值 可以增講擊穿電壓
7	電容器儲存的電能為: $W=CU^2/2$ 。	播放第 6 頁	可以不講電能體密度
8	例題		要注意講解 $U$ 不變
9	畫龍點睛	播放第 9,10 頁	
10	布置功課	基礎練習§2302	
11	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

## 第三十三章／第三節帶電粒子在電場中的運動

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

- 掌握技能： (1)有關速度問題的計算  
(2) 有關類平拋運動的偏轉問題的計算

#### 2 培養能力

培養運用知識解決問題的能力

## 二 教學重點和難點

1 重點 (1)有關速度問題的計算(2)有關類平拋運動的偏轉軌迹問題的計算

2 難點 有關類平拋運動的偏轉軌迹問題的計算

3 突破難點的方法 類比法. 速度和位移問題都要用平拋運動作類比, 精講多練

三 課時安排 2 課時

## 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	速度問題: 如果帶電粒子只受到重力做的功 $W_G$ 和電場力做的功 $W_E$ , 則根據動能定理有: $W_G + W_E = (mv_t^2 - mv_0^2)/2$	播放第 2 頁	要講清楚甚麼情況下可忽略重力功.
2	例一	播放第 3,4 頁	
3	例二	播放第 5 頁	
4	軌迹問題:	播放第 6 頁	帶電粒子運動時受到一個大小和方向都不變的電場力( $F_E$ )作用, 跟物體作拋體運動時只受重力作用的況相似。粒子作類似豎拋、平拋、斜拋運動。類斜拋運動可以不講。
5	類平拋運動 偏轉位移 $y = UqX^2/2mdv_0^2$ 偏轉角為 $\tan \theta = UqX/mdv_0^2$ 。	播放第 7 頁	要熟練掌握公式的推導過程和方法, 最好能熟記公式  培養運用知識解決問題的能力
	示波器的工作原理	播放第 8 頁	只播放示波器動畫部分, 其餘可跳過。
	例三	播放第 9、10 頁	
	例四	播放第 11、12 頁	
6	畫龍點睛	播放第 13 頁	
7	布置功課	基礎練習§2303	第二課時
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題 此為第二課時

## 第二十三章／第四節有電容器的直流電路

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識: 電容器的串聯和并聯 有電容器的電路的分析和計算

(2)掌握技能: 等效法和電路計算

#### 2 培養能力

培養分析能力.

### 二 教學重點和難點

1 重點 電容器的串聯和并聯 有電容器的電路的分析和計算

- 2 難點 有電容器的電路的分析和計算
- 3 突破難點的方法 復習等勢的概念 精講多練
- 三 課時安排 2 課時
- 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	電容器的串聯	播放第 2,3,4 頁	最好與電阻器的并聯作比較 等效電容的推導要講慢一些
2	電容器的并聯	播放第 5,6 頁	最好與電阻器的串聯作比較 等效電容的推導要講慢一些
3	有電容器的電路	播放第 7 頁	主要講充電作用和隔直流作用
4	有電容器的電路	播放第 8 頁	復習等勢概念，講清楚哪些部分與電容器的兩極等勢
5	範例一	播放第 9 頁	要教會學生分析電路，知道電流的流向、等勢的部分
6	範例二	播放第 10,11 頁	
7	畫龍點睛	播放第 12 頁	
8	布置功課	基礎練習§2304	
9	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題 此為第二課時

## 第二十四章／第一節磁體和磁場

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識：復習磁場的基本概念 磁感強度 磁感線 勻強磁場 地球的磁場

### 二 教學重點和難點

#### 1 重點 磁感線 磁感強度 地球的磁場

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	磁體	播放第 2,3 頁	
2	磁感強度	播放第 4,5,6 頁	要強調磁感強度的定義式的條件是 $B$ 與 $I$ 垂直
3	磁感線	播放第 7,8 頁	着重是讀懂，而非畫得準確
4	勻強磁場	播放第 9 頁	着重說明平行磁極間和密繞螺線管內部
5	例一	播放第 10 頁	
6	地球磁場	播放第 11 頁	盡可能播放連結視頻(1)。較詳細地解釋極光的形成，可作拓展。
7	畫龍點睛	播放第 12,13 頁	
8	布置功課	基礎練習§2401	

## 第二十四章／第二節電流的磁場

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 長直電流的磁感線和磁感強度 環形電流的磁感線和磁感強度 螺線管電流的磁感線和磁感強度 安培定則 安培假說 磁通量

(2)掌握技能： 準確運用安培定則

#### 2 培養能力

培養打好基礎，大膽假設，小心求證的科學研究精神。

### 二 教學重點和難點

1 重點 長直電流的磁感線和磁感強度 環形電流的磁感線和磁感強度 螺線管電流的磁感線和磁感強度 安培定則 安培假說 磁通量

2 難點 安培定則

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	引入	播放第 2 頁	介紹奧斯特
2	長直電流的磁場	播放第 3 頁	重點講清楚它們的磁感線，磁感強度的公式作一般理解就可以了
3	環形電流的磁場	播放第 4 頁	
4	螺線管電流的磁場	播放第 4 頁	
5	安培定則	播放第 5,6 頁	弄清:電流方向、磁感線方向和磁針指向之間的關係
	安培定則的應用	播放第 7,8 頁	如時間有餘,最好能增加一些練習
6	安培假說	播放第 9,10 頁	很多科學理論都先假設，然後再証實的， 培養打好基礎，大膽假設，小心求證的創新精神
7	例	播放第 11 頁	
8	磁通量	播放第 12,13 頁	要講明白 $\Phi=BS\sin\theta=BS\cos\alpha$ 的 $\theta$ 和 $\alpha$
9	畫龍點睛	播放第 14,15 頁	
10	布置功課	基礎練習§2402	

## 第二十四章／第三節磁場對電流的作用

### 一 教學目標

#### 1 學習知識：

3 (1) 理解知識： 安培力及其大小 左手定則

(2)掌握技能： 運用安培力公式和左手定則

#### 2 培養能力

培養空間感

### 二 教學重點和難點

1 重點 安培力及其大小 左手定則

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	安培力	播放第 2.3.4 頁	播放二個連結的頻, 用安培力佑識給予解釋 強調 $\theta$ 是 <b>B</b> 與 <b>I</b> 的夾角
2	左手定則	播放第 5.6 頁	強調 <b>F</b> 垂直於 <b>B</b> 和 <b>I</b> 的平面
3	通電線圈的力偶矩	播放第 7 頁	較抽象, 要利用動畫來幫助講解
4	範例	播放第 8 頁	通過安培定則和左手定則的應用培養空間感
6	畫龍點睛	播放第 9 頁	
7	布置功課	基礎練習§2403	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

## 第二十四章／第四節洛侖茲力

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 洛侖茲力及計算公式

(2)掌握技能： 運用洛侖茲力及計算公式 左手定則

#### 2 培養能力

培養學生的邏輯推理能力

### 二 教學重點和難點

1 重點 洛侖茲力及計算公式 左手定則

2 難點 左手定則的運用

3 突破難點的方法 要強調應用左手定則是正負不同的 要多練

### 三 課時安排 2 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	引入	播放第 1,2 頁	盡量啟發學生去想一想 培養學生的聯想能力
2	洛侖茲力及其大小	播放第 3.4.5 頁	盡可能讓學生去推導公式 培養學生的邏輯推理能力
3	洛侖茲力的方向	播放第 6 頁	左手定則可以判斷洛侖力的方向嗎? 培養學生的聯想能力
4	洛侖茲力的方向	播放第 7.8,頁	要強調運用左手定則要分正和負二種
5	例	播放第 9 頁	左手定則應用於洛侖茲力涉四要素: f.v.B.電荷的正或負
6	畫龍點睛	播放第 10 頁	
7	布置功課	基礎練習§2404	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題 此為第二課時

## 第二十四章／第五節帶電粒子在勻強磁場中的運動

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 粒子作圓周運動的原因

(2)掌握技能： 應用半徑公式和周期公式解決問題

2 培養能力

邏輯推理能力 應用知識的能力

二 教學重點和難點

1 重點 半徑公式 周期公式

2 難點 半徑公式 周期公式

3 突破難點的方法 精講多練

三 課時安排 2 課時

四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	引入	播放第 2,3 頁	想一想電粒子進入磁場後會麼樣運動 培養聯想能力
2	推導半徑公式和周期公式	播放第 4 頁	先分組的嘗試推導,然後再由學生演繹 軟件進行証。這種教法效果很好。
3	講解例題	播放第 5,6 頁	盡量啟發學生自己講出解題的方法
8	畫龍點睛	播放第 7 頁	
9	布置功課做功課	基礎練習§2405	鼓勵學生多提問 此為第二課時

## 第二十五章／第一節電磁感應現象

一 教學目標

1 學習知識

(1)理解知識： 電磁感應現象 產生感應電流的條件 切割磁感線產生感應電流的問題

(2)掌握技能： 能準確判斷會否產生感應電流

2 能力培養

觀察能力和探究能力

二 教學重點和難點

1 重點 產生感應電流的條件 切割磁感線產生感應電流的條件

2 難點 培養觀察能力和探究能力

3 突破難點的方法 借助模擬動畫進行探究活動

三 課時安排 1 課時

四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	引入	播放第 2 頁	逆命題往往是成立的。既然電能生磁， 那麼磁能生電嗎？ 拋出懸念，引起探究興趣。
2	探究產生感應電的條件	播放第 3、4、5 頁	把條件直接告訴學生，這樣教更簡單。 但是，這個課程是難得的一個可以在 課堂上作探究的課題，所以我寧可

			花多一點時間，用動畫引導學生去觀察、思考、探究和推論，從而培養他們的觀察能力和探究能力。 如果用平板電腦上課，以兩個學生為小組合作探究，效果更佳。
3	驗證產生感應電流的條件	播放第 6 頁	理論推導的結果，還需實踐去檢驗其正確性。
4	總結探究和驗證的結果	播放第 7 頁	再明確一下產生感應電流的條件。
5	切割磁感線的問題	播放第 8 頁	切割磁感線未必有感應電流，因為切割磁感線可能會使電路中的磁通量發生變化，也可能不變化。
6	畫龍點睛	播放第 9 頁	
7	布置功課	基礎練習§2501	鼓勵學生多提問

## 第二十五章／第二節感應電流的方向

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 右手定則 楞次定律

(2)掌握技能： 靈活應用右手定則和楞次定律

#### 2 培養能力

自主學習能力

### 二 教學重點和難點

1 重點 右手定則 楞次定律

2 難點 楞次定律

3 突破難點的方法 學生通過動畫進行自主學習，從而獲得深刻的理解和記憶，進而靈活運用知識。多練習。

### 三 課時安排 2 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	右手定則	播放第 2 頁	已學左手，再學右手，應該不難。
2	自學楞次定律	播放第 3、4 頁	動畫可以化難為易，它還能引導學生自主學習
3	應用楞次定律的一般步驟	播放第 5 頁	4 個步驟，學生未必能明白。就讓他們先聽一聽，要在練習中才能徹底明白。
4	例一	播放第 6 頁	例題有點難，動畫幫了很大忙。
5	例二	播放第 7 頁	例題很難，動畫幫了很大，很大忙。
6	畫龍點睛	播放第 14 頁	
7	布置功課	基礎練習§2502	鼓勵生多提問 此為第二課時

## 第二十五章／第三節感應動勢

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 感應電動勢 法拉第電磁感應定律

(2)掌握技能： 應用法拉第電磁感應定律的計算

## 2 培養能力

發散思維能力和邏輯推理能力

## 二 教學重點和難點

1 重點 法拉第電磁感應定律

2 難點 法拉第電磁感應定律

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	感應電動勢	播放第 2 頁	等效正極的問題，多數課本都不講述，但習題又需要這知識，學生很迷惘，把它寫入課本更好。
2	法拉第電磁感應定律	播放第 3,4 頁	注意講好磁通量變率的概念，引導學生利用互動練習掌握好 $\Phi$ 、 $\Delta\Phi$ 、 $\Delta\Phi/t$ 的關係，從而培發思維能力。
3	切割磁感線的感應電動勢的計算	播放第 5 頁	利用互動件引導學生用法拉第定律推出切割磁感線的感應電動勢的計算公式。同時培養邏輯推理能力。
4	例題	播放第 6,7 頁	如有時間可根據舉一反三的提示，讓學生用另一方法再計算一次，從而培養發散思維能力。
5	畫龍點睛	播放第 8 頁	
6	布置功課	基礎練習§2503	

## 專題實踐活動：製作一個發電裝置使 LED 燈發亮

目的

- 1 培養創思能力
- 2 培養動手能力
- 3 訓練綜合能力

要求

- 1 使用校提供的電磁鐵和漆包線。
- 2 不限其它材料，不限形狀，不限結構。
- 3 以學校提供的 LED 燈的發出的亮度為評分標準。
- 4 須以二或三人為小組。

評分標準

- 1 能發亮 60 分。
- 2 環保和省錢 10 分。
- 3 結構合理 10
- 4 美觀占 10 分。
- 5 小組的合作性占 10 分。

## 第二十五章／第四節自感現象

一 教學目標

1 學習知識

- (1)理解知識： 自感現象 自感系數  
 (2)掌握技能： 應用自感的特點去分析電路
- 2 培養能力  
 應用知識的能力
- 二 教學重點和難點
- 1 重點 自感現象  
 2 難點 用自感的特點去分析電路
- 三 課時安排 1 課時
- 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	自感現象	播放第 2 頁	錄影的內容，學生可能還未理解，要用動畫分類型再學一次
2	電流增加時的自感現象	播放第 3 頁	利用動畫再學一次自感
3	電流增減少的自感現象	播放第 4 頁	利用動畫再學一次自感
4	自感系數	播放第 5 頁	按新課標要求，不需用公式計算，不需知道公式的推導，但需知道L的單位和L的大小與那些因素有關。
5	畫龍點睛	播放第 6 頁	
6	布置功課	基礎練習§2504	
7	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

## 第二十六章交流電

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

- (1)理解知識： 發電機的工作原理 正弦交流的變化規律 瞬時值、最大值、有效值、周期、顏率  
 (2)掌握技能： 應用知識的能力

#### 2 培養能力

自主學習的能力

### 二 教學重點和難點

- 1 重點 正弦交流的變化規律 瞬時值、最大值、有效值、周期、頻率  
 2 難點 正弦交流的變化規律  
 3 突破難的方法 只要用動畫把正弦交流電變化的因果關展示出來，就能變難為易。

### 三 課時安排 3 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	發電機的工作原理 正弦交流的變化規律 瞬時值、最大值、有效值、	學生自己操控軟件	這是一個專為自主學習而設計的學習軟件。學生先閱讀軟件中的文字、圖片、動畫，然後回應軟件的要求。軟件

	周期、頻率		能判斷回應是否正確。如果正確，就進入下一部分學習；如果不正確，不能進入下一部分，軟件對較困難的問題會給予提示。學生把軟件運行到最後，就表示學生掌握了這部分的知識。 這是第一、第二課時的學習內容。
2	布置功課	基礎練習§26**	這是第三課時的內容
3	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題，多關注差生。

## 第二十七章／第一節電磁振盪

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： LC 振盪電路 振盪電路中各物理量的變化 阻尼和無阻尼 周期和頻率

(2)掌握技能： 能運用周期和頻率公式 懂得分析電路中各量的變化

#### 2 培養能力

培養分析問題的能力(分析問題要抓主本質和核心)

### 二 教學重點和難點

1 重點 振盪電路中各物理量的變化 周期和頻率

2 難點 振盪電路中各物理量的變化

3 突破點的方法 千變萬變，不離兩條線。因為有一部物理量是跟電流而變化的，有一部物理量是跟電量而變化的，所以，掌握好電量和電流曲線是根本。

### 三 課時安排 2 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	LC 振盪電路	播放第 2 頁	
2	振盪電路中各物理量的變化	播放第 3,4,5,6 頁	抓住電流和電量的變化，從而掌握其它量的變化規律。用動畫幫助理解。培養分析問題抓本質的分析方法。
3	例一	播放第 7 頁	培養分析問題的能力
4	阻尼振盪和無阻尼振盪	播放第 8 頁	理解實現無阻尼的辦法。提示學生，這辦法在工作和生活中往往都可以借鏡的。 提問：日常中那些事情可以用周期補償法而實現無損失的？
5	周期和頻率	播放第 9 頁	提醒學生，頻率較高的時候，電容或電感的值應較小。
6	例二	播放第 10 頁	培養應用知識的能力
7	畫龍點睛	播放第 11 頁	
8	布置功課	基礎練習§2701	此為第二課時的內容。
9	做功課和學生提問		多關注差生，鼓勵學生多提問題。

## 第二十七章／第二節電磁場和電磁波

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

理解知識： 麥克斯韋的電磁場理論 電磁波的形成 電磁波的特

#### 2 培養能力

培養科學的猜想能力

### 二 教學重點和難點

1 重點 麥克斯韋的電磁場理論 電磁波的形成 電磁波的特點

2 難點 麥克斯韋的電磁場理論

3 突破難點的方法 只須知道，無須深劇理解。

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	麥克斯韋的電磁場理論	播放第 2,3 頁	這只是麥氏理論其中的一小點精華，只須學生知道電磁互生的條件，而無須理解為甚麼。 動畫能幫助學生明白道理。
2	電磁波的形成	播放第 4 頁	要注意解釋，非均勻變化的電(磁)場能產生變化的磁(電)場
3	電磁波的特點	播放第 5,6 頁	主要講解: 能在真空傳播、是橫波、是正弦波、波速是 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ 、 $v = \lambda/T = \lambda f = s/t$ 。
4	麥克斯韋對光是電磁波的預言	播放第 6 頁	讓學生知道，科學猜想與科學研究是同樣重要的。科學猜想是要有足夠的科學理據的，而不是亂猜一通的。 這一知識點雖然不會考核，但是，這是難得的素質教育(創思教學)的好材料，所以，老師要盡可能花點時間去講透一點，不要一帶而過。
5	畫龍點睛	播放第 7 頁	用表格來歸納問題是一很好的方法,不妨多用.
6	布置功課	基礎練習§2702	鼓勵學生多提問題

## 第二十七章／第三節無線電波

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 無線電波的發射、傳播、波段、接收、調制、檢波

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	無線電波和發射	播放第 1,2 頁	這些都是常識性的知識，只須知道，而無須理解，也不須熟記。
2	無線電波的傳播	播放第 3 頁	
3	無線電波的波段	播放第 4,5 頁	
4	無線電波的調制和接收	播放第 6 頁	

5	畫龍點睛	播放第 7 頁	
6	布置功課	基礎練習§2703	鼓勵學生多提問題
7	做功課和學生提問		

## 第二十八章／第一節光的衍射

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 光的本性 小孔和小圓屏衍射 夫朗和費衍射 光柵衍射 光的衍射條件

(2)能力培養： 學習辨證法的哲學觀點

### 二 教學重點和難點

1 重點 光的本性 小孔和小圓屏衍射 夫朗和費衍射 光柵衍射 光的衍射條件

2 難點 小孔和小圓屏衍射

3 突破難點的方法 用動畫展示小孔衍射現象，很直觀、很易明白。

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	光的本性	播放第 2,3 頁	老師除了講解 PPT 中的文字內容之外，必須向學生解說人類認自然是在不斷修正錯誤的過程中逐漸了解真相的，每一個錯誤都有其正面作用。學習辨證法的一分為二觀點。
2	小孔和小圓屏衍射	播放第 4,5 頁	動畫能清楚地顯示小孔從大變到小的過程中像的變化，衍射條紋的產生，以及說明衍射條紋和物體尺寸的關係。
3	夫朗和費衍射	播放第 6 頁	要強調單縫衍射條紋是不等距的。
4	光的衍射條件	播放第 7 頁	要解釋： (1) 其實物體的尺寸比光的波長大幾十倍，也可能產生干涉。 (2) 縫太小時，進光量少，條紋都很暗，反而看不清條紋。
5	光柵衍射	播放第 8 頁	攝影的星光鏡就是一個光柵，如果有星光鏡的話，現場用相機和星光鏡拍一張星光相片，效果會很好。
6	畫龍點睛	播放第 9 頁	
7	布置功課	基礎練習§2801	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

## 第二十八章／第二節光的干涉

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 相干光 雙縫干涉原理 雙縫干涉的亮、暗紋位置 雙縫干涉的間距公式 光的波長 薄膜干涉

(2)掌握技能： 判斷明、暗條紋的位置 運用公式計算

## 2 培養能力

邏輯推理能力

## 二 教學重點和難點

- 1 重點 雙縫干涉原理 雙縫干涉的亮、暗紋位置 雙縫干涉的間距公式 光的波長 薄膜干涉原理
- 2 難點 雙縫干涉原理 雙縫干涉的亮、暗紋位置 薄膜干涉原理
- 3 突破難點方法 借助動畫慢慢講、講深講透。

## 三 課時安排 2 課時

## 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	相干光	播放第 2 頁	若兩相干光的強弱太懸殊，也難以觀察到干涉條紋。 介紹各實驗器材的作用。
2	雙縫干涉原理	播放第 3 頁	借助動畫慢慢講、講深講透。着重說明： 1 兩個子波是相干波 2 用光程差判斷條紋的明暗條件
3	雙縫干涉的亮暗紋位置	播放第 4 頁	借助動畫慢慢講、講深講透。推導出明、條紋位置的公式。 培養邏輯推理的能力。
4	雙縫干涉的間距公式	播放第 5 頁	培養邏輯推理的能力。
5	光的波長	播放第 6 頁	表格的容無須背，但是，要住紅橙黃綠青藍紫的波長、頻率順序。
6	例一	播放第 7 頁	培養用知識的能力
7	例二	播放第 8 頁	
8	薄膜干涉	播放第 9,10,11,12,13 頁	<b>自此和以下是第二課時內容</b> 動畫能幫助理解薄膜干涉的原理。 技術應用只須作一般性的了解便可。 肥皂泡的兩個視頻很有觀賞價值，值得播放，不要錯過。
9	畫龍點睛	播放第 11 頁	
10	布置功課	基礎練習§2802	鼓勵學生多提問。
11	做功課和學生提問		多關注差生。

## 第二十八章／第三節光的電磁說

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 光是電磁波 各電磁波的頻率、產生、特點、應用

### 二 教學重點和難點

- 1 重點 各電磁波的頻率、產生、特點、應用
- 2 難點 各電磁波的頻率、產生、特點、應用
- 3 突破難點的方法 難處是多而雜，用列表歸納重點，記住重點

### 三 課時安排 1 課時

#### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	光是電磁波	播放第 2,3,4 頁	此內容很簡單，無須深入。
2	例一	播放第 5 頁	
3	無線電波	播放第 6 頁	重點說明：頻率、產生、特點、應用
4	紅外線	播放第 7,8 頁	重點說明：頻率、產生、特點、應用
5	可見光	播放第 9 頁	重點說明：頻率、產生、特點、應用
6	紫外線	播放第 10 頁	重點說明：頻率、產生、特點、應用
7	X 射線	播放第 11,12 頁	重點說明：頻率、產生、特點、應用
8	$\gamma$ 射線	播放第 13,14 頁	重點說明：頻率、產生、特點、應用
9	畫龍點睛	播放第 15 頁	
10	布置功課	基礎練習§2803	
11	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

### 第二十八章／第四節光譜

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

理解知識：發射光譜(連續、明線) 吸收光譜 光譜分析

##### 2 培養能力

自主學習能力和動手能力

#### 二 教學重點和難點

##### 1 重點 發射光譜(連續、明線) 吸收光譜 光譜分析

##### 2 難點 觀看光譜

##### 3 突破難點方法 由於拍攝用分光鏡觀看光譜有困難，所以沒有實驗錄像提供。直接操作分光鏡觀看光譜是最佳效果。

#### 三 準備教具 分光鏡 白熾燈 低壓體放電管

#### 四 上課地點 光學實驗室(要全暗)

#### 五 課時安排 1 課時

#### 六 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	分光鏡	播放第 2 頁	學生先看 PPT，然後請二學生出來分別介紹分光鏡的結構和用法。 培養自主學習。
2	射光譜---連續光譜	播放第 1~6 頁	提醒學生記住如何產生連續光譜
3	明線光譜	播放第 7,8,9 頁	提醒學生記住如何產生明線光譜
4	用分光鏡觀察光譜		兩人一組實際操作分光鏡，觀察連續、明線光譜。
5	吸收光譜	播放第 10~14 頁	提醒學生記住如何產生吸收光譜
6	光譜分析		只須知道甚麼光譜能作光譜分析，而不須知道如何作光譜分析。如何作光譜分析可作為課外學習活動。
7	畫龍點睛	播放第 11 頁	
8	布置功課	基礎練習§2804	

## 第二十九章／第一節光電效應

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 光電效應 光電效應的特點 光的波動說不能解釋光電效應的特點

(2)掌握技能： 運用光電效應的特點解釋、分析問題

### 二 教學重點和難點

1 重點 光電效應的特點 光的波動說不能解釋光電效應的特點

2 難點 光電效應的特點

3 突破難點的方法 用動畫可以幫助理解

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	光電效應和光電管	播放第 2,3 頁	重點講清楚光電管的結構和工作原理
2	光電效應的特點	播放第 4,5,6,7 頁	第 1、3、4 特點較難理解，須借助動畫來講解
3	光的波動說不能解釋光電效應的特點	播放第 8 頁	光的強度是沒有教過的，我們只能變通地講一下算了。它不是考點，我們實在沒有課時去講它。人教版的教材根本不對它作任何解釋。
4	畫龍點睛	播放第 9 頁	九種曲線按類別排列，互相關聯，相互對比，便於溫習。
5	布置功課	基礎練習§2901	

## 第二十九章／第二節光子說

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

理解知識： 光子 光子的能量和動量 用光子說解釋光電效應 逸出功公式 愛因斯坦光電方程

### 二 教學重點和難點

本節的教學內容是屬講座性質的。因為它涉及的問題往往是很深奧的，所以不要講得太深入。

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	光子、光子的能量和動量	播放第 2,3 頁	本節的教學內容是屬講座性質的。因為它涉及的問題往往是很深奧的，所以不要講得太深入。
2	用光子說解釋光電效應	播放第 4,5 頁	
3	逸出功公式和愛因斯坦光電方程	播放第 5 頁	

4	畫龍點睛	播放第 10 頁	
5	布置功課	基礎練習§2902	鼓勵學生多提問

## 第二十九章／第三節光的波粒二象性

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

理解知識： 頻率與波粒二象性 粒子數與波粒二象性 物質波 量子力學簡介

### 二 教學重點和難點

本節的教學內容是屬講座性質的。因為它涉及的問題往往是很深奧的，所以不要講得太深入。

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	頻率與波粒二象性	播放第 1,2 頁	本節的教學內容是屬講座性質的。因為它涉及的問題往往是很深奧的，所以不要講得太深入。
2	粒子數與波粒二象性	播放第 3 頁	
3	物質波	播放第 3 頁	
4	量子力學簡介	播放第 4 頁	
5	畫龍點睛	播放第 11 頁	
6	布置功課	基礎練習§1805	

## 第三十章／第一節湯姆森之提子蛋糕式原子

### 一 教學目標

#### 學習知識

理解知識： 發現電子 湯姆森式原子

### 二 課時安排 0.5 課時

### 三 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	發現電子	播放第 2 頁	內容很簡單，讓學生自學好了。
2	湯姆森式原子	播放第 3,4 頁	
3	畫龍點睛	播放第 5 頁	讓學生自己總結出來(提問)
4	布置功課	基礎練習§3001	
5	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

## 第三十章／第二節盧瑟福之核式原子

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

理解知識： 散射實驗 盧瑟福核式原子

#### 2 培養能力

發散思維能力

## 二 教學重點和難點

### 1 重點 散射實驗 盧瑟福核式原子

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	散射實驗	播放第 2,3,4 頁	因為中學均沒有散射實驗的設備，所以動畫代替實驗是必要和有效的。這個動畫做得還可以。
2	猜想原子的結構	播放第 5 頁	學生觀看過實驗之後，用一點時間思考，然後提問生。答得不對不緊要，要問多一些學生，目的是讓學生想多一點東西出來，五花八門、奇奇怪怪就好。培養發散思維。
3	盧瑟福核式原子	播放第 6,7,8 頁	要講清楚盧瑟福是根據甚麼去猜想而得出核式結構的。 必須讓學理解原子內部是很“空”的。
4	例一	播放第 8,9 頁	要掌握向心力等於庫侖力的方程。
5	例二	播放第 10 頁	該例題也可以培養發散思維。
6	畫龍點睛	播放第 11 頁	
7	布置功課	基礎練習§3002	

## 第三十章／第三節玻爾原子理論

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

(1)理解知識： 盧瑟福原子模型的缺陷 玻爾原子理論 氫原子的軌道半徑 氫原子的能級

(2)掌握技能： 讀懂能級圖 掌握氫原子的半徑公式和能級公式的計算

### 二 教學重點和難點

#### 1 重點 玻爾原子理論 氫原子的軌道半徑 氫原子的能級

#### 2 難點 玻爾原子理論

#### 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	PPT 操作	解釋
1	盧瑟福原子模型的缺陷	播放第 2 頁	再一次印證辯證法的一分為二觀點。科學是在曲折的道路上前進的。
2	玻爾原子理論	播放第 3,4,5 頁	主要理解好第一和第二點理論。躍遷公式要理解好、記熟。 按人教版教網要求，第三點理論中的公式是不要求用來計算的。
3	氫原子的軌道半徑	播放第 6,7 頁	$r_l$ 的值要背熟
4	氫原子的能級	播放第 8 頁	$E_l$ 的值要記熟
5	能級圖	播放第 9 頁	要讀懂能級圖。 記住 $E_l$ ，其它能級的值就可計算出來。
6	畫龍點睛	播放第 15 頁	

7	布置功課	基礎練習§3003	
8	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

### 第三十章／第四節對氫光譜的解釋

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

- (1)理解知識： 氫原子的吸收躍遷      氫原子的輻射躍遷      氫原子光譜  
 (2)掌握技能： 運用躍遷公式計算      增強使用計算器的計算能力

##### 2 能力培養

學習分類、歸納、表格的整理方法

#### 二 教學重點和難點

- 1 重點      氫原子的吸收躍遷      氫原子的輻射躍遷      氫原子光譜  
 2 難點      躍遷公式的運用及其計算  
 3 突破難點的方法      沒有捷徑，多練習。

#### 三 課時安排 2 課時

#### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	氫原子的吸收躍遷	播放第 2,3 頁	理解好、用好躍遷公式。
2	氫原子的輻射躍遷	播放第 4,5,6 頁	
3	例一	播放第 7 頁	用公式計算時所用的數據很大、很繁雜、又要換算單位，確有難度。最好能用計算器示範，帶學生演算一、二次。
4	例二	播放第 8 頁	
5	氫原子光譜	播放第 9,10 頁	氫原子光譜有無數條，很亂。如何記好這些譜線呢？首先把它們進行適當的分類(譜系)，再進行整理(躍遷、波段、備注)，再把它們歸納到表格中。一目了然，易記多了。 學習分類、歸納、表格的整理方法
6	畫龍點睛	播放第 11,12 頁	
7	布置功課	基礎練習§3004	此為第二課時的內容
8	做練習題	基礎練習§3004	鼓勵學生多提問。多關注差生。

### 第三十章／第五節量子力學的原子

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

理解知識： 量子力學簡介      電子雲

#### 二 課時安排 0.5 課時

#### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	量子力學簡介	播放第 2 頁	內容有點難，稍講深入一點，可能就沒人懂了。幸好教學大綱的要求是只須知道，無須掌握。那麼，把這些內容以講座的形式介紹一下就可以了。
2	電子雲	播放第 3 頁	
3	認識原子的歷程	播放第 4 頁	

			餘下的半堂課就用來總結、歸納本章的教學內容吧。
--	--	--	-------------------------

### 第三十一章／第一節天然放射現象

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

(1)理解知識： 天然放射現象 粒子符號 放射性衰變 半衰期

(2)掌握技能： 懂得讀、寫粒子符號 懂得讀、寫衰變方程 掌握半衰期的算

##### 2 培養能力

邏輯推理能力

#### 二 教學重點和難點

1 重點 天然放射現象 粒子符號 放射性衰變 半衰期

#### 三 課時安排 2 課時

#### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	天然放射現象	播放第 2,3,4,5,6 頁	要記住三種射線的本質、穿透性能和電離能力等特質。 三個動畫能幫助理解和記憶。
2	粒子符號	播放第 7 頁	要懂得讀和寫。
3	放射性衰變	播放第 8,9,10,11 頁	要懂得讀和寫衰變方程
4	例一、例二		掌握質量數和電荷數的律。 參考藍色的算式。
5	畫龍點睛	播放第 6 頁	用表格歸納和整理是一種好方法。
6	布置功課	基礎練習§3101A	
7	復習上節課內容	播放第 6 頁	此和此後是第二課時的教學內容。
8	半衰期	播放第 12,13,14 頁	理解半衰期的意義(用動畫) 利用 ppt 和動畫，用提問的方式，引導學生自推導出用半衰期計算剩餘多少放射性物質的式子。 培養生的邏輯推理能力
9	例三	播放第 15 頁	
10	畫龍點睛	播放第 16,17 頁	
11	布置功課	基礎練習§3101B、C	
12	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題。 多關注差生。

### 第三十一章／第二節探測放射線的方法

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

(1)理解知識： 照相底片 威爾遜雲室 蓋革---彌勒計數器

#### 二 教學重點和難點

1 重點 照相底片 威爾遜雲室 蓋革---彌勒計數器

#### 三 課時安排 1 課時

#### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	照相底片	播放第 2 頁	因為，按教學大綱要求，這部分內容只須知道或了解，所以，以講座形式介紹一下就可以了。
2	威爾遜雲室	播放第 3,4 頁	
3	蓋革---彌勒計數器	播放第 5 頁	
4	畫龍點睛	播放第 6 頁	
5	布置功課	基礎練習§3102	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

### 第三十一章／第三節原子核的人工轉變和原子核的組成

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

(1)理解知識： 原子核的人工轉變和質子 核反應方程式 中子和正電子 原子核的組成 粒子符號 核力

(2)掌握技能： 能讀和寫核反應方程式

#### 二 課時安排 1 課時

#### 三 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	原子核的人工轉變和質子	播放第 2 頁	這些知識都不難理解和掌握，教學大綱不要求深入拓展。學生一般掌握就可以了。
2	核反應方程式	播放第 3 頁	
3	例題	播放第 4 頁	
4	中子和正電子	播放第 5,6,7 頁	
5	原子核的組成、粒子符號	播放第 8,9 頁	
6	$\beta$ 衰變	播放第 10 頁	
7	核力	播放第 11 頁	
8	畫龍點睛	播放第 10 頁	
9	布置功課	基礎練習§3103	

### 第三十一章／第四節放射性同位素的應用

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

(1)理解知識： 同位素 同位素的應用

#### 二 教學重點和難點

##### 1 重點 同位素的應用

#### 三 課時安排 1 課時

#### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	同位素	播放第 2 頁	內容很淺，學生自己看紙質課本就可以了。
2	同位素的應用	播放第 3,4,5,6,7 頁	
3	畫龍點睛	播放第 8 頁	以課外探究學習的方式，拓展學習這一專題。
4	布置探究學習活動	播放探究活動 ppt	參考“專題探究活動:同位素的應用”

## 專題探究活動：同位素的應用

### 目的

- 1 拓展學識          2 培養自主學習的能力          3 訓練綜合能力

### 要求

- 1 須以同位素的應用為題材。
- 2 把你找到的材料進行整理和編輯，且發表自己的意見。
- 3 把以上內容用 PowerPiont 製作 5 至 10 版的簡報。
- 4 首頁為對面，須有標題，學號，姓名，班別等資料。
- 5 須以二人為小組製作。

### 評分標準

- 1 資料的趣味性和潮流性占 15 分。
- 2 自己的意見占 15 分
- 3 資料的科學性和準確性占 20 分
- 4 資料的獨特性占 20 分
- 5 版面的美觀占 20 分。
- 6 小組的合作性占 10 分。

## 第三十一章／第五節核能

### 一 教學目標

#### 1 學習知識

- (1)理解知識： 核能      愛因斯坦質能方程      質量虧損和核能  
(2)掌握技能： 掌握愛因斯坦質能方程的計算

#### 2 培養能力

用計數器的計算能力

### 二 教學重點和難點

- 1 重點      愛因斯坦質能方程      質量虧損和核能
- 2 難點      數字的運算
- 3 突破難點的方法      無捷徑，勤練習。

### 三 課時安排 1 課時

### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	核能	播放第 2 頁	
2	愛因斯坦質能方程	播放第 3 頁	
	質量虧損和核能	播放第 45 頁	
3	例題	播放第 6,7 頁	計算涉及的數字很復雜，有些學生會有因難，要現場指導學生用計算器運算，先讓學生算出答案，然後才給出例題答案。 培養用計數器的運算能力。
4	畫龍點睛	播放第 11 頁	

5	布置功課	基礎練習§3105	
6	做功課和學生提問		鼓勵學生多提問題

### 第三十一章／第六節重核裂變

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

(1)理解知識： 重核裂變 鏈式反應 原子彈 核反應堆

##### 2 培養能力

培養歸納整理的能力

#### 二 教學重點和難點

1 重點 重核裂變 鏈式反應 原子彈 核反應堆

2 難點 鏈式反應

3 突破難點的方法 用動畫化抽象為直觀。

#### 三 課時安排 1 課時

#### 四 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	重核裂變	播放第 2,3 頁	
2	鏈式反應	播放第 4,5,6 頁	強調單位時間內參加反應的原子核數量呈幾何級數遞增。 臨界體積不好理解，要講慢一些。
3	原子彈	播放第 7,8 頁	選二個視頻播放就好了。
4	核反應堆	播放第 9,10 頁	只須作一般性了解。
5	畫龍點睛	播放第 11 頁	這次畫龍點睛由生自己去整理。要求既精且簡。 培養歸納整理的能力。
6	布置功課	基礎練習§3106	

### 第三十一章／第七節輕核聚變

#### 一 教學目標

##### 1 學習知識

(1)理解知識： 輕核聚變 太陽 氫彈 可控熱核反應

##### 2 培養能力

培養歸納整理的能力

#### 二 課時安排 1 課時

#### 三 教學過程

	教學內容	PPT 操作	解釋
1	輕核聚變	播放第 2,3 頁	內容稍講深入一點，可能就沒人懂了。 幸好教學大綱的要求是只須知道，無須掌握。那麼，把這些內容以講座的形式介紹一下就可以了。
2	太陽	播放第 4 頁	
3	氫彈	播放第 5 頁	
4	可控熱核反應	播放第 6,7 頁	
5	畫龍點睛(一)		上一節課學生做了“畫龍點睛”，選幾個好的展示一下、講評一下。能找出重點，言簡意賅就是好。

6	畫龍點睛(二)		即時請兩個學生上黑板，把這節課的畫龍點睛做出來、 培養歸納整理的能力
7	布置功課	基礎練習§3107	

# 試教評估

CAI 課本共三冊，共用了六年的時間來編寫和試用。第三冊於 2012/2013 學年度被學校定為高中三年級正式使用的物理課本。經過第一冊、第二冊的試用及修改，第三冊的形式就基本定型於上兩冊的修改版。老師和學生使用起來已經得心應手，認同度也較高。為了收集師生對課本的意見，我們在集體備課時間內舉辦了一個老師座談會，在課餘時間召集了幾批學生召開了幾次小型座談會。

## 一 教師對 CAI 課本的評議

老師們在座會上積極發言，提出了不少的修改意見，歸起來大概有以下幾點。(1) 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，有些是數字寫錯。(2)建議更換和增加一些例題。(3)用 Flash 做的格式為 swf 的檔案不要嵌入 ppt 中，改用連結放式播放。嵌入式雖然美觀和方便播放，但是，不知為甚麼，有些電腦總是播放不出來，而連結式播放就不會有問題。(4)增加一些用 Flash 做的格式為 swf 的小練習，因為在課堂上做這些小練習效果很好。(5)

對某些版面的美工設計提出了修改意見。(6)對幾個知識點的教學闡述提出了異議。(7)建議把物理資料庫的組建工作納入學校的“教育發展基金資助計劃”中。對於(1)至(5)點的建議，已全部接納，且作了改進。對於第(6)點，我們查證了相關資料，互相切磋，取得了共識。對於第(7)點，正在做工作，希望能實現。

老師們也認同了第三冊的一些長處。由於第三冊和第二冊的形式、理念、風格相同，所以認同之處也基本相同。(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。(4)能用多種方式展示教學內容，文字敘述詳細、淺白而不累贅，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。

## 二 學生對 CAI 課本的反饋

某老師在某班用平板電腦(每人一台)上自主學習試驗課，作了一個調查統計，結果證明用 CAI 課本作自主學習的載體是有較好效果的。試驗課的教學內容是第 30 章第 4 節，課題是“對氫原子光的譜的解釋。教學方法如下，完全由學生用平板電腦用 CAI 課本自主學習，然後學習筆記，再做 7 道練，完成後即時上交。學習筆記和習題如下。

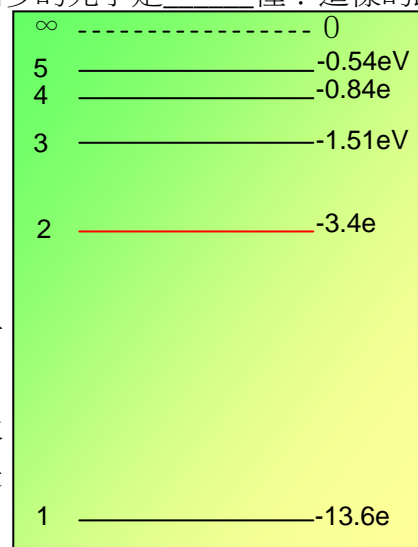
### 學習筆記

◇ 一 氫原子能否吸任意的能量而躍遷到較高的能級？答：\_\_\_\_\_。

- ◇ 二 氫原子吸收了大於所在能級的絕對值的能量之後，氫原子的電子就會\_\_\_\_\_。
- ◇ 三 氫原子從第  $n$  能級向基態躍遷，最多只能放出\_\_\_\_\_個光子，放出的光子可能有\_\_\_\_\_種。
- ◇ 四 氫原子作能級躍遷公式為\_\_\_\_\_。
- ◇ 五 課本中把氫原子光譜分為\_\_\_\_\_系，\_\_\_\_\_系，\_\_\_\_\_系，\_\_\_\_\_系。
- ◇ 六
  - 氫光譜的萊曼系是氫原子從  $n$ \_\_\_\_\_能級躍遷到  $n=$ \_\_\_\_能級時放出的電磁波系列，這些電磁波是屬於\_\_\_\_\_線。
  - 氫光譜的巴爾末系是氫原子從  $n$ \_\_\_\_\_能級躍遷到  $n=$ \_\_\_\_能級時放出的電磁波系列，這些電磁波是屬於\_\_\_\_\_線和\_\_\_\_\_。
  - 氫光譜的帕邢系是氫原子從  $n$ \_\_\_\_\_能級躍遷到  $n=$ \_\_\_\_能級時放出的電磁波系列，這些電磁波是屬於\_\_\_\_\_線。
- ◇ 七 氫原子光譜的紅光( $H_{\alpha}$ )是從氫原子的第\_\_\_\_能級躍遷到第\_\_\_\_能級；氫原子光譜的藍光( $H_{\beta}$ )是從氫原子的第\_\_\_\_能級躍遷到第\_\_\_\_能級。

### 習 題

- 1 氫原子的電子在第四條軌道上運動時，氫原子的能量是[ ]  
A  $-13.6\text{eV}/4$     B  $-13.6\text{eV}/8$     C  $-13.6\text{eV}/16$     D  $13.6\text{eV}/16$
- 2 大量處於  $n=4$  激發態的氫原子，當它們自發躍遷到較低能級時[ ]  
A 能發出 8 種頻率不同的光子  
B 從  $n=4$  躍遷到  $n=3$  時發出光子的波長最小  
C 從  $n=4$  直接躍遷到  $n=1$  時發生的光子的頻率最高  
D 能發出 4 種頻率不同的光子
- 3 下列能量的光子中，不可能被基態的氫原子吸收的是[ ]  
A  $15\text{eV}$     B  $13.6\text{eV}$     C  $10.2\text{eV}$     D  $5.2\text{eV}$
- 4 氫原子從  $n=8$  的能級向基態躍遷時有可能放出多的光子是\_\_\_\_\_種？這樣的躍遷最多能放出\_\_\_\_\_個光子？
- 5 根據玻爾理論的氫原子能級值計算氫光譜的  $H_{\beta}$  譜線的光子能量是多少電子伏？實驗測得  $H_{\beta}$  譜線的波長為  $0.4861 \times 10^{-6}\text{m}$ ，根  $H_{\beta}$  譜線的波長計算它的光能量是多少電子伏？比較這兩個能量值。
- 6 計算  $n=4$  能級躍遷到  $n=3$  能級時輻射出的光子的波長。它屬於哪個光譜系？它屬於哪種電磁波。
- 7 若氫原子從第三能級躍遷到第五能級，要吸收能量是多少電子伏的光子？這光子的頻率是多少？



統計結果如下。一 “學習筆記”有 90%的學生能正確完成。能正確完成“學習筆記”表示能理要學習的知識點。

二 習題。“練習第 1 題”有 95%的學生能正確完成。“練習第 2 題”有 75%的學生能正確完成。“練習第 3 題”有 75%的學生能正確完成。“練習第 4 題”有 95%的學生能正確完成。“練習第 5 題”有 70%的學生能正確完成。“練習第 6 題”有 90%的學生能正確完成。“練習第 7 題”有 60%的學生能正確完成。

與學生開的幾個小型座談會上，學生反饋的訊息跟第二冊座談會的訊息差不多，主要意見如下。(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，可以比美電子遊戲(3)有拓展學習的內容，有必修和選修(4)學習上仍有困難，希望能更容易學習。(5)可以用電腦進行測驗(6)有小數學生覺得聽老師講比用電腦自學輕鬆一些。我已經根據學生反饋的訊息對課本進行了修改，有些則努力遊說學校，盼能給予支持。

### 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、二冊參加了“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。評委對第二冊的教學設計建議改進的問題如下：作品在板式設計和裝幀方面還有進一步改善的空間，希望作者以後在這方面有所改進，所作品更臻完美。對第二冊的資訊科技應方面建議改進的問題如下：建議加入動態更換的題目。另外，提供 flash 的原文檔或在 flash 中加入可證明原作者的訊息。評委對作品贊同方面的評語，這裡就不累贅了。

聽從評委對第二冊的改進建議，第三冊作了以下的回應。(1)改善了 ppt 的版面，用動畫做背景，美工方面盡了自己的努力，因自己的專長並非美術，所以效果有點強差人意。(2)為 ppt 中的每一個知識點的第一頁做了動態的切換動畫。為每一頁面的各部分內容設置了分步的動畫；如果頁面為一個整體內容，就不設置動畫。(3)本教學設計中的所有 swf 動畫都是自己用 Flash 軟件做的，都是原創作品，已把所有用 Flash 做的原始檔都收錄到光碟的“Flash 原始製作檔”的檔案夾中。(4)紙質本的裝幀方面，由於是學校交給印刷廠處理，暫時無能力改善，要到開機重新印製才有可能，只好留下遺憾。

四 雖然本教學設計已開啟了 FaceBook 網頁，但是，由於教學安排等種種原因，至今仍未有正式啟用，下學年相信會正常地用它。

## 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

# 高三級物理 CAI 課本紙質版

## 第二十三章 電容器

### 第一節 電容器

#### 電容器的構造

電容器是電子電路中的常用元件之一。它種類多樣，外形各異，用途廣泛。

兩個互相絕緣的導體便可構成一個電容器。導體叫做電極或極板，兩導體間的絕緣物質叫做介質或電介質。

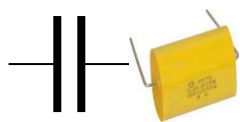
#### 電容器的種類

電容器可按其使用的介質來分類，例如可分為紙介電容器、瓷介電容器、雲母電容器、電解電容器等。電容器也可按其可否調節來分類，例如可分為固定電容器、可調電容器等。

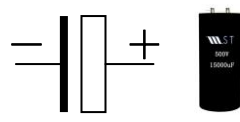


電解電容器有正、負極之分，接在電路中使用時，正極的電勢要比負極電勢高。如果接反了，電解電容器就會損壞。

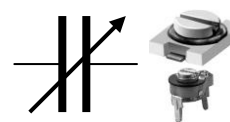
#### 電容器的符號



固定電容器



電解電容器



可變電容器

#### 電容器的充電

使電容器的電極板帶上電荷的過程叫做充電。把電容器的兩極板與電源連接便可充電，與電源正極相連的電極板會帶正電荷，與電源負極相連的電極板會帶負電荷。充電時電流是從電容器的

負極板流向正極板的，直到兩極板的電壓跟電源兩端的電壓相等為止。充電過程一般都是在很短暫的時間內便可完成。

電容器兩極板所帶的電是等量異號的。我們把電容器一塊極板所帶的電量叫做電容器帶的電量。

### 電容器的放電

使電容器的電極板失去電荷的過程叫做放電。把電容器的兩極板用導線連接便可放電。放電時電流是從電容器的正極板流向負極板的，直到兩極板的電荷完全中和為止。放電過程一般都是在很短暫的時間內便可完成。

## 第二節 電容

### 電容

- (一) 電容的意義 電容是描述電容器的性能的物理量。
- (二) 電容的定義 電容器帶的電量(Q)跟兩極的電壓(U)的比值叫做電容器的電容(C)。

$$C=Q/U。$$

- (三) 電容的單位 電容的 SI 制(國際單位制)單位是法拉，簡稱法，記作 F。 $1F=1C/V。$

電容的常用單位還有微法( $\mu F$ )和皮法(pF)。

$$1F=10^6 \mu F ; 1 \mu F=10^{-6} pF ; 1F=10^{12} pF。$$

- (四) 電容的特點

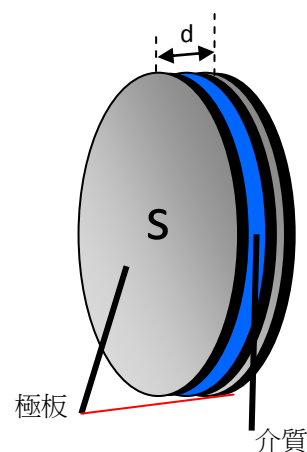
- (a) 電容是標量。
- (b) 電容是電器屬性的物理量，它的大小是由電容器的構造決定的，而不是跟 Q 成正比，跟 U 成反比。電容器帶的電量增多時，它的兩極電壓也增加，電容器不變時， $Q/U$  也不變。

### 平行板電容器

平行板電容器的兩個電極是兩塊平行平板導體。平行板電容器的電容由下式決定：

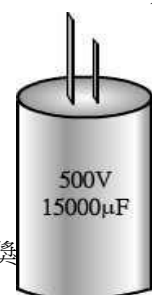
$$C= \epsilon S/4 \pi Kd。$$

上式中的 S 是兩板的正對面積，K 是靜電常量，d 是兩板間的距離， $\epsilon$  是介質的介電常數。由上式可知，平行板電容器的電容跟兩板的正對面積成正比，跟介電常數成正比，跟兩板間的距離成反比。



### 電容器的耐壓

如果電容器的電壓過高，兩板間的電介質就會變成導體，把兩板的電荷放掉，使電容器



失去功效，這種現象叫過壓擊穿。電容器被擊穿後就不能再用了。為了使電容器能安全使用，在電容器上都標出一個耐壓值，表示電容器在該數值以下的電壓下工作是不會被擊穿的。右圖的電容器的耐壓值是 500V，電容是 15000  $\mu$ F。

### 電容器儲存的電能

電容器充電過程，也是把電能儲存在電場中的過程。  
電容器儲存的電能為：

$$W = CU^2/2。$$

上式中的  $U$  是電容器兩間的電壓。

在強度為  $E$  的電場中單位體積儲存的能量(電能體密度)為：

$$w = \epsilon E^2/8\pi。$$

上式中的  $\epsilon$  是介質的介電常數。

每種電介質都有自己特定的介電常數，下表是一些電介質的介電常數。

真空	1	雲母	3~8
空氣	1.00059	玻璃	5~10
石蜡	2~2.3	瓷	5.5
琥珀	2.8	煤油	2~4
橡膠	2~3	甘油	45.8
硬橡膠	4	乙醇	25.7

例一 一平行板電容器，板間距離為  $d$ ，電容量為  $C$ ，接在電源電壓為  $U$  的電源上，然後使兩極板的間距增大到  $2d$ ，兩極板之間的電壓為\_\_\_\_\_，每個極板上的電量為\_\_\_\_\_。

分析 因為電容器一直與電源相連，所以它的電壓保持為  $U$ 。因為電容器的板間距離增大，所以它的電容減少。

解  $U'=U$ 。

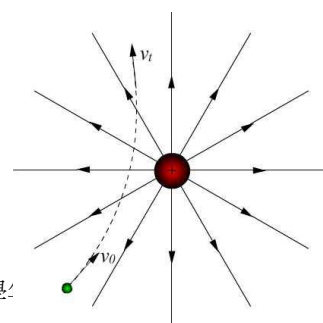
因為  $C=C=\epsilon S/4\pi kd$ 、 $d'=2d$ ，所以  $C'=C/2$ 。

因為  $Q=CU$ 。所以  $Q'=C'U'=CU/2$ 。

## 第三節 帶電粒子在電場中的運動

### 速度問題

設帶電粒子在電場中的初速度為  $v_0$ ，到達另一點時的速度為  $v_t$ 。如果帶電粒子只受到重力做的功  $W_G$  和電場力做的功  $W_E$ ，則根據動能定理有：



$$W_G + W_E = (mv_t^2 - mv_0^2)/2。$$

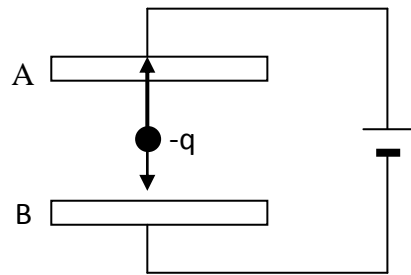
如果帶電粒子為質量很小的質子、電子、離子，可忽略它們受到的重力，如此應有：

$$W_E = (mv_t^2 - mv_0^2)/2。$$

不論粒子的軌迹如何，上式均能成立。如果  $W_E = Uq$ ，則有：

$$v_t = (2Uq/m + v_0^2)^{1/2}。$$

例一 兩塊水平放置的平行金屬板，如圖接在電源的兩極上，兩極間勻強電場的場強為  $E=600\text{N/C}$ 。一個質量為  $800\text{g}$ ，帶電量為  $q=-2\times 10^{-2}\text{C}$  的小球處于兩極板的正中間位置。如果從靜止開始釋放：(1) 小球將向哪個方向做甚麼性質的運動？(2) 若兩極板相隔  $80\text{cm}$ ，小球到達 A 極板時速度是多大？(取  $g=10\text{m/s}^2$ )



已知  $E=600\text{N/C}$   $m=0.8\text{kg}$   $d=0.8\text{m}$   
 $q=2\times 10^{-2}\text{C}$   $v_0=0$

求 (1) 小球如何運動？

(2) 小球到達極板時的速度  $v$ 。

解

(一) 小球受到向下的重力和向上的電場力作用，產生的加速度大小為：

$$a = (Eq - mg)/m = (600 \times 2 \times 10^{-2} - 0.8 \times 10)/0.8 = 5\text{m/s}。$$

答：因為  $Eq > mg$ ，所以  $a$  上。因為小球初速為零，所以作豎直向上的，加速度為  $5\text{m/s}^2$  的勻加速直線運動，到 A 板為止。

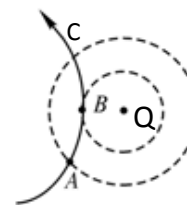
(二) 因為小球在兩極板的中間，所以  $s=d/2$ 。小球到達極板時的速度為：

$$v_t = (2as)^{1/2} = (2 \times 5 \times 0.4)^{1/2} = 2\text{m/s}。$$

答：小球到達極板時的速度為  $2\text{m/s}$ 。

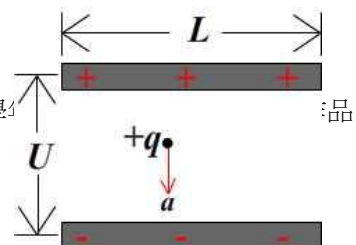
例二 如圖所示，帶箭頭的曲線表示一個帶負電粒子通過一個點電荷  $Q$  所產生的電場時的運動軌迹，虛線表示點電荷電場的兩個等勢面，試比較帶電粒子在 A、B、C 點的速度。

解：從粒子的軌迹可知粒子跟  $Q$  相斥的 ( $Q$  帶負電)。從 A 到 B 是逆電場力運動，電場力做負功，速度減小；從 B 到 C 是順電場力運動，電場力做正功，速度增加。A 的電勢跟 C 的電勢相等，從 A 到 C 電場力做的總功為零，由動能定理可知粒子的動能沒有變化，即粒子在 A 點的速度跟在 C 點的速度大小相等。由可得： $v_A = v_C > v_B$ 。



### 軌迹問題

在此，我們只討論帶電粒子在真



空勻強電場中，忽略重力的情況下運動的軌迹問題。在上述情況，帶電粒子運動時受到一個大小和方向都不變的電場力( $F_E$ )的作用，跟物體作拋體運動時只受重力作用的況相似。當初速度  $v_0$  平行於  $F_E$  時作類似豎拋體運動，當初速度  $v_0$  垂直於  $F_E$  時作類似平拋運動，當初速度  $v_0$  與  $F_E$  成鈍角時作類似斜拋運動。拋體運動的加速度為  $g$ ，帶電粒子在圖中運動時的加速度為：

$$a = F_E/m = Eq/m = Uq/md。$$

### 類平拋運動

當帶電粒子初速度  $v_0$  以垂直於電場方向進入勻強電場時，將作類似平拋的運動。只須把帶粒子的加速度  $a$  替換  $g$ ，便可套用平拋運動公式：

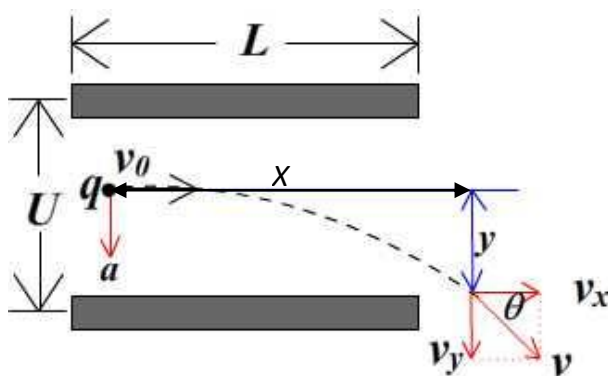
$$v_x = v_0; v_y = at; v = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2}; \tan\theta = v_y/v_x。$$

$$x = v_0t; y = at^2/2。$$

#### (1) 偏轉位移

帶電粒子穿過勻強電場時偏離原路線的距離( $y$ )叫做偏轉距離。若已知平行板間的電壓為  $U$ ，板距為  $d$ ，板長為  $L$ ；粒子帶的電量為  $q$ ，質量為  $m$ ，初速為  $v_0$ 。則：

$$\begin{aligned} y &= at^2/2 = Ft^2/2m \\ &= Eq t^2/2m = Uq t^2/2md \\ &= Uq(X/v_0)^2/2md \\ &= UqX^2/2mdv_0^2。 \end{aligned}$$



#### (2) 偏轉角

帶電粒子穿過勻強電場時偏離原運動方向的角度( $\theta$ )叫做偏轉角。

$$\tan\theta = v_y/v_x = at/v_0 = (Uq/md)t/v_0 = ((Uq/md)(L/v))/v_0 = UqL/mdv_0^2。$$

例三 如圖所示，初速為零的電子經電壓  $U_1$  加速後，垂直於電場方向進入電場。離開電場時的偏移量是  $y$ ，偏轉板間距離為  $d$ ，偏轉電壓為  $U_2$ ，偏轉板長為  $L$ ，為了提高偏轉靈敏度(每單位偏轉電壓引起的偏移量)，可採用哪些辦法？

已知  $U_1$   $y$   $d$   $U_2$   $L$   $v_0=0$   $q=e$

求 提高偏轉靈敏度的辦法。

分析 每單位偏轉電壓引起的偏移量就是  $y/U_2$ 。電子被  $U_1$  的電場加速至  $v$  後進入偏轉電場中。

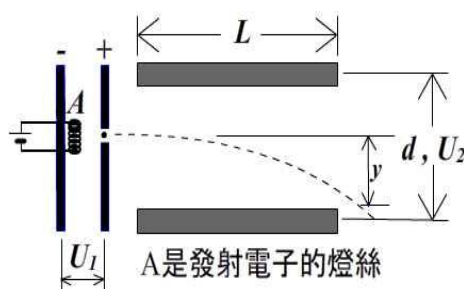
解 偏轉位移為： $y = U_2 e L^2 / 2 m d v^2 \dots\dots(1)$

電子進入偏轉電場的初速度為：

$$v = (2U_1 e/m)^{1/2} \dots\dots(2)$$

由(1)式和(2)式得： $y/U_2 = L^2/4U_1 d$ 。

答：由  $y/U_2 = L^2/4U_1 d$  可知，要提高偏轉靈敏度可以增大偏轉電壓  $U_2$ ，增加平行板的長度、



減少加速電壓  $U_1$ ，減少平行板間的距離  $d$ 。

**例四** 如圖所示，在相距為  $d$  的兩平行金屬板 A、B 上加恒定電壓  $U$ ，A 板電勢較高，在 A 板上放一小粒鈷  $60$ ，它不斷地向右側空間放出質量為  $m$ ，電量為  $q$  的  $\alpha$  粒子，粒子最大速度為  $v$ ，B 板上塗有螢光粉， $\alpha$  粒子轟擊 B 板而發光，問 B 板發光面積多大？(設  $\alpha$  粒子不被 B 板反射，兩板足夠大)

已知  $U \quad d \quad m \quad v \quad q$

求  $\alpha$  粒子轟擊 B 板的發光面積  $S$ 。

**分析** 所有的  $\alpha$  粒子分別向上、下、左、右、內、外等等方向，向 B 板運動，在 B 板上打出一個圓形的發光面，半徑是以最大速度作平拋運動的射程  $x$ 。 $\alpha$  粒子的加速度  $a=Eq/m=Uq/md$ 。平拋射程計算式為  $x=vt=v(2h/g)^{1/2}$ 。兩板的距離  $d$  相當於平拋的高度  $h$ 。

**解**  $\alpha$  粒子在電場中的加速度為：

$$a=Eq/m=Uq/md。$$

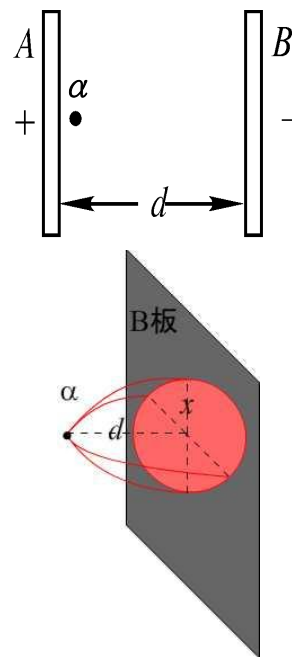
$\alpha$  粒子在 B 板上打出一個發光的圓，其半徑為：

$$R=x=vt=v(2d/a)^{1/2}=dv(2m/Uq)^{1/2}。$$

圓面積為：

$$S=\pi R^2=2\pi md^2v^2/Uq。$$

答：B 板發光面積為  $2\pi md^2v^2/Uq$ 。



## 第四節 有電容器的電路

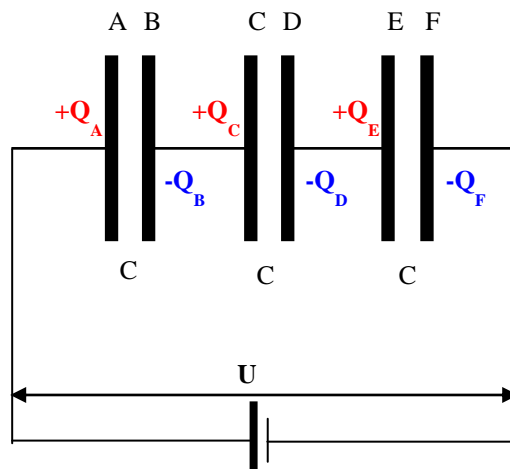
### 電容器的串聯

電容器可以跟電阻一樣串聯起來或并聯起來使用。如右圖。

右圖是幾個電容器串聯的電路。如果在電路兩端加上電壓  $U$ ，則電容器就會充電，因為電容器兩極板會充上等量異種電荷，所以極板 A、B 帶的電量為  $Q_A=Q_B$ 。極板 B 和 C 是被導線連成一起的，根據電荷守恒定律，兩板應帶等量異種電荷，即  $Q_B=Q_C$ 。如此類推可得：

$$Q_A=Q_B=Q_C=Q_D=Q_E=Q_F。$$

電容器串聯時，各電容器帶等量電荷。



各電容器充電完畢後 A、B 兩極板間的電壓為  $U_1$ ，C、D 兩極板間的電壓為  $U_2$ ，E、F 兩極板間的電壓為  $U_3$ ，B、C 兩板極是連在一起的導體，處於靜電平衡狀態時，它們是等電勢的，電壓為零即： $U_{BC}=0$ ，同理有  $U_{DE}=0$ 。根據電勢差的計算有： $U_{AF}=U_{AB}+U_{BC}+U_{CD}+U_{DE}+U_{EF}$ 。即有：

$$U=U_1+U_2+U_3。$$

電容器串聯時，電路兩端的電壓等於各電容器的電壓之和。

用一個等效電容器代替這幾個電容器，它的電容為  $C$ 。即有：

$$1/C=1/C_1+1/C_2+1/C_3$$

上式的  $C$  叫做等效電容或總電容。

### 電容器的并聯

右圖是幾個電容器并聯的電路。如果在電路兩端加上電壓  $U$ ，每個電容器充的電量分別為  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ 。各電容器極板的電壓分別為  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 。因為各電容器左邊的電極都連在一起，充電平衡後電勢都相等，同理右邊電極的勢也相等，所以每個電容器兩極板之間的電勢差(電壓)都相等。即有：

$$U=U_1=U_2=U_3。$$

如果用一個等效的電容器代替這幾個電容器，等效電容器帶的電量為  $Q$ ：

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3。$$

等效電容器的電容  $C$  又叫做總電容。

$$C=Q/U=(Q_1+Q_2+Q_3)/U=C_1+C_2+C_3。$$

即：

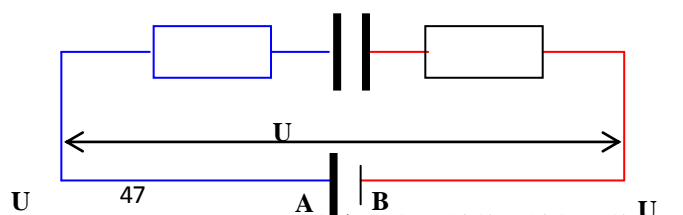
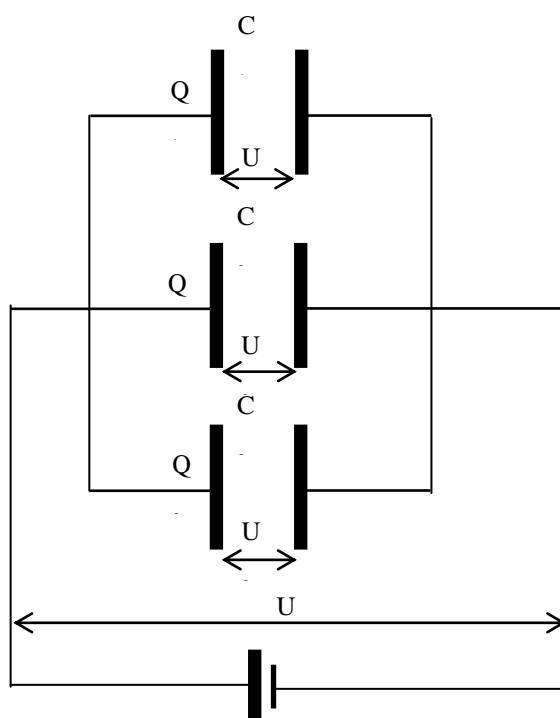
$$C=C_1+C_2+U_3。$$

### 有電容器的電路

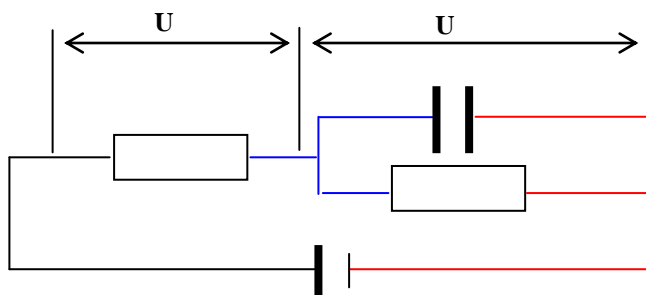
電容器接在電路中，會被充電和放電，通常充電放電的時間是非常短暫的，充電和放電時能使電路產生短暫的電流，充、放電完畢，這電流便消失。

因為電容器兩極間隔着介質(絕緣物)，所以除了充電和放電瞬間，電容器在直流電路中是不能讓電流通過的。

在右圖電路中的電容器使電路斷路，沒有電流。電容器的左端的電路為一個靜



電平衡的勢體，各電勢均等於 A 點電勢  $U_A$ 。同理電容器右端各處的電勢均為  $U_B$ 。即電容器兩極的電壓  $U_C=U_A - U_B=U$ 。



在左圖電路中的電流仍可通過兩個串聯的電阻,但不能通過電容器。電容器的兩端跟  $R_1$  的兩端分別連接，它們兩端的電壓電相等，均為  $U_2$ 。

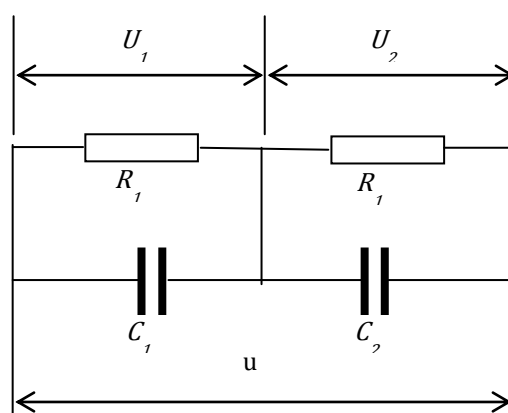
例一 在圖中， $C_1=3C_2$ ， $R_1=R_2/3$ ，當電路中電流達穩定狀態後，下列判斷哪些正確。( )

- A ·  $C_1$  所帶電量是  $C_2$  所帶電量的 3 倍；
- B ·  $C_1$  所帶電量與  $C_2$  所帶電量相等；
- C ·  $C_1$  兩端電壓與  $C_2$  兩端電壓相等；
- D ·  $C_1$  兩端電壓是  $C_2$  兩端電壓的  $1/3$ 。

分析 電流從兩串聯的電阻流過，電容器充電， $C_1$  跟  $R_1$  并聯， $C_2$  跟  $R_2$  并聯( $C_1$ 、 $C_2$  不是串聯)。 $C_1$  電壓等於  $U_1$ ， $C_2$  電壓等於  $U_2$ 。

解 因串聯電阻器的電壓跟電阻成正比，故

$U_1=U_2/3$ 。又有： $Q_1/Q_2=C_1U_1/C_2U_2=3C_2*(U_2/3)/C_2U_2=1$ 。 答案為 B 和 D。



例二 如圖所示。 $U=10$  伏， $R_1=4$  歐， $R_2=6$  歐， $C$  的容量為 30 微法，(1) 閉合開關 K，求穩定後通過  $R_1$  的電流。(2) 然後將開關 K 斷開，求這以後流過  $R_1$  的總電量。

已知  $U=10$  伏， $R_1=4$  歐， $R_2=6$  歐， $C=3*10^{-5}$  法

一 求閉合開關 K 穩定後通過  $R_1$  的電流  $I$ 。

解 閉合開關 K，電流通過兩串聯的電阻組成回路。所以有：

$$I=U/(R_1+R_2)=10/(4+6)=1(A)。$$

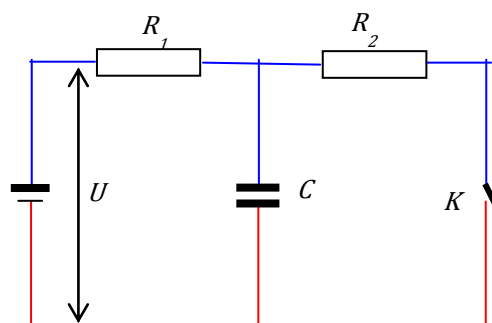
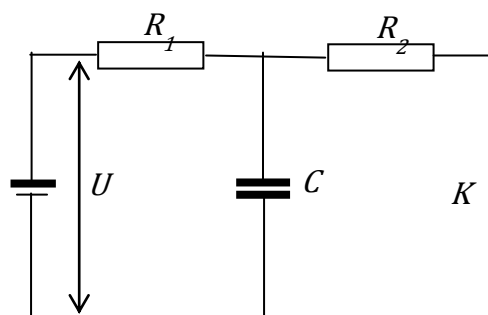
答 閉合開關 K 穩定後通過  $R_1$  的電流為 1A。

二 求 K 斷開以後流過  $R_1$  的總電量 Q。

解 閉合開關 K 時，電容器的電壓跟  $R_2$  的電壓相同，有： $U_C=IR_2=1*6=6(V)$ 。

電容器的電量為：

$$Q=CU_C=3*10^{-5}*6=1.8*10^{-4}(C)$$



打開開關 K 時，電路為斷路。電容器的電壓為  $U_C'=U$ 。電容器的電量為：

$$Q'=CU_C'=3*10^{-5}*10=3.0*10^{-4}(C)$$

打開 K 後，C 的電壓升高，電源對它充電，充電時通過  $R_1$  的電量為：

$$\Delta Q=Q'-Q=(3-1.8)*10^{-4}=1.6*10^{-4}(C)$$

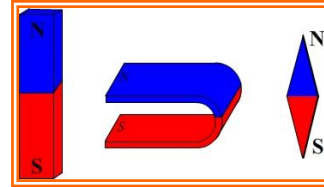
答 K 斷開以後流過  $R_1$  的總電量為  $1.6*10^{-4}C$ 。

## 第二十四磁場

### 第一節 磁體和磁場

#### 磁體

我們發現有些物體能吸引鐵、鈷、鎳等物質的性質，這種性質叫做**磁性**。具有磁性的物體叫做**磁體**。磁體有天然的，也有人造的。人造磁體通常用鋼或某些合金製成，可根據需要而做成各種形狀，在教學常見的有針形、條形和蹄形等形狀。



我國的祖先很早的時候就發現了磁體和磁體的指南性質，做出了世界上最早的“指南針”——司南。司南是我國春秋戰國時代發明的一種最早的指示南北方向的指南器。它用天然磁鐵礦石琢成一個勺形的東西，放在一個光滑的盤上，盤上刻著方位，利用磁鐵指南的作用，可以辨別方向，是現在所用指南針的始祖。



磁體磁中性最強的地方叫做**磁極**。實驗和理論證明，磁體的磁極總是成對的，不會出現單個磁極。磁極有兩種，一種叫做**南極**，常用 S 表示，另一種叫做**北極**，常用 N 表示。如果磁體能自由轉動，當磁體停下來時，磁體的南極總是會指向地球的南方，磁體的北極總是會指向地球的北方。

實驗證明，同性的磁極是相互排斥的，異性的磁極是相互吸引的。

#### 磁場

我們知道，電荷的周圍存在電場，兩個電荷之間相互作用的電力、靜電感應等現象是通過電場發生的；同樣，磁體的周圍也存在磁場，磁極之間的相互作用力、磁化等磁現象是通過磁場發生的。

#### 磁感強度

在磁場中放一個小磁針，我們發現小磁針靜止時，北極在每一點上的指向都是不變的，在不同的點，小磁針靜止時北極可以有不同的指向，這個事實說明磁場具有方向性。我們把磁場中某點的磁場方向規定為在該點上放置的小磁針靜止時北極所指的方向。磁針靜止時北極所指的方向也是北極的受力方向，或南極受力的相反方向。

磁場能使磁極之間發生吸引或排斥的作用，還會對電流產生作用。磁場的強弱是根據磁場對電流的作用來確定的。

為了描述磁場的強弱和方向，我們引入磁感強度這個物理量。

(1)意義：磁感強度是表示場磁場強弱程度和方向的理量。

(2)定義：設在磁場中有垂直於磁場方向的通電導線，我們定義：垂直於磁場方向的通電導線所受的磁場力  $F$  跟電流  $I$  和導線長度  $l$  的乘積  $Il$  的比值叫做通電導線所在處的磁感強度。也叫磁感應強度。如果用  $B$  表示磁感強度，那麼，

$$B=F/Il。$$

我們把磁場中某一點的磁場方向規定為該點磁感強度的方向。

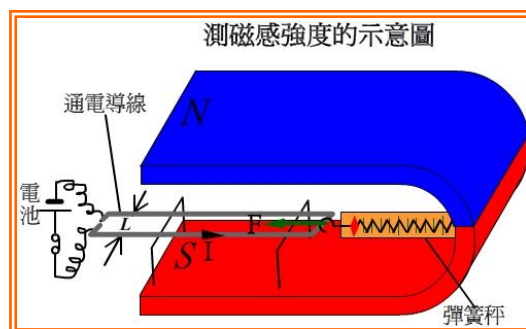
(3)單位：在國際單位制中， $F$  的單位是  $N$ ， $I$  的單位是  $A$ ， $l$  的單位是  $m$ ，磁感強度的單位是**特斯拉**，簡稱**特**，符號是  $T$ 。  
 $1T=1N/Am$ 。

(4)特點：

(a)磁感強度是矢量。

(b)磁感強度不是跟電流的受力成正比，跟電流強度和導體有效長度的積成反比；磁感強度是由產生磁場的源和所在磁場的位置而決定的。

永久磁鐵的磁極附近的磁感強度大約是  $10^{-3}T\sim 1T$ ，在電機和變壓器的鐵芯中，磁感強度可達  $0.8T\sim 1.4T$ ，通過超導材料的強電流的磁感強度可高達  $1000T$ ，而地面附近地磁場的磁感強度大約  $(0.3\sim 0.7)\times 10^{-4}T$ 。



**磁感線** 像用電場線描述電場一樣，也可以用磁感線描述磁場的強弱和方向。在磁場中畫出的一些有方向的曲線，在這些曲線上，每一點的磁場方向都在該點的切線方向上，這些曲線就是磁感線。

實驗中常用鐵屑在磁場中被磁化的現象來顯示磁感線的形狀。在磁場中放一塊玻璃板，在玻璃板上均勻地撒一層細鐵屑，細鐵屑在磁場裏被磁化成“小磁針”。輕敲玻璃板，使鐵屑能在磁場作用下轉動，敲數次後鐵屑就會有規則地排列起來，顯示出磁感線。

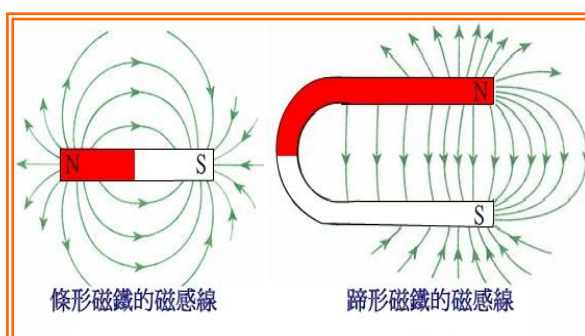
磁感線有以下的特點。

(1) 磁感線總是從磁體的北極(N)發出，經外部空間到南極(S)，再從南極經磁體內部回到北極的閉合曲線。

(2) 磁感線上某點的切線方向，是該點的磁感強度方向，也是在該點的小磁針靜止時北極所指的方向，也是在該點的小磁針北極的受力方向。磁感線要畫上箭頭。

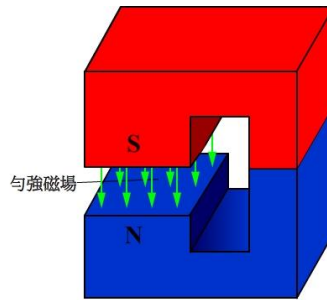
(3) 磁感線越密的地方磁場越強，磁感線越疏的地方磁場越弱。

(4) 磁場中的一個點只能有一個磁場方向。因為磁感線相交時會有兩個切線方向，所以磁感線是不會相交的。



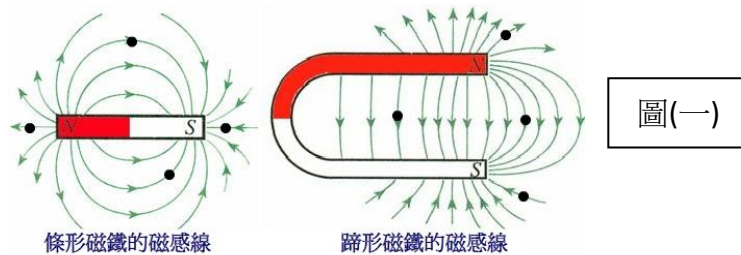
**勻強磁場**

如果在磁場的某一區域裏，磁感強度的大小和方向處處相同，這個區域的磁場叫做勻強磁場。距離很近的兩個異名磁極之間的磁場，除邊緣部分外，通電螺線管內部的磁場都可認為是勻強磁場。勻強磁場的磁感線是一些分佈均勻的平行線。

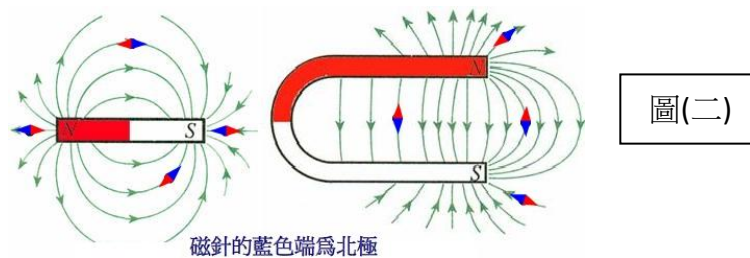


如果平面N、S極之間的距離很小，則該處為勻強磁場。

例 在圖(一)的黑點上畫出小磁針靜止時的指向。

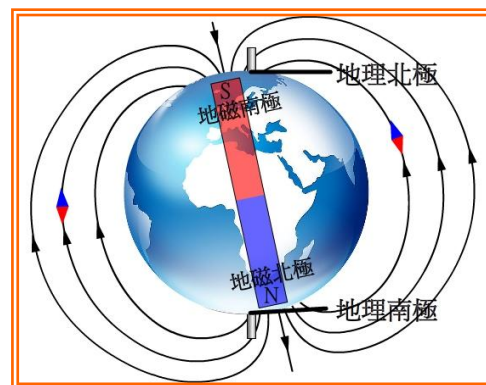


解：小磁針靜止時的指向如圖(二)所示。



**地球的磁場**

地球自身是一個大磁體，它的磁場近似於一根巨大的條形磁鐵，這根磁鐵近大概與地軸重疊，磁的南極在地理的北極附近，磁的北極在地理南極附近。由於以上的原因，地球上的磁針的北極總是指向北方。地球磁場可以有效地阻止了太陽風長驅直入，地球磁場和太陽風的作用會形成美麗的極光。



## 第二節 電流的磁場

### 電流的磁場

丹麥物理學家奧斯特 (Hans Christian Oersted) 於 1820 年通過實驗，首先發現電流產生磁場的現象。

#### (1) 直線電流的磁場

從實驗得知直線電流的磁感線如右圖。

設直線電流  $I$  旁的 P 點到直線電流的距離為  $r$ ，則 P 點磁感強度為：

$$B=2K'I/r。$$

上式的  $K'$  稱為磁效應常量。在國際單位制中， $B$  的單位為特(T)， $I$  的單位為安(A)， $r$  的單位為米(m)，則  $K'=K'/\mu_0/4\pi=10^{-7}N/A^2$ 。

由上式可知，跟直線電流等距的點的磁感強度大小相等，距直線電流越遠，磁感強度越弱。

#### (2) 環形電流的磁場

從實驗得知環形電流的磁感線如右圖。

設有  $N$  匝(圈)密繞的環形電流  $I$ ，圓的半徑為  $R$ ，則在圓心處的磁感強度為：

$$B=2\pi K'NI/R。$$

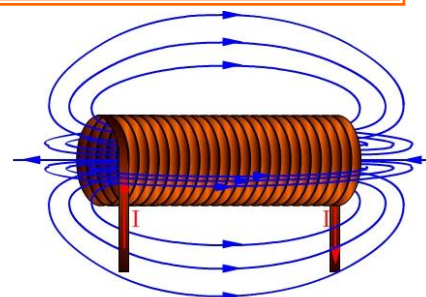
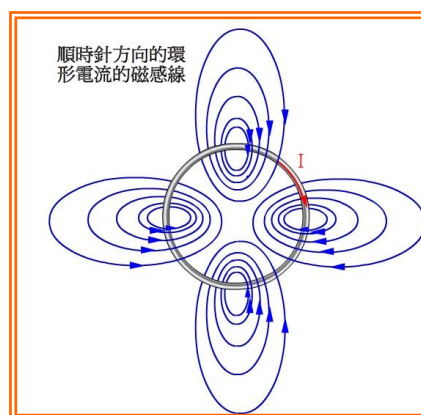
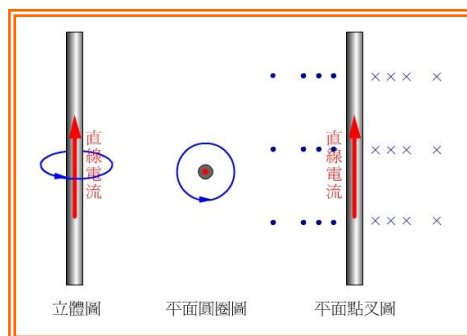
#### (3) 通電長螺線管的磁場

從實驗得知密繞螺線管的電流的磁感線如右圖。

在密繞通電長螺線管非兩端附近的內部的磁場是一個勻強磁場。設密繞通電螺線管的匝數為  $N$ ，電流為  $I$ ，長度為  $l$ ，則管內的磁感強度為：

$$B=4\pi K'NI/l$$

通電螺線外的磁場跟條形磁鐵的磁場相似，在某些情況下，微型螺線管或微型環形電流可當作小磁針。



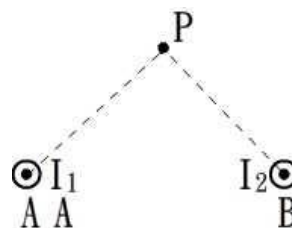
紅箭頭表示電流方向，藍箭頭表示感線線方向。

例 A、B 兩根長直導線平行地放置在真空中，通以同向電流， $I_1=I_2=10A$ 。已知 P 點距 A、B 均為 0.5m，且 AP 垂直於 BP，P 求點的磁感強度。

已知  $I_1=I_2=10A$   $r=0.5m$

求 p 點的感強度 B。

分析  $I_1$  和  $I_2$  均在 P 點有磁感強度，其方向為圓形磁感線的切線方向，如圖所示。B 為  $B_1$  和  $B_2$  的矢量和。



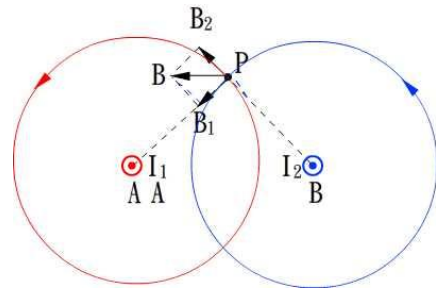
解 兩電流分別在 P 點產生的磁強度為：

$$B_1=B_2=K'I/r=2 \cdot 10^{-7} \cdot 10/0.5=4 \cdot 10^{-6} \text{tT}。$$

P 點的磁強度為：

$$B=2^{1/2} B_1=2^{1/2} \cdot 4 \cdot 10^{-6}=5.66 \cdot 10^{-6} \text{T}。$$

答： P 點的磁強度為  $5.66 \cdot 10^{-6} \text{T}$ 。



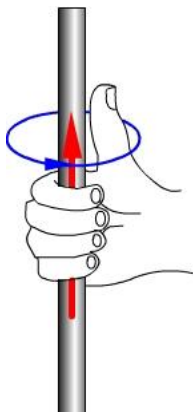
### 安培定則

實驗表明電流磁場的磁感線方向跟電流的方向有關，安培通過大量實驗總結出它們的關係，這種關係叫做安培定則。因為安培定則可以用右手簡單地表示出來，所以安培定則又叫做右手螺旋定則。

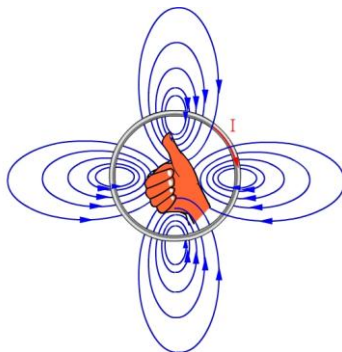
對於直線電流的磁場，安培定則為：用右手握住導線，讓大姆指所指的方向跟電流方向一致，四指的環繞方向就是磁感線的方向。如圖(一)。

對於環形電流的磁場，安培定則為：用右手握住環形導線，讓四指的環繞方向跟電流方向一致，大姆指所指的方向就是穿過環內的磁感線的方向。如圖(二)。

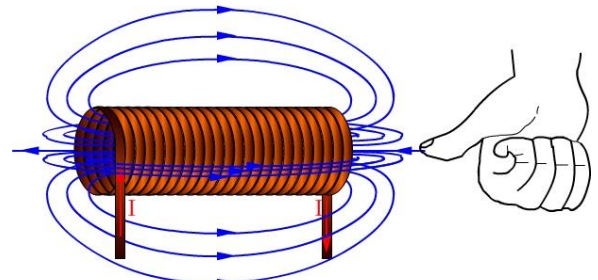
對於通電螺線的磁場，安培定則為：用右手握住通電螺線管，讓四指的環繞方向跟電流方向一致，大姆指所指的方向就是穿過管內的磁感線的方向。如圖(三)。



如圖(一)



如圖(二)

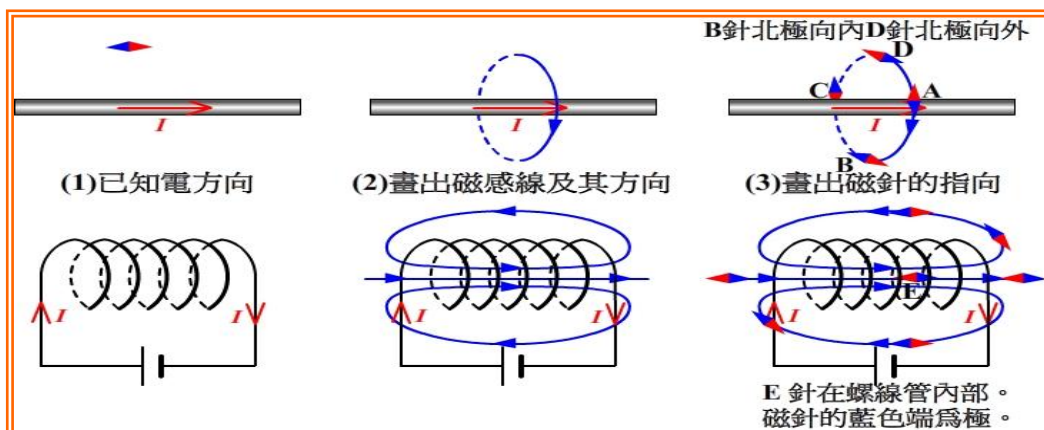


紅箭頭表示電流方向, 藍箭頭表示感線線方向。

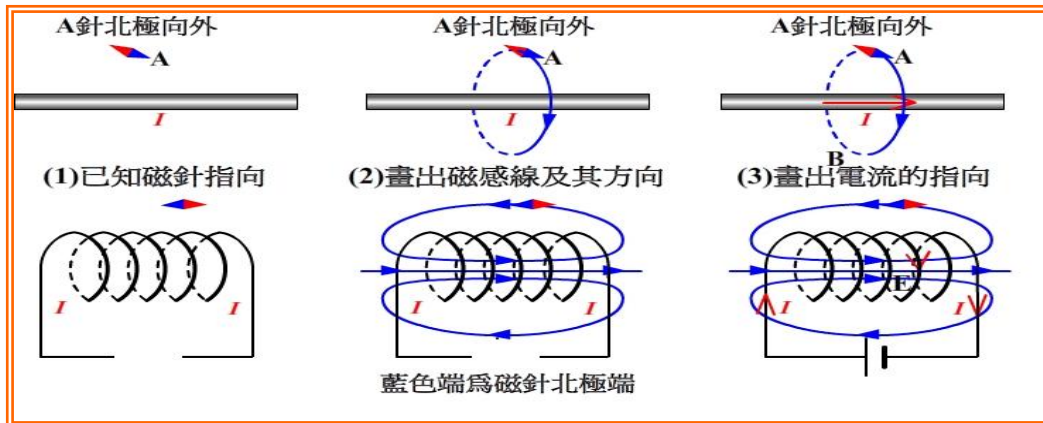
如圖(三)

### 安培定則的應用

(1) 根據電流方向確定磁感線方向，根據磁感線方向確定磁針的指向。

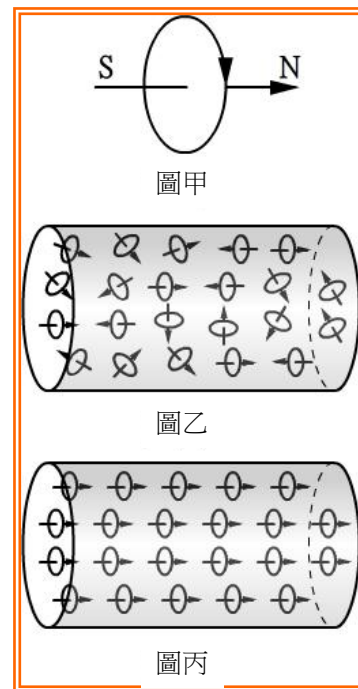


(2) 根據磁針指向確定磁感線的方向，根據磁感線的方向確定電流的方向。



### 安培假說

磁體的磁場是怎樣來的呢？法國物理學家安培提出了著名的“分子電流”假說。他認為，分子等物質微粒內部，存在著一種環形電流——分子電流，分子電流使每個物質微粒都成為微小的磁體，它的兩側相當於兩個磁極(如圖甲)。一根鐵棒，在未被磁化的時候，內部各分子電流的取向是雜亂無章的(如圖乙)，它們的磁場互相削弱，對外界不顯磁性；當鐵棒受到外界磁場的作用時，各分子電流的取向變得大致相同(如圖丙)，它們的磁場互相加強，對外界顯示出較強的磁性，兩端形成磁極，這就是鐵棒的磁化現象。磁體受到高溫或猛烈的敲擊會失去磁性，這是因為在激烈的熱運動或機械振動的影響下，分子電流的取向又變得雜亂了。



在安培所處的時代，人們對物質內部為什麼會有分子電流還不清楚。直到 20 世紀初，才知道分子電流是由原子內部電子的運動形成的。安培的假說是很大膽和很成功的假說。

因為磁體的磁場產生於電流，電流是由電荷的定向運動形成的；所以磁體的磁場和電流的磁場，它們產生的原因相同，都是電荷的運動產生的。

### 磁通量

在電磁學裏常常要討論穿過某一個面的磁感線的多少，為此我們引入磁通量這個物理量。

(1) 意義：磁通量是描述某個面穿過磁感線多少的物理量。

(2) 定義：在勻強磁場中有一個與磁場方向垂直的平面。平面處的磁感強度為  $B$ ，平面的面積為  $S$ ，我們定義：磁感強度  $B$  與垂直於磁場方向的平面面積  $S$  的乘積，

叫做穿過這個面的磁通量。簡稱磁通。如果用  $\Phi$  表示磁通量，那麼，

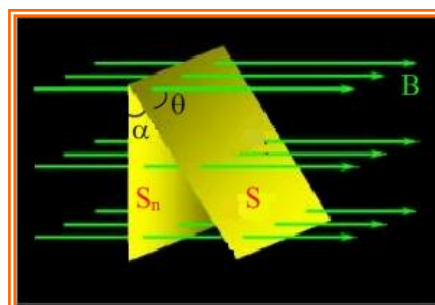
$$\Phi = BS。$$

(3) 在國際單位制中  $B$  的單位是特(T)， $S$  的單位是平方米( $m^2$ )，磁通量的單位是韋伯，簡稱韋，符號是 **Wb**。

$$1\text{Wb}=1\text{Tm}^2$$

(4)特點：

(a)磁通量是標量，它是沒有方向性的。如果把從某一平面的正面穿向背面的磁通定正值，那麼從這一平面的背面穿向正面的磁通就該取負值。



(b)通過某面的磁通量大，就表示穿過這個面的磁感線多。反之亦然。

(c)如果平面不跟磁場方向垂直，我們可以作出它在垂直於磁場方向上的投影平面。從圖中可以看出，穿過這兩個面的磁感線條數相等，即磁通量相等，即  $\Phi = BS = BS_n$ 。因為  $S_n = S \sin \theta = S \cos \alpha$ ，所以有：

$$\Phi = B S \sin \theta = B S \cos \alpha。$$

(d)同一個平面，當它跟磁場方向垂直時，穿過它的磁感線條數最多，磁通量最大。當它跟磁場方向平行時，沒有磁感線穿過它，磁通量為零。

### 第三節 磁場對電流的作用

#### 安培力

磁場對電流能產生作用力，這種力稱為安培力。

實驗發現，當電流的方向跟磁感強度的方向平行時不會產生安培力，當電流的方向跟磁感強度的方向不平行時才會產生安培力。

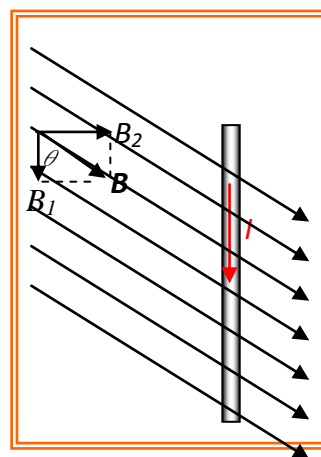
我們已知磁感強度為  $B = F/Il$ 。那麼，長度為  $l$ 、電流為  $I$  的一小段通電導線，垂直於磁場方向放在該處時，所受的安培力  $F$  的大小為：

$$F = IlB。$$

當電流方向與磁場方向有一個夾角  $\theta$  時，我們可以把磁感強度  $B$  分解為兩個分量：一個是跟電流方向平行的分量  $B_1 = B \cos \theta$ ，另一個是跟電流方向垂直的分量  $B_2 = B \sin \theta$ 。 $B_1$  與電流方向平行，對電流沒有作用力，電流受到的力是由  $B_2$  決定的，即  $F = IlB_2$ 。將  $B_2 = B \sin \theta$  代入上式得：

$$F = IlB \sin \theta。$$

這就是電流方向與磁場方向成某一角度時安培力的公式。這就是說，安培力的大小等於電流  $I$ 、導線長度  $l$ 、磁感強度  $B$  以及  $l$  和  $B$  的夾角  $\theta$  的正弦  $\sin \theta$  的乘積。

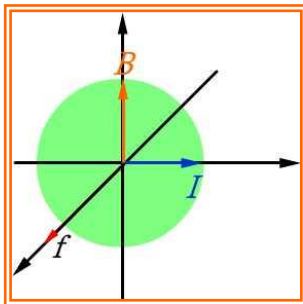
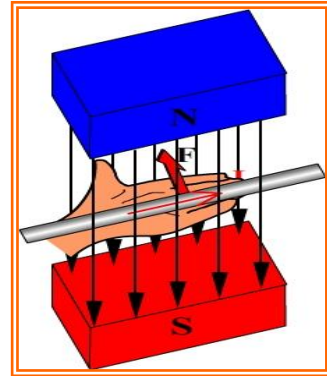


在國際單位制中，力的單位為牛(N)、電流的單位為安(A)、磁感強度的單位為特(T)。

$F=ILB$  是  $F=ILB\sin\theta$  在  $\theta=90^\circ$  時的特殊情況。當  $\theta$  為  $0^\circ$  或  $180^\circ$  時，即電流跟磁場平行時， $F=0$ 。

### 左手定則

通電直導線所受安培力的方向和磁場方向、電流方向之間的關係，可以用左手定則來判定：伸開左手，使大拇指跟其餘四個手指垂直，並且都跟手掌在一個平面內，把手放入磁場中，讓磁感線垂直穿入手心，並使伸開的四指指向電流的方向，那麼，大拇指所指的方向就是通電導線在磁場中所受安培力的方向。



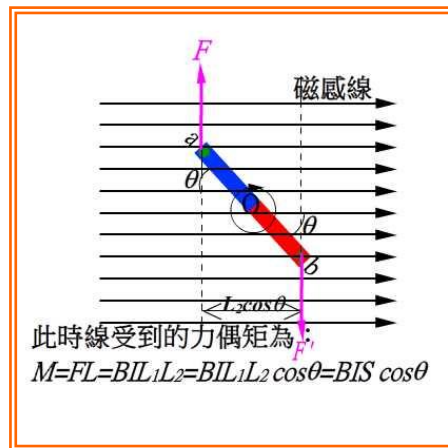
上面講的是磁場方向跟電流方向垂直的情況，如果這兩個方向不垂直，我們仍舊可以用左手定則來判定力的方向，只是這時磁感線是傾斜進入手心的。

實驗證明，安培力  $F$  的方向一定跟電流的方向垂直，一定跟磁場方向垂直，也就是跟電流和磁感線組成的平面(圖中的灰色平面)垂直，但電流方向不一定跟磁感強度方向垂直。

### 線圈的力偶矩

通電矩形線圈在如圖所示的勻強磁場中，ad 邊和 bc 邊中會受到力偶的作用，力偶矩的變化和線圈的轉動情況如動畫所示。因為 ab 和 dc 邊受到的安培力的力臂始終為零，所以不產生力偶矩，不會使線圈轉動。

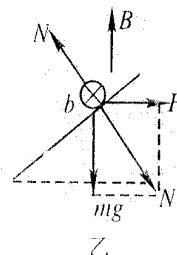
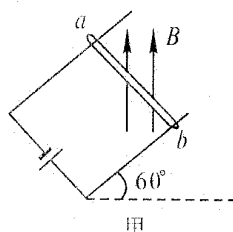
通電矩形線圈在勻強磁場中， $L_1$  和  $L_2$  為線圈的長和寬，通過的流為  $I$ ，磁感強度為  $B$ ，線圈平面跟磁感線的夾角為  $\vartheta$ ，則通電線圈受到力偶矩為：



$$F=BIL_1L_2\cos\vartheta=BIS\cos\vartheta。$$

例 仰角為  $60^\circ$  的光滑金屬導軌間連一電源，在相距 1 米的平行導軌上放一品質  $m=0.3$  千克的金屬棒 ab，通以從 b 向 a， $I=3$  安的電流，磁場方向豎直向上，這時金屬棒恰好靜止。求(1)勻強磁場的磁感應強度  $B$ ；(2)ab 棒對導軌的壓力( $g=10$  米/秒)

已知  $m=0.3\text{kg}$   $I=3\text{A}$   
 $\theta=60^\circ$   $L=1\text{m}$



求 磁感強度  $B$ ；棒對斜面的壓力  $N$ 。

解 棒的受力如圖乙所示，安培力  $F=BIL$ 。根據力的平衡有：

$$BIL/mg=\tan \theta ;$$

$$mg/N=\sin \theta 。$$

得：

$$B=mg \tan \theta /IL=0.3 * 10 * \tan 60^{\circ} / 3 * 1=1.71(\text{T})$$

$$N=mg / \cos \theta =0.3 * 10 / \cos 60^{\circ}=6(\text{N})$$

答： 勻強磁場的磁感應強度為 1.71T；ab 棒對導軌的壓力為 6N。

#### 第四節 洛倫茲力

##### 洛倫茲力的大小

實驗證明磁場對運動電荷會產生力的作用力。磁場對運動電荷的作用力叫做洛倫茲力。

洛倫茲力大小的計算式為：

$$f=qvB \sin \theta 。$$

上式中  $q$  是帶電粒子的電量， $v$  是帶電粒子的運動速度， $B$  是磁感強度， $\theta$  是  $B$  與  $v$  的夾角。

##### 洛倫茲力的方向

洛倫茲力的方向也可用左手定則來判定：伸開左手，使大拇指跟其餘四個手指垂直，且處於同一平面內，把手放入磁場中，讓磁感線穿入掌心，四指指向正電荷運動的方向或負電荷的運動方向的反方向，那麼，拇指所指的方向就是電荷所受洛倫茲力的方向。

實驗證明，洛倫茲力的方向一定垂直於電荷運動的方向和磁感強度的方向，即洛倫茲力垂直於由運動方向和磁感強度方向所組成的平面。

#### 第五節 帶電粒子在勻強磁場中的運動

##### 洛倫茲力使帶電粒子作圓周運動

以某一速度垂直於磁場方向進入勻強磁場的帶電粒子，它受到一個垂直於  $v$  的洛倫茲力作用，這個力雖然不會使它的速率改變，但卻會改變速度的方向。在這種情況下，帶電粒子不斷地偏轉，結果就作勻速圓周運動。帶電粒子作圓周運動的向心力就是洛倫茲力。

##### 圓周運動的半徑和周期

帶電粒子在勻強磁場中作圓周的半徑為：

$$R=mv/qB 。$$

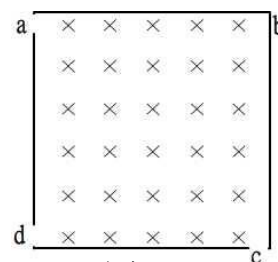
帶電粒子在勻強磁場作圓周運動的周期為：

$$T=2\pi m/qB。$$

例 如圖(一)所示的正方形空間  $abcd$ ，有一向入的均強磁場。一束電子從  $a$  孔沿  $ab$  方向射入磁場，一部分粒子從  $c$  孔沿  $bc$  方向射出，另一部分從  $d$  孔沿  $cd$  方向射出。求從  $c$  孔和從  $d$  孔射出的電子的速度之比以及它們在磁場中運動的時間之比。

求 從  $c$  孔和從  $d$  孔射出的電子的速度之比  $v_c : v_d$ ；從  $c$  孔和從  $d$  孔射出的電子在磁場中運動的時間之比  $t_c : t_d$ 。

分析 沿  $bc$  射出的電子的軌迹是  $1/4$  圓弧，半徑為  $r_c=ad$ ；沿  $cd$  射出的電子的軌迹是半圓弧，半徑為  $r_d=ad/2$ 。如圖(二)所示。



圖(一)

解一

從  $c$  孔射出的電子有：

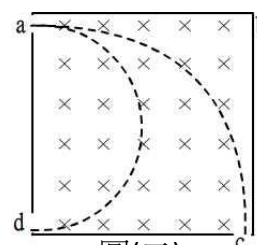
$$r_1=ad=mv_c/qB.....(1)$$

從  $d$  孔射出的電子有：

$$r_2=ad/2=mv_d/qB.....(2)$$

(1)式除以(2)式得：

$$v_c : v_d=2 : 1。$$



圖(二)

解二

從  $c$  孔射出的電子經過磁場的時間為四分之一周期：

$$t_c=T/4 = 2\pi m/4qB.....(3)$$

從  $d$  孔射出的電子經過磁場的時間為二分之一周期：

$$t_d=T/2 = 2\pi m/2qB.....(4)$$

(3)式除以(4)式得：

$$t_c : t_d=1 : 2。$$

答：從  $c$  孔和從  $d$  孔射出的電子的速度之比  $v_c : v_d=2 : 1$ ；從  $c$  孔和從  $d$  孔射出的電子在磁場中運動的時間之比  $t_c : t_d=1 : 2$ 。

## 第二十五章 電磁感應

### 第一節 電磁感應現象

#### 電磁感應現象

穿過閉合電路的磁通量發生變化，在導體中產生電流的現象叫做電磁感應現象。電磁感應現象產生的電流叫做感應電流。

產生感應電流必須滿足條件是：(1)電路要閉合。(2)穿過電路的磁通量正在發生變化。

#### 切割磁感線

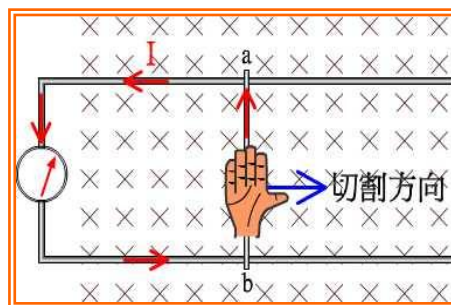
在初中我們學過，閉合電路切割磁感線也能產生感應電。當導體作切割磁感線運動時，就有可能使穿過電路的磁通量發生變化。閉合電路中的導體作切割磁感線運動時：如果穿過閉合電路的磁通量發生變化，電路中就會有感應流；如果穿過閉合電路的磁通量不發生變化，電路中就不會有感應流。

### 第二節 感應電流的方向

#### 右手定則

如果用切割磁感線的方式來判斷感應電流的方向的話，可用右手定則判斷。

右手定則：伸開右手，使拇指與其餘四指垂直，拇指和四指均在同一平面上，讓磁感線穿過掌心，使拇指指向切割磁感線的運動方向，這時其餘四指所指的方向就是感應電流的方向。



#### 楞次定律

如果用磁通量變化的方式來判斷感應電流的方向的話，可用楞次定律判斷。楞次定律：感應電流的磁場總是阻礙產生感應電流的磁通量的變化。

應用楞次定律的一般步驟：

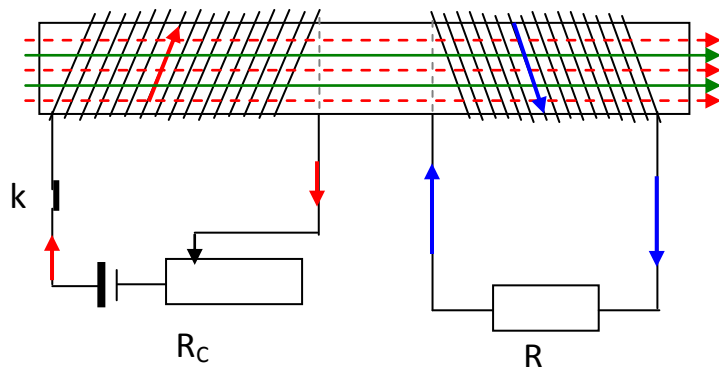
- (1)確定產生感應電流的磁場(穿過電路的磁場)的方向。
- (2)確定產生感應電流的磁場的磁通量是增還是減。
- (3)如果產生感應電流的磁場的磁通量是增，則感應電流的磁感線與其反向；如果產生感應電流的磁場的磁通量是減，則感應電流的磁感線與其同向。

(4)根據(3)所判斷出來的感應電流的磁感線方向，用安培定則確定感應電流的方向。

**例一** 下圖中的滑動變阻器  $R_C$  的滑片向右移動時，感應電流以何方向過電阻  $R$ ?

**解** 左螺線管的電流方向和磁感線方向如紅箭頭所示。

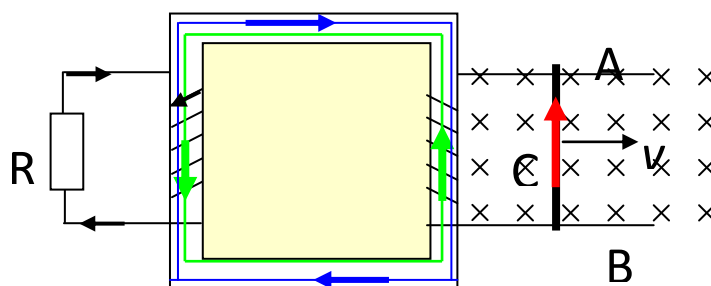
滑片向右滑動，電阻增大，電路中的電流減少，穿過螺線管中的磁通量減少，根據楞次定律可知，感應電流的磁場跟原磁場同向，如綠箭頭所示。



據綠箭頭方向，用安培定則(右手螺旋法則)可知感應電流方向如藍箭頭所示。  
答：感應電流是由右至左地通過電阻  $R$  的。

**例二** 下圖中有一口形鐵芯，鐵芯上左、右兩臂繞各繞一個線圈，右線圈的兩端與兩金屬導軌  $A$ 、 $B$  相連，導軌上有一根導體  $C$  在其上可保持良好接觸地滑動。當導體在如圖的勻強磁場中向右加速滑動時，電阻器的電流方向如何?

**解**  $C$  向右運動，根據右手定則可知電流如紅色箭頭所示。導體上的電流經過右線圈產生的磁場的磁感線方向如綠箭頭所示，磁場經鐵芯引導到左線圈。



導體作加速運動，產生的電流越來越強，產生的磁場也越來越強，使通過左線圈的磁通增加，使左線圈產生感應電流。根據楞次律(增反減同)可知，左線圈的感應電流的磁感線跟綠箭頭反向，如藍箭頭所示。根據藍箭方向，用安培定則便可確定左線圈產生的感應電流的方向如黑箭頭所示。

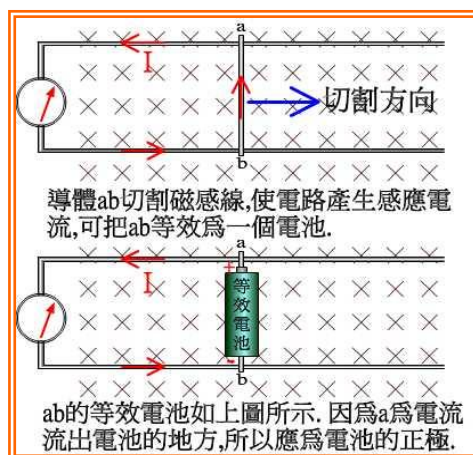
答：電流由下向上經過電阻器。

### 第三節 感應電動勢

#### 感應電動勢

根據我們已學過的知識可知，電源能夠為電路提供電流的原因是電源存在着電動勢，而且有內阻。由此可推想：發生電磁感應的那部分導體就相當於一個電源，這部分導體也存在一個電動勢，它的電阻就是這個電源的內阻。實驗證明這種想法是正確的。因電磁感應而產生的電動勢叫做**感應電動勢**。

在電路中，電流從電源的正極流出。電磁感應現象中產生電磁感應的那部分導體等效於一個電池，那麼**感應電流出**的那一端就是這個等效電池的正極，該端的電勢是最高的。



#### 法拉第電磁感應律

法拉第經過大量的實驗研究，找到了計算感應電動勢的方法，這個方法叫做**法拉第電磁感應定律**。

法拉第電磁感應定律：**在電磁感應現象中產生的感應電動勢的大小，跟穿過這一回路的磁通量的變化率成正比。**

磁通量的變化率是磁通量的變化量的絕對值(| $\Delta\Phi$ |)跟時間( $\Delta t$ )的比值：

$$|\Delta\Phi| / \Delta t \text{。}$$

磁通量的變化率表示磁通量變化的快慢。磁通量的變化率大，表示磁通量變化得較快；反之，就慢。法拉第電磁感應定律的公式為：

$$\varepsilon = n |\Delta\Phi| / \Delta t \text{。}$$

上式中的  $n$  為回路中的匝數， $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$  是磁通量的變化量。如果磁通的變化速度不均勻時， $\varepsilon$  為平均電動勢。

#### 切割磁感線的感應電動勢

導體作切割磁感線運動時，導體中也能產生感應電動勢，電動勢大小的計算式為：

$$\varepsilon = BLv \sin\theta \text{。}$$

上式中的  $B$  為磁感強度， $L$  為有效切割長度， $v$  是切割運動的速度， $\theta$  是  $v$  與  $B$  的夾角。作變速切割磁感線運動時，如果  $v$  是平均速度，則上式的  $\varepsilon$  為平均電動勢，如果  $v$  是瞬時速度，則  $\varepsilon$  為瞬時電動勢。

**例** 兩根相距  $d=0.20\text{m}$  的平行金屬長導軌固定在同一水平面內，並處於豎直方向的勻強磁場中，磁場的磁感應強度  $B=0.20\text{T}$ ，導軌上面橫放着兩條金屬細桿，構成矩形回路，每條細杆的電阻為  $0.25\ \Omega$ ，回路中其餘部分的電阻可不計。已知兩金

属细棒在平行于导轨的拉力的作用下沿导轨朝相反方向匀速平移，速度大小都是  $v=5.0\text{m/s}$ ，如图 4-16 所示，不计导轨上的摩擦。

(1)求作用于每条金属细棒的拉力的大小。

(2)求两金属细棒在间距增加  $0.40\text{m}$  的滑动过程中共产生的热量。

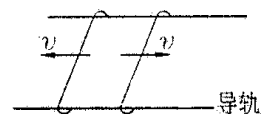


图 4-16

已知  $l=d=0.20\text{m}$        $B=0.20\text{T}$        $r=0.25\Omega$

$v=5.0\text{m/s}$                $\Delta L=0.4\text{m}$

解 每条金属棒中产生的感应电动势均为：

$$\varepsilon = Bdv \dots\dots\dots(1)$$

两棒的电动势在回路 abcd 中是具有相同环绕方向的，据闭合电路欧姆定律有：

$$I = 2\varepsilon / 2r = \varepsilon / r \dots\dots(2)$$

因为棒作匀速直线运动，所以每根棒受的安培力跟拉大小相等：

$$F = BId \dots\dots\dots(3)$$

由(1)、(2)、(3)得：

$$F = B^2 d^2 v / r = 0.2^2 * 0.2^2 * 5.0 / 0.25 = 3.2 * 10^{-2} (\text{N})。$$

设两金属杆之间增加的距离的时间为  $t$ ，则有  $t = \Delta L / v$ 。电流产生的热量  $Q$  为，据焦耳律：

$$Q = I^2 r t = v B^2 d^2 \Delta L / r = 5.0 * 0.2^2 * 0.2^2 * 0.4 / 0.25 = 1.28 * 10^{-2} (\text{J})$$

答：作用于每条金属细杆的拉力的大小为  $3.2 * 10^{-2} \text{N}$ 。电流产生的热量为  $1.28 * 10^{-2} (\text{J})$ 。

#### 第四節 自感現象

##### 自感現象

回路中的電流發生變化時，穿過該回路的磁通量也會生變化，在該回路中產生電磁感應。這種現象叫做自感現象。

根據楞次定律可知，回路中的電流增大時，自感現象會阻礙電流增大，感應電流就要跟原電流反向，使電流增加得緩慢些，電流的變化越來越緩慢，感應電動勢就漸漸消失。

根據楞次定律可知，回路中的電流減少時，自感現象會阻礙電流減少，感應電流就要跟原電流同向，使電流減少得緩慢些，電流的變化越來越緩慢，感應電動勢就漸漸消失。在這過程中，儲存在線圈中的磁能轉化成電能，再轉化成內能，磁能耗盡時，自感現象也就結束了。

##### 自感系數

自感電動勢的大小跟電流的變化率成正比，其計算公為式為：

$$\varepsilon = L |\Delta I| / \Delta t。$$

上式中的  $L$  叫做自感系數。 $L$  越大，表示自感現象更強烈。

線圈的匝數越多它的自感系數越大，線圈的橫截面積越大它的自感系數越大，有鐵芯的線圈的自感系數比沒有鐵芯的要大很多。

## 第二十六章 交流電

### 第一節 交流電

旋轉電樞式交流發電機的主要結構有：磁鐵、電樞(線圈)、滑環、電刷。

發電的原理：電樞轉動時穿過電樞的磁通量發生變化，從而使電樞產生感應電動勢。

中性面和極值面：

	線圈平面與磁感線	切割速度方向與磁感線	通過電樞的磁通量
中性面	垂直	平行	最大
極值面	平行	垂直	零

瞬時值： $e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$ ；

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)；$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)。$$

周期、頻率、轉速、角速度：

$$\omega = 2\pi / T = 2\pi f = 2\pi n。$$

最大值：

$$E_m = NBS\omega； I_m = E_m / (R + r)； U_m = I_m R。$$

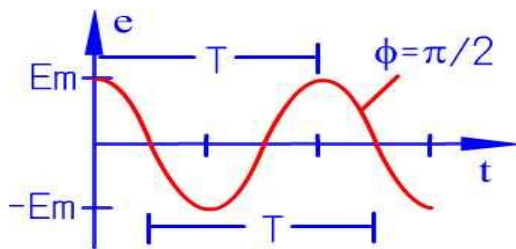
有效值：

$$E = E_m / \sqrt{2} = 0.707 E_m；$$

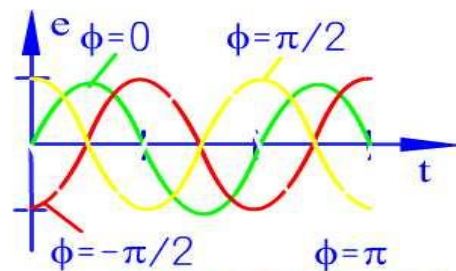
$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m；$$

$$U = U_m / \sqrt{2} = 0.707 U_m。$$

讀正弦交流圖象的要點：



讀出 $E_m$ 、 $T$ 和 $\phi$



幾種特殊初位相所對應的曲線。

畫正弦交流電圖象的一般步驟：

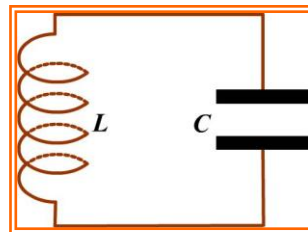
- (1) 寫出瞬時值表式。
- (2) 計算周期 ( $T = 2\pi / \omega$ )。
- (3) 畫座標，時間軸一般以 $T/4$ 為單位。
- (4) 計算出 $t = (T/4、T/2、3T/4、T)$ 的交流電值。
- (5) 在座標中描出 $t = (T/4、T/2、3T/4、T)$ 的點。
- (6) 把描出的點連成平滑的正弦曲線。

## 第二十七章 電磁振盪和電磁波

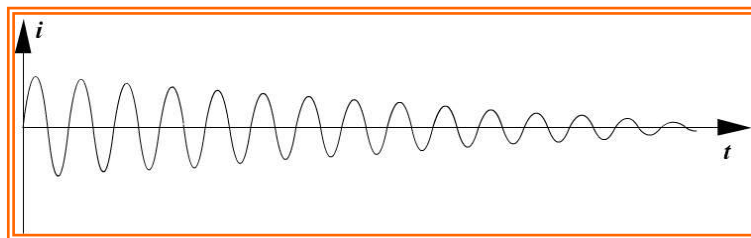
### 第一節 電磁振盪

#### LC 振盪電路

大小和方向都作周期性變化的電流叫做交流電，又叫做振盪電流。能夠產生振盪電流的電路叫做振盪電路。由一個電感器和一個電容器組成的電路就是一個簡單的振盪電路，稱為 LC 振盪電路。右圖是 LC 振盪電路的電路圖。



把一個示波器接到 LC 振盪電路觀察電路的電流，從示波器中得到電流的圖像如下圖所示。電流的圖像是一個振幅不斷減小的正弦曲線，就像阻尼振動的圖像一樣。



#### 振盪原理和特點

電容器充電之後放電，放電完畢後，電感器的自感電動勢又對電容器充電，不斷反復循環，使電路中產生大小和方向都不斷變化的振盪電流。

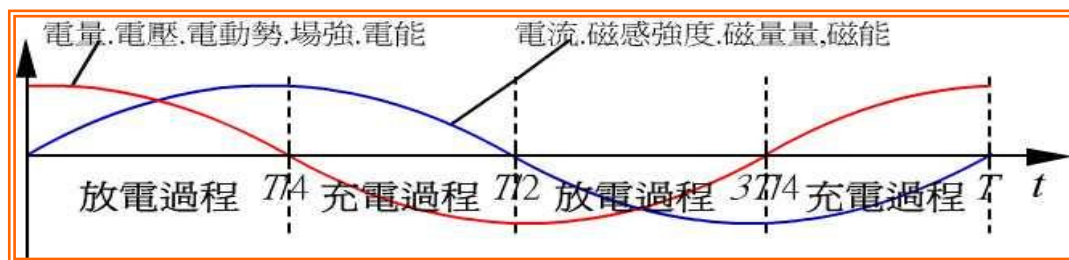
電場能和磁場能都作周期性變化，而且互相轉化的現象叫做電磁振盪。電磁振盪過程，其實就是電荷在電路中的振動過程。

LC 振盪電路中，電流的變化曲線和電容器極板的電量  $Q$  的變化曲線都是正弦曲線。電流曲線落後於電量曲線  $\pi/2$ 。

電容器上的電量增多的時候，電容器的電壓增大、電場變強、電場能場能增多，線圈的自感電勢與電壓的大小是相等的，上述各量都是一起變大和變小的。

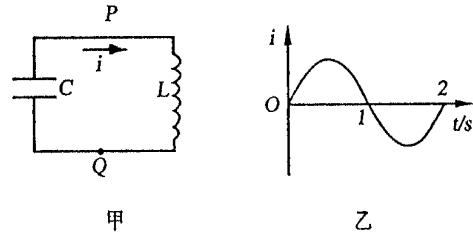
電路中的電流增大時，線圈中的磁場增強、磁通量增加、磁能增加，上述各量都是一起變大和變小的。

LC 振盪電路中各個物理量的變化似乎很複雜，其實它們都是跟隨  $Q$  或  $i$  的規律而變化的，只要記住  $Q$  和  $i$  的曲線就易掌握了。



例一 如圖所示，(甲)表示振盪電路，(乙)表示通過 P 點的振盪電流，電流方向以向右為正，則

- A 0.5~1s 內，電容器正在放電
- B 0.5~1s 內，電容器上極板帶正電荷
- C 1s~1.5s 內，Q 點電勢比 P 點電勢高
- D 1s~1.5s 內，磁場能正在轉化成電場能



解 參考電量和電流的變化曲線。

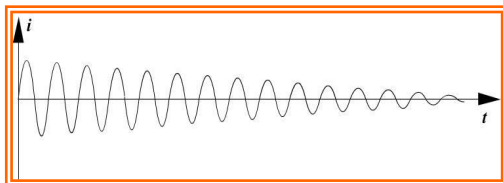
- A 選項錯，此時電流減少，電容器正在充電。
- B 選項錯，電容器在充電時電流是從負極流向正極的，所以上極板帶負電。
- C 選項對，此時電流為負值，從 Q 流向 P，又因為電流正在減少，電容器在充電，所以下極板為正極。Q 點的電勢較 P 點高。
- D 選項錯，此時電流正在減少，磁能在減少，電能在增加，所以是電能正在轉化為磁能。

### 阻尼振盪和無阻尼振盪

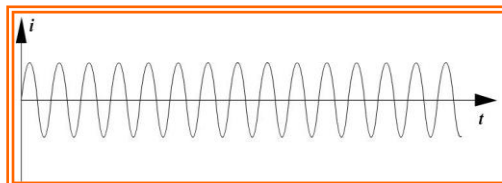
在 LC 振盪電路中電容器首次充電取得的能量，在振動的過程中有一部分會轉化為內能，還有一部分泄漏到周圍的空間去，電路的能量會逐漸損耗，電磁振盪的振幅就會逐漸減小，直到最後振幅為零，這種振盪叫做**阻尼振盪**。

在振盪電路中沒有能量損失，電流的振幅保持不變的振盪叫做**無阻尼振盪**。

如果在振盪的過程中的每一周期內適時地充損失了的能量，這樣就可使電流的振幅保持不變，實現無阻尼振盪。實際上的 LC 振盪電路都有一個補充能量的附加電路，使電路能實現無阻尼振盪。



阻尼振盪



無阻尼振盪

### 電磁振盪的周期和頻率

電磁波完成一次電磁振盪所用的時間叫做周期 (T)，1s 內電磁振盪的次數叫做頻率 (f)。

LC 振盪電路產生的周期和頻率是由電路中的自感係數和電容決定的。計算公式為：

$$T = 2\pi \sqrt{LC} \quad ;$$

$$f = 1/2\pi \sqrt{LC} \quad .$$

例二 有一 LC 振蕩電路，電容可調範圍為 1.2~270 皮法，回路產生電磁波的頻率範圍為 535~1605kHz。求線圈的自感系數

已知  $C_1=1.2 \times 10^{-12}\text{F}$   $C_2=270 \times 10^{-12}\text{F}$   $f_1=535\text{kHz}$   $f_2=1605\text{kHz}$

解 由頻率計式公式可知，頻率越低時電容越大，所以當頻率為  $f_1$  時，相應的電容應為  $C_2$ 。

$$L=1/4 \pi^2 f_1^2 C_2=1/4 * 3.14^2 * (535 * 10^3)^2 * 270 * 10^{-12}=3.280 * 10^{-4}(\text{H})$$

答：線圈的自感係數為  $3.28 * 10^{-4}\text{H}$ 。

## 第二節 電磁場和電磁波

### 麥克斯韋的電磁場理論

在十九世紀中葉，英國物理學家麥克斯韋(James Clerk Maxwell)建立了一套完整的電磁理論。在他的電磁理論中有以下兩個基本要點。

一、在磁場的周圍空間，恒定的磁場不能產生電場，均勻變化的磁場能產生恒定的電場，非均勻變化的磁場能產生變化的電場。例如，穿過閉合電路的磁場發生變化時，穿過它的磁通就會發生變化，閉合電路中就會產生電場和電勢差，從而產生電流。

二、在電場的周圍空間，恒定的電場不能產生磁場，均勻變化的電場能產生恒定的磁場，非均勻變化的電場能產生變化的磁場。例如電荷定向運動時形成電流，運動電荷產生的電場就會發生變化，從而產生磁場。

按照上述理論，變化的電場和變化的磁場總是相互聯系的，形成一個不可分割的場，這樣的場就叫做**電磁場**。

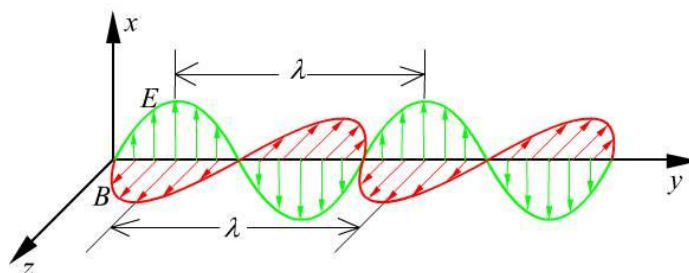
### 電磁波的形成

從麥克斯韋的電磁理論可知：空間某處的非均勻變化的電場，能夠在其周圍空間產生非均勻變化的磁場，這個磁場又會向較遠的空間產生新的非均勻變化的電場和磁場。這樣非均勻變化的電場和磁場並不局限於空間某個區域，而是由振盪源逐漸向外傳播開去。這種由**電磁振盪源向空間傳播的電磁振盪(電磁場)就叫做電磁波**。

### 電磁波的特點

電磁波可以在介質中播，也可以在真空中傳播而無須介質。例如電波可以在太空中傳播，也可在光纖中傳播。

下圖表示按正弦變化的電磁波在某一時刻的波的圖象。電場強度  $E$  或磁感強度  $B$  的最大值為波峰，電場強度  $E$  或磁感強度  $B$  的最小值



為波谷。兩個相鄰波峰(或波谷)之間的距離為波長。實驗和理論證明，電場的振盪方向、磁場的振盪方向和電磁波傳播的方向是彼此垂直的，所以電磁波是橫波。

電磁波的波長、頻率(或周期)和波速之間的關係跟機械波一樣，計算公式為：

$$v = \lambda / T = \lambda f = s / t。$$

麥克斯韋推算出電磁波在真空的傳播速度為  $3.00 \times 10^8 \text{m/s}$ ，跟光在真空的傳播速度一樣。麥克斯韋猜想光可能是電磁波。

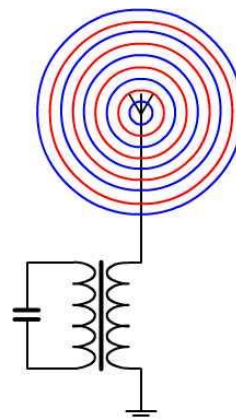
在麥克斯韋發表電磁理論後二十年多年，赫茲用實驗取得了電磁波，測出了電磁波的頻率和波長，算出電磁波的速度等於光速，從而完美地驗證了麥克斯韋的電磁理論。赫茲還用實驗證明了電磁波跟所有的波一樣，能產生反射、折射、衍射和干涉等現象。

### 第三節 無線電波

#### 無線電波的發射

頻率約為 3000GHz 以下的電磁波又稱為無線電波，簡稱電波。無線電波通常都是利用電磁振盪來獲得的。

為了能發射出強大的電波，需把 LC 振盪電路的電流通過一個變壓器耦合到一個開放式的電容器上發射，這個開放式的電容器的一個極接到地球上，這個極稱為地線，另一個極放在高處，例如放在塔尖上，這個極稱為天線。通過這樣的方式，才能使無線電波順利地向遠處空間發射。天線就是電波的波源。



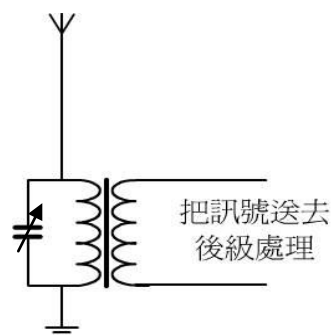
#### 電波的傳播

電波通常用以下幾種方式在空間中傳播。

	名稱	傳播方式
1	波導方式	在天空的電離層和地球表面之間傳播。
2	地波方式	沿地球表面傳播。
3	天波方式	利用天空的電離層對電波的反射來傳播。
4	空間波方式	主要指直射和反射的傳播。
5	衍射方式	利用電波的衍射，使電波繞到障礙物傳播
6	散射方式	利用大氣對流層對電波的散射作用來傳播。
7	直線傳播	是點到點或地球到衛星的傳播。

### 電波的接收

接收電波也需要一副天線。天線上能感應出所在空間的各種電波。在天線上加一個可調節頻率的電磁振盪電路，這個電路稱為**調諧電路**，當調諧電路的頻率跟自己所要選取的電波頻率相同時，就會產生共振，使需要選取的電波很強，其餘的電波很弱，這樣就可把需要的電波篩選出來。



### 調制和檢波

電波通常用作傳遞訊息的載體。我們常把一些訊息加到電波上，例如聲音和圖像的訊息，這個過程叫做**調制**。接收到電波之後，還要把電波中有用的訊息取出來，這過程叫做**檢波**。

## 五 無線電波波譜

	波段名稱	頻率範圍	傳播方式	用途
1	甚低頻(VLF)	3~30kHz	波導	世界範圍長距離無線電導航
2	低頻(LF)	30~300kHz	地波.天波	長距離無線電民航通訊
3	中頻(MF)	300~3000 kHz	地波.天波	中等距離點到點廣播
4	高頻(HF)	3~30MHz	天波	長和短距離點到點全球廣播/移動通訊
5	甚高頻(VHF)	30~300MHz	空間波, 散射, 衍射	短和中距離點到點移動通訊/LAN/聲音和視頻廣播/個人通訊/藍牙
6	特高頻(UHF) (又稱微波)	300~3000 MHz	空間波, 散射, 衍射, 視距	短和中距離點到點移動通訊/LAN/聲音和視頻廣播/個人通訊/衛星通訊/加熱
7	超高頻(SHF) (又稱微波)	3~30GHz	直線	短和中距離點到點移動通訊/LAN/聲音和視頻廣播/個人通訊/衛星通訊/雷達
8	極高頻(EHF) (又稱微波)	30~3000 GHz	直線	短和中距離點到點移動通訊/LAN/個人通訊/衛星通訊

注：LAN 是 local area network 的縮寫，意為局部區域網。

## 第二十八章 光的波動性

### 第一節 光的衍射

#### 光的本性

人們對光的認識經歷了一個反復而又有趣的歷程。

**牛頓的微粒說** 牛頓等人認為光是一種微粒。根據牛頓力學的理論可以解釋光的直線傳播和光的反射等現象，但難以解釋光射到兩種介質分界面處會同時發生反射和折射，以及幾束光交叉相遇後會彼此毫無妨礙地繼續向前傳播等現象。

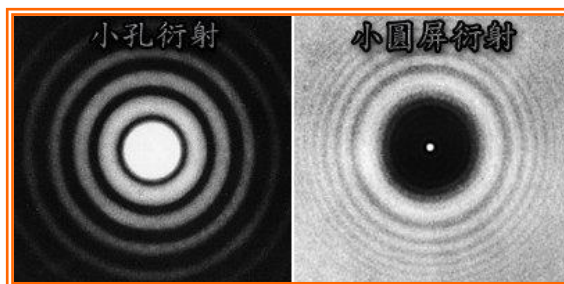
**惠更斯的波動說** 波動理論專家惠更斯及一些人認為光是一種波。根據波動的理論可以解釋光的直線傳播、反射、折射以及幾束光交叉相遇後會彼此毫無妨礙地繼續向前傳播等現象。然而早期的波動說缺乏實驗的支持，所以光的波動理論許多人不相信，甚至反對。直到實驗證明了光的干涉和衍射，光的波動理論才被大家接受。

**愛因斯坦的光子說** 19世紀末發現了用波動說不能解釋的新現象——光電效應。愛因斯坦提出了光子說，解釋了光電效應。他把光的一份能量稱為一個光子，光子有別於傳統的粒子。

**德布羅意的波粒二象說** 大量光子顯示出光的波動性，少量光子顯示出光的粒子性；光在傳播過程顯示光的波動性，光與物質相互作用時，顯示出光的粒子性。德布羅意把光的粒子性和波動性歸納為統一的理論，提出了光的波粒二象說。

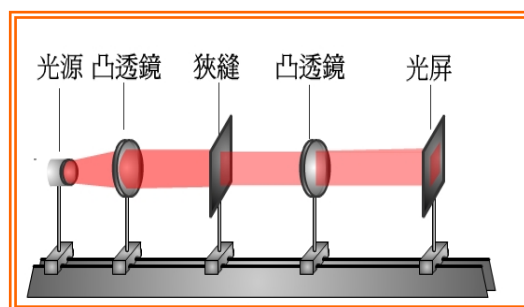
#### 小孔和小圓屏衍射

光的波長非常短，一般物體的尺寸都遠遠大於光的波長，所以都觀察不到光的衍射(繞射)現象，只觀察到光是直線傳播現象。如果光遇到非常細小的孔、縫或障碍物，就會出現衍射現象。圖(一)是光線通小孔和不透明的小圓屏產生的衍射條紋。不透明的小圓屏產生的衍射條紋的中間必有一小亮點，被稱為**泊松斑**。

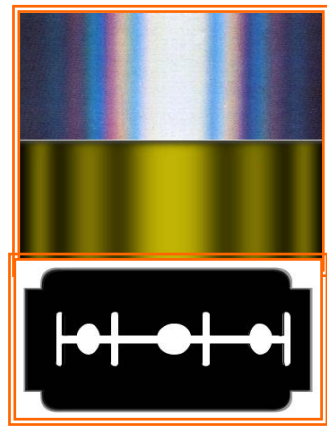


#### 夫朗和費單縫衍射

右圖是夫朗和費的單縫衍射實驗的示意圖。光源在凸透鏡的焦點，光線經過凸透鏡後變成平行光線，再經過狹縫時發生衍射，衍射光線經凸透鏡放大後投射在光屏上，在光屏上可以觀看到衍射條紋。夫朗和費的單縫衍射的條紋為：如果



入射光是單色光，就會產生明暗相間，中間為亮紋，間距不等的同色條紋；如果入射光是白光，就會產生色彩相間，中間為白色，間距不等的彩色條紋。



### 光衍射的條件

各種不同形狀的障礙物，如果它的邊緣很薄的話，也能發生光的衍射，出現亮暗相間的條紋，致使物體的輪廓模糊不清。右圖是刮鬍刀片，在強光下看到的邊緣總是模糊的。

光的波長是很短的。根據波的理論，只有當物件的厚度或孔、縫等的尺寸與光的波長接近時，即它們的尺寸很小時，才會看得到光的衍射。

### 光柵衍射

在一平面上刻出許多的非常細而密的縫或孔就形成了平面光柵，光通過光柵時會發生衍射。光源通過光柵生成的衍射圖案往往是很有趣的。圖(一)是一束光過通十字形衍射光柵後形成的星光圖案，圖(二)是一束光過通矩陣衍射光柵後形成的光束，圖(三)是一束光過通扇形衍射光柵後形成的光束。

人半閉眼睛時上下眼睫毛的縫會形成光柵，玻璃上的灰塵會形成光柵，布的縫隙會形成光柵。



圖(一)



圖(二)



圖(三)

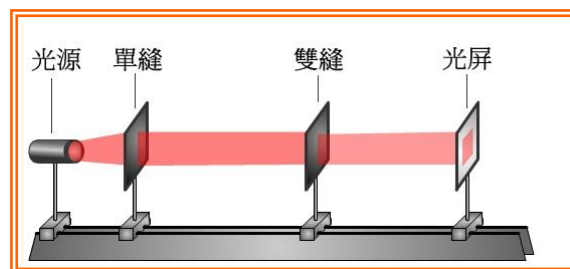
## 第二節 光的干涉

### 相干光

波的干涉要滿足頻率相同、振動方向相同和相位差恒定等三個條件才能發生，光產生干涉也要滿足以上的三條件。一般的光源產生的光的頻率和振動方向，每時每刻都不盡相同，所以都不會產生干涉。只有在特殊條件下的光才能滿足干涉的條件。能相互產生干涉的那些光稱為相干光。

### 楊氏雙縫干涉

楊氏雙縫干涉實驗的裝置如圖所示。很細小的光線通過單縫後衍



射成為一個新的光源，射到距離很近的兩條細狹縫，在這兩條狹縫射出的兩列光波就成為相干光，投射到光屏上就可以出現干涉條紋。單色光的雙縫干涉圖樣是明暗相間的條紋，條紋間距相等，中央是亮紋，顏色與入射光相同。白光的雙縫干涉圖樣是一些彩色條紋，中央為白色條紋。

**楊氏干涉亮、暗紋的位置**

在光屏上距中央亮紋為X處產生亮紋的條件為：

$$X = n\lambda L/d = 2n\lambda L/2d \quad (n=1,2,3,\dots) \text{。 [偶數倍]}$$

在光屏上距中央亮紋為X處產生暗紋的條件為：

$$X = (2n-1)\lambda L/2d \quad (n=1,2,3,\dots) \text{。 [奇數倍]}$$

**楊氏干涉間距公式**

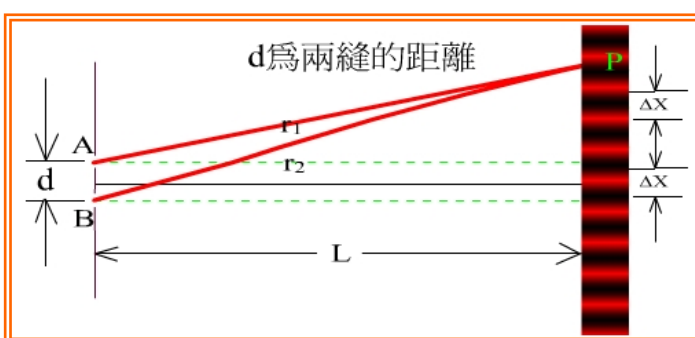
設第n條亮紋距離中央亮紋為 $X_n$ ，第n+1條亮紋距離中央亮紋為 $X_{n+1}$ ，則兩條相鄰亮紋的間距為：

$$\Delta X = X_{n+1} - X_n = (n+1)\lambda L/d - (n\lambda L/d) = \lambda L/d$$

同理，上式也是相鄰暗紋的間距。楊氏雙縫干涉的條紋間距為：

$$\Delta X = \lambda L/d \text{。}$$

上式中的 $\Delta X$ 是條紋間距， $\lambda$ 是入射光的波長， $L$ 是雙縫到光屏的距離， $d$ 是雙縫的距離。上式的 $\Delta X$ 與n無關，所以條紋間距是均勻的。



**光的波長**

用間距公式可計算出光的波長，楊氏雙縫實驗結果表明，相同顏色的光的波長是一樣的，不同顏色的光具有不同的波長。實驗測得各種顏色的光在真空中的波長如下表

光的顏色	真空中的波長(m)	頻率(Hz)
紅	$0.66 \times 10^{-6} \sim 0.62 \times 10^{-6}$	$3.9 \times 10^{14} \sim 4.8 \times 10^{14}$
橙	$0.62 \times 10^{-6} \sim 0.60 \times 10^{-6}$	$4.8 \times 10^{14} \sim 5.0 \times 10^{14}$
黃	$0.60 \times 10^{-6} \sim 0.58 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{14} \sim 5.2 \times 10^{14}$
綠	$0.58 \times 10^{-6} \sim 0.49 \times 10^{-6}$	$5.2 \times 10^{14} \sim 6.1 \times 10^{14}$
藍--靛	$0.49 \times 10^{-6} \sim 0.45 \times 10^{-6}$	$6.1 \times 10^{14} \sim 6.7 \times 10^{14}$
紫	$0.45 \times 10^{-6} \sim 0.40 \times 10^{-6}$	$6.7 \times 10^{14} \sim 7.5 \times 10^{14}$

注：(1) 頻率  $f = c/\lambda_{\text{真空}}$   
 (2) 波長也常用埃(Å)表示， $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ 。  
 (3)  $1 \mu\text{m}$ (微米) =  $10^{-6} \text{ m}$ ； $1 \text{ nm}$ (納米) =  $10^{-9} \text{ m}$

光在介質中的波長為：

$$\lambda_{介} = \lambda_{真空} / n。$$

上式中的n為介質的折射率。

例一 在雙縫干涉實驗中，兩狹縫的距離多大時可在離中央條紋 $X=1\text{cm}$ 處產生第二級暗紋？已知縫到屏的距離 $L=20\text{cm}$ ，入射光的波長 $\lambda=500\text{nm}$ 。

已知：  $L=20\text{cm}=0.2\text{m}$      $\lambda=500\text{nm}=5 \times 10^{-7}\text{m}$      $n=2$

$X=1\text{cm}=0.01\text{m}$ (為暗紋)

求： 縫的間距  $d$

解： 暗紋條件為  $\Delta X = (2n-1)\lambda L / 2d$

$$d = (2n-1)\lambda L / 2\Delta X = (2 \times 2 - 1)5 \times 10^{-7} \times 0.2 / 2 \times 0.01 = 150 \times 10^{-7}\text{m} = 15\mu\text{m}$$

答： 兩狹縫的距離為 $15\mu\text{m}$ 。

例二 一束波長為600納米的光和另一束波長未知的的光一起照射到兩條間距未知的縫上，結果發現已知波長的第四級亮紋和未知波長的第五級亮紋重合，則未知的波長是多少？

已知：  $\lambda_1=600\text{nm}$      $n_1=4$      $n_2=5$

求： 求未知波長 $\lambda_2$

解： 據亮紋條件有：

$$X_1 = n_1 \lambda_1 L / d \dots\dots\dots (1)$$

$$X_2 = n_2 \lambda_2 L / d \dots\dots\dots (2)$$

因為兩亮紋重合，即

$$X_1 = X_2 \dots\dots\dots (3)$$

由(1)、(2)和(3)得

$$\lambda_2 = n_1 \lambda_1 / n_2 = 4 \times 600 / 5 = 480(\text{nm})$$

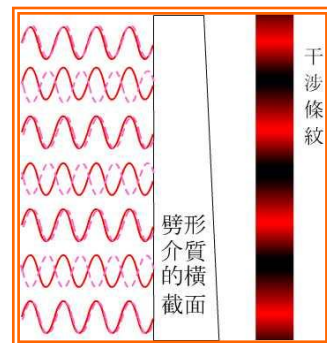
答： 未知的波長為 $480\text{nm}$ 。

**薄膜干涉**

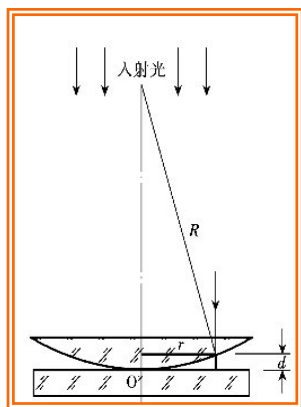
將附著一層肥皂液薄膜的金屬框豎直放置在酒精燈後，隔着燈火，對著液膜看去，可看到液膜上出現水平排列的彩色條紋。這種現象就是薄膜干涉。

薄膜干涉的原理是因為肥皂液薄膜在重力作用下，形成上端薄下端厚的尖劈狀。在單色光的照射下，在液膜的某些部位，從液膜的前表面和液膜的後表面反射出來的兩列光波，疊加後使振動得到加強，在這些地方看到的亮條紋。而在液膜的另一些部位，反射出來的兩列光波，疊加後使振動相互抵消，那麼在這些部位看到的就是暗條紋。

在陽光下肥皂泡呈現彩色花紋，是白光在肥皂泡的外表面和內表面上反射的兩列光波所產生的干涉現象。在陽光下水面上的油膜呈現彩色花紋，是白光在

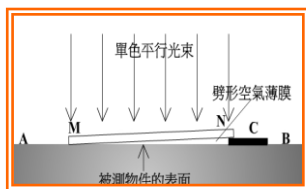


油膜的上表面和下表面上反射的兩列光波所產生的干涉現象。由於肥皂膜各處厚薄不一，所以條紋是彎彎曲曲的。

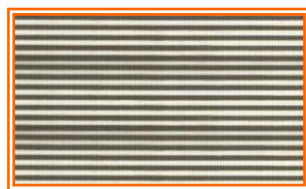


將一塊曲率半徑較大的平凸透鏡放在一塊玻璃平板上，用單色光照射透鏡與玻璃板，就可以觀察到一些明暗相間的同心圓環，圓環分佈是中間疏、邊緣密，圓心在接觸點O，這些環稱為牛頓環。若用白光入射，將觀察到彩色圓環。牛頓環是典型的薄膜干涉，平凸透鏡的凸球面和玻璃平面之間形成一個厚度變化的空氣薄膜，當平行光垂直射向平凸透鏡時，從空氣膜上、下表面反射的兩束光相互疊加而產生干涉。因為同一半徑的圓環處空氣膜厚度相同，上、下表面反射光程差相同，產生相同的干涉，因此干涉圖樣呈圓環狀。

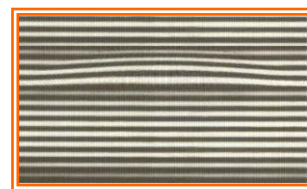
光的干涉現象在技術上有很多應用。利用圖(一)所示的裝置，可以檢查被磨製的精密部件的平面是否平整。在待檢查的表面AB上放一塊兩面平行且非常平整的平板玻璃MN，在MN的一端墊一薄片C，使平板玻璃與待檢查的平面間形成一楔形(尖劈)空氣薄膜。用單色光垂直照射時，在空氣薄膜上下介面處反射出兩列相干光波，若待檢查表面平整，則干涉條紋是一組平行的條紋，如圖(二)所示。若待檢查表面有缺陷，則干涉條紋會發生扭曲，如圖(三)所示。應用干涉原理還可以制成精密的測量儀器，用于測量物體長度的微小差異、薄膜的厚度以及光波的波長等。



圖(一)



圖(二)



圖(三)

在光學裝置的表面鍍上一層厚度適當的透明薄膜，就可以形成增透膜或增反膜。如果透明膜的厚度剛好可以形成暗干涉，就是增透膜，這時反射光弱，透射光強。在相機鏡頭前鍍一層很薄的氟化鎂，使它的厚度剛好是綠光在氟化鎂中的 $\frac{1}{4}$ 波長，就形成綠光的增透膜。它第二界面反射光的波峰（或谷）剛好跟第一界面的反射光的波谷（或峰）相遇，形成暗干涉，這樣反射的綠光就很少，透射的綠光就多。鍍了綠光增透膜的鏡頭由於反射的綠光較少，而反射的紅光和紫光較多，所以會呈現淡淡的紫紅色。如果透明膜的厚度剛好可以形成亮干涉，就形成增反膜，這時反射光強，透射光弱。

### 第三節 光的電磁說

## 光是電磁波

光的干涉、衍射現象，證實了光是一種波，但是為甚麼光有別於機械波，它可以不需介質在真空中傳播呢？光究竟是一種什麼樣的波呢？

1865年，英國物理學家麥克斯韋(James Clerk Maxwell)提出了電磁波的理論，從理論上得出電磁波是可以在真空中傳播的，電磁波的傳播速度跟光的速度相同，在這基礎上，麥克斯韋提出光是一種電磁波的假設。

1888年，德國物理學家赫茲(Heinrich Rudolf Hertz)，用實驗證實了電磁波的存在，計算出電磁波的速度和光的速度一樣，後來的實驗也證實了光是由電磁場組成的。光是電磁波的假設是正確的。

不同顏色的光具有不同頻率，在空真中各種光的傳播速度一樣，若取五位有效數字，則為 $2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，一般取 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。光在不同介質中的傳播速度不相同，可從下式計算出光在不同介質中的傳播速度 $v$

$$v=c/n \quad (1)$$

上式中 $c$ 為真空中的光速， $n$ 為光在介質中的折射率。

光的色散實驗可以證明，不同顏色的光在同一介質中的折射率是略有不同的，因而不同顏色的光在同一介質中的傳播速度是不同的。各種顏色對同一介質的折射率，由小到大排列的次序為：紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫。

實驗證明光從一種介質傳播到另一種介質中時，光的頻率保持不變，即顏色不變，而波長和傳播速度就會改變。

根據波的理論有：

$$v=f\lambda_{\text{介}} \quad (2)$$

或

$$c=f\lambda \quad (3)$$

上兩式中， $v$ 是光在介質的傳播速度， $c$ 光在真空的傳播速度， $f$ 為頻率， $\lambda_{\text{介}}$ 是光在介質中的波長， $\lambda$ 是光在真空中的波長。

由(1)、(2)和(3)得：

$$n=c/v=\lambda/\lambda_{\text{介}}$$

**例一** 波長為 $0.65 \mu\text{m}$ 的紅光射入折射率為 $4/3$ 的水中時，它在水中是甚麼顏色？它的頻率是多少？它在真空中的傳播速度為多少？它在水中的傳播速度和波長各為多少？

**解：** 這光的頻率為： $f=c/\lambda=3 \times 10^8 / 0.65 \times 10^{-6}=4.61 \times 10^{14} \text{ (Hz)}$

這光在水中的傳播速度為： $v=c/n=3 \times 10^8 / (4/3)=2.25 \times 10^8 \text{ (m/s)}$

這光在水中的波長為： $\lambda_{\text{介}}=\lambda/n=0.65 / (4/3)=0.49 \text{ (}\mu\text{m)}$

**答：**光從真空傳入水中時它顏色和頻率是不變的，所以這光在水中的顏色仍為紅色。各種光在空真中的傳播速度均為 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。這光在水中的傳播速度為 $2.25 \times 10^8 \text{ (m/s)}$ ，波長為 $0.49 \text{ (}\mu\text{m)}$ 。

## 電磁波譜

現在我們已經知道，無線電波、紅外線、可見光、紫外光、X光和 $\gamma$ 射線均為電磁波。

### (1) 無線電波

麥克斯韋最早在他遞交給英國皇家學會的論文《電磁場的動力理論》中闡明了電磁波傳播的理論基礎。他的這些工作完成於1861年至1865年之間。赫茲在1886年至1888年間首先通過實驗驗證了麥克斯韋爾的理論。1906年聖誕前夜，雷吉納德·菲森登（Reginald Fessenden）在美國麻薩諸塞州實現了歷史上首次無線電廣播。菲森登廣播了他自己用小提琴演奏“平安夜”和朗誦《聖經》的片段。位於英格蘭切爾姆斯福德的馬可尼研究中心在1922年開播世界上第一個定期播出的無線電廣播娛樂節目。無線電波的波長範圍大約在 $10^4\text{m}$ 至 $10^{-2}\text{m}$ 之間。無線電波是振盪電路中自由電子的周期性振盪而產生的。無線電波的特性和用途可參考“無線電波”一節。

### (2) 紅外線

1800年，英國物理學家赫歇耳(W. Herschel)發現了紅外線。他用靈敏溫度計研究可見光波中各種色光的熱作用時，把溫度計移到紅光的外側，發現溫度上升得更高，說明在那裏存在著某種看不見的射線，這種射線後來被稱為紅外線(infraredray)。紅外線的波長比紅光波長更長，它的範圍在  $0.75\ \mu\text{m}$ 至 $400\mu\text{m}$ 之間。一切物體都會發射紅外線，只是發射的紅外線的波長、強度不同而已，人體發射的遠紅線波長在 $9.6\mu\text{m}$ 左右。紅外線是原子的外層電子受激發而產生的。紅外線有較強的熱效應，可用它來加熱和烘烤物體。紅外線有較好的衍射作用，它較容易穿過雲霧，衛星就利用紅外線來拍攝地球上的物體。因為任何物體會發射紅外線，所以，晚間可以用紅外線接收器來觀察眼睛看不見的東西。利用靈敏的紅外線探測器吸收物體發出的紅外線，然後用電子儀器對接收到的信號進行處理，就可以知道被探測物體的特徵，例如在飛機或衛星上勘測地熱、尋找水源、監測森林火情、估計農作物的長勢和收成、預報熱帶風暴、寒潮等。這種技術統稱紅外線遙感技術。紅外線遙感技術還可用來進行遙控和自動控制等。

### (3) 可見光

可見光是眼睛看得見的電磁波，它有各種顏色。它的波長範圍在 $0.40\mu\text{m}$ 至 $0.66\mu\text{m}$ 之間。可見光是原子的外層電子受激而產生的。可見光可以使人類看見物體，從而衍生出許多與光有關的藝術。可見光也可以像無線電波那樣傳遞訊息，也可以發生光電作用，還可以產生化學的催化作用。

### (4) 紫外線

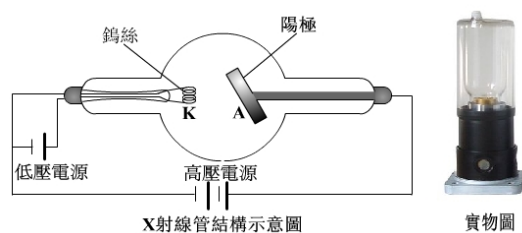
1801年德國物理學家裏特發現，如果在色散後的紫光的外側區域放一照相底片，底片就會感光。這說明紫光外則有一種看不見的射線，後來叫它為紫外線(ultraviolet ray)。紫外線的波長比紫光更短，它的範圍在  $0.001\mu\text{m}$ 至 $0.4\mu\text{m}$ 之間。紫外線是原子的外層電子受激發而產生的。一切高溫物體，如太陽、弧光燈，都會發出紫外線，實驗室裏常用的紫外光源是各種電火花或石英管汞弧燈。紫外線有較強的生化作用，化學反應的催化作用。人們常用它來殺菌，治療皮膚病等。

紫外線還有螢光作用，能使很多物體發出螢光。

#### (5) X射線

X射線又稱為X光或倫琴射線。1895年，德國物理學家倫琴(Wilhelm Konrad Rontgen)在研究陰極射線時發現了一種看不見的射線，它能使螢光物質發光，有很強的穿透本領，能使照相底片感光。因為當時人們還不瞭解它的性質，所以叫它為X射線。後來證實 X 射線是一種電磁波。後來為了紀念倫琴，就把它叫做倫琴射線。

X射線是原子的內層電子受激發而產生的。它的波長範圍大約為 $10^{-2}\mu\text{m}$ 至 $10^{-6}\mu\text{m}$ 。高速電子流射到某些固體上，就會產生X射線。X線管是用來產生X射線的一種裝置，構造如圖(一)所示。在真空度約為 $10^{-4}\text{ Pa}$ 的玻璃泡內，有一個陰極K和一個陽極A。陰極被加熱後能向周圍發射電子，在陽極和陰極之間加上幾萬伏的電壓，從陰極發射出來的電子受電場加速，以很大的速度衝擊陽極，陽極就會發出X射線。由於X射線穿透物質的本領較強，所以在工業上可以用來檢查金屬部件內部有沒有砂眼、裂紋等缺陷，在醫學上可以用來透視，檢查人體內的病變。在保安上用來檢查旅客行李，被X射線照射的行李，從螢光屏上可直接看出行李內有甚麼物品。



圖(一)

#### (6) $\gamma$ 射線

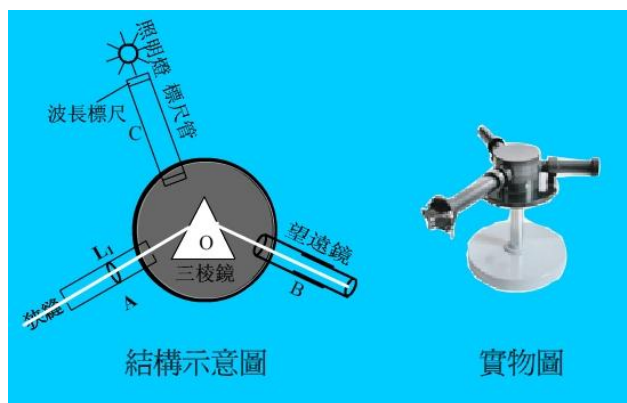
在研究天然放射性時發現了 $\gamma$ 射線。 $\gamma$ 射線是原子核受激發而產生的。它的波長範圍為 $10^{-5}\mu\text{m}$ 以下。 $\gamma$ 射線具有比X射線還要強的穿透能力，用 $\gamma$ 射線為金屬探傷的效果比X射線好。探測 $\gamma$ 射線有助天文學的研究。通過探測 $\gamma$ 射線能提供肉眼看不到的太空物體。在太空中產生的 $\gamma$ 射線是由恒星核心的核聚變產生的。因為 $\gamma$ 射線無法穿透地球大氣層，因此只能在太空中被探測到。太空中的 $\gamma$ 射線是在1967年由一顆名為維拉斯的人造衛星首次觀測到。從20世紀70年代初由不同人造衛星所探測到的 $\gamma$ 射線圖片，提供了很多此前並未發現到的恒星及可能的黑洞。90年代發射的人造衛星，提供了很多關於超新星、年輕星團、類星體等不同的天文信息。 $\gamma$ 射線照射到人體內部，會與體內細胞發生電離作用，產生的離子能侵蝕有機分子，如蛋白質、核酸和酶，它們都是構成活細胞組織的主要成份，一旦它們遭到破壞，就會導致人體內的正常生化過程受到干擾，嚴重的可以使細胞死亡，生命出現異常。軍事上的 $\gamma$ 射線彈的殺傷力很大，它對電子設備的破壞力也很大。因為它無需炸藥引爆所以有兩個突出的特點：一是貯存時很安全；二是即使在敵方上空爆炸也不易被覺察。

## 第四節 光譜

### 光譜

光譜是複色光通過色散系統(如光柵、稜鏡)進行分光後，依照光的波長(或頻率)的大小順次排列形成的圖案。根據光譜的形成條件，可分為發射光譜和吸收光譜兩類。

我們常用分光鏡來觀察和研究光譜，它的構造如圖(一)所示。分光鏡主要由平行光管A、三稜鏡O、望遠鏡B和標尺管C組成。平行光管A的前方有一寬度可調節的狹縫，位於透鏡 $L_1$ 的焦點平面處。射入的復色光經 $L_1$ 折射後，變成平行光射到三稜鏡O上，復色光中不同頻率的光經稜鏡折射後沿不同方向射出，再射入望遠鏡，從望遠鏡中就可以看到光譜的像。標尺被照亮後形成標尺的像，經三稜鏡折射到望遠鏡，用來測量光譜中光線的波長。通過望遠鏡筒的目鏡，就可看到放大的光譜的像。如果在目鏡的焦點平面處放上照相底片，就可攝下光譜的像。具有拍攝裝置的分光鏡叫做攝譜儀。



圖(一)

### 發射光譜

由物體直接發出的光產生的光譜叫做發射光譜，發射光譜又分為連續光譜和明線光譜兩種。

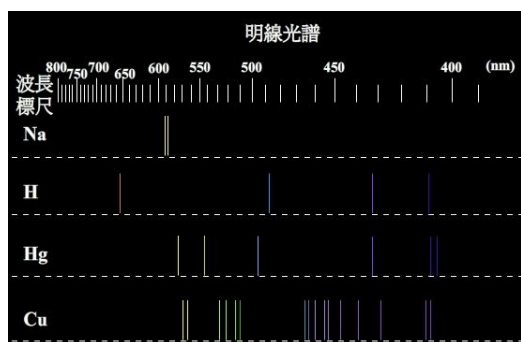
由連續分佈的包含該波段一切波長的光組成的光譜叫做連續光譜。如圖(二)所示。熾熱的固體、液體以及高壓氣體的光譜是連續光譜，例如白熾燈、燭焰、熾熱的鋼水、電弧等發出的光的光譜都是連續光譜。



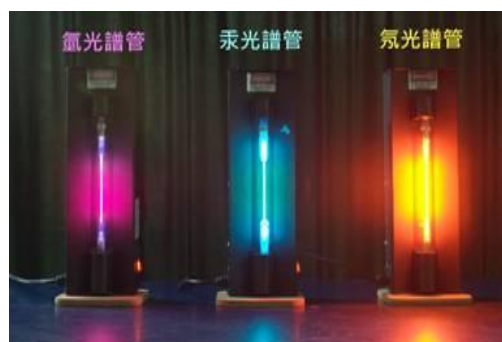
圖(二)

由一些不連續的亮線組成的光譜叫做明線光譜。圖(三)是鈉、氫、汞和銅的明線光譜。稀薄氣體放電、固態或液態物質被加熱而汽化所發出的光譜是明線光譜。觀察稀薄氣體的光譜，可以使用光譜管，光譜管如圖(四)所示，它是一支中間較細的封閉玻璃管，裏面裝有低壓氣體(約10mmHg)，管的兩端有兩個電極，

接在高壓電源上。氣體放電時，用分光鏡可以觀察到這種氣體的明線光譜。把鈉鹽放到煤氣燈的火焰中加熱，它們汽化時發出的光，也可用分光鏡觀察到明線光譜。



圖(三)

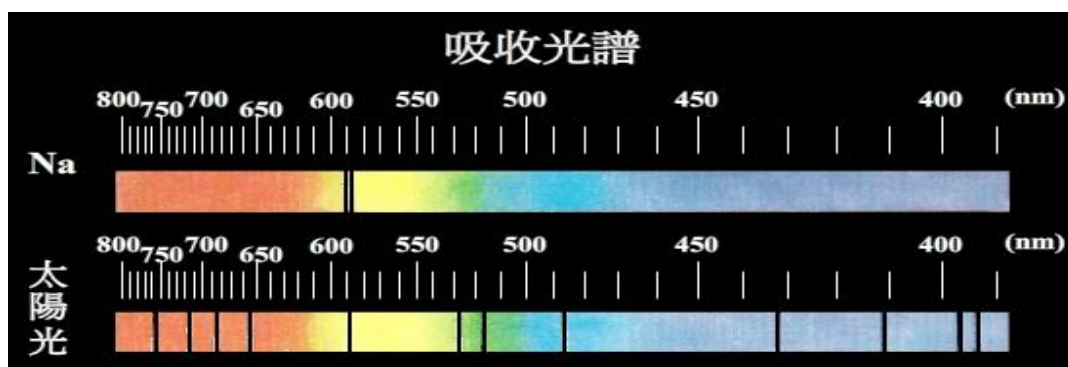


圖(四)

實驗證實，每種元素的原子都有特定的明線光譜，所以明線光譜又叫做原子光譜。因為每種元素的原子只能發出一系列不連續的具有特定波長的光譜線，這些譜線叫做元素的**特征譜線**。例如鈉的特征譜線是在黃光區域的波長為 $0.5890\ \mu\text{m}$ 和 $0.5896\ \mu\text{m}$ 的兩條譜線。又例如氫的特征譜線在可見光範圍內，是分別出現在紅光、藍光和紫光區域，波長分別為 $0.6562\ \mu\text{m}$ 、 $0.4861\ \mu\text{m}$ 、 $0.4340\ \mu\text{m}$ 和 $0.4101\ \mu\text{m}$ 的四條譜線，它們分別被稱為 $H_{\alpha}$ 、 $H_{\beta}$ 、 $H_{\gamma}$ 和 $H_{\delta}$ 。

### 吸收光譜

具有連續光譜的白光，通過溫度較光源低的氣體時，某些波長的光被氣體吸收後形成的光譜叫做吸收光譜，吸收光譜的圖樣是在連續光譜的背景上出現若干條黑線，這些黑線就是光線被吸收後形成的。圖(五)是鈉和太陽的吸收光譜。白光通過鈉蒸氣時，其中對應明線光譜的兩條黃光被吸收了，在光譜中顯示為黑色。太陽發出的光通過太陽外層的氣體時，因為有些光線被吸收了，所以在精細的太陽光譜上就會發現有許多黑線。在地球上採集的太陽光譜不是連續光譜，而是吸收光譜。實驗證實，各種原子的吸收光譜中的每一條黑線的波長都跟這種原子的發射光譜中的每一條亮線的波長一一對應。



圖(五)

## 光譜分析

由於每種元素都有它的特徵譜線，各種元素的特徵譜線中亮線(或黑線)的條數、波長都因元素的不同而不同，因此可以根據明線光譜或吸收光譜來鑒別物質，這種方法叫做光譜分析。用光譜分析的方法能非常靈敏地鑒別物質，可以確定被測物體由那些元素組成以及組成的比例。某種元素在物質中的含量只要 $10^{-13}\text{kg}$ ，就能把它鑒別出來。光譜分析在科學技術上有著廣泛的應用。通過對太陽光譜的分析，知道太陽大氣層裏至少含有氫、氧、鈉、鉀、鈣、鐵、鎳、鈷等66種元素。光譜分析還幫助人們發現了許多新元素，例如銣和銫就是從光譜中看到了以前所不知道的特徵譜線而發現的。對太空星體的光譜作光譜分析，可以使我們知道太空中的許多事物。

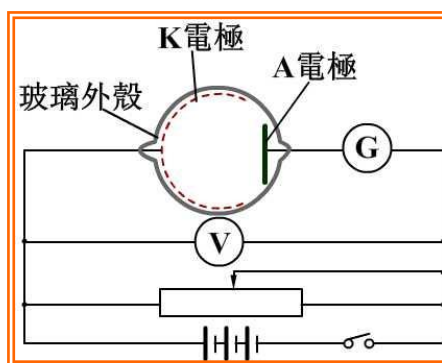
## 第二十九章 波的粒子性

### 第一節 光電效應

#### 光的本性

用一塊表面潔淨的金屬板和驗電器連接，用光線照射金屬板，驗電器的指針發生偏轉，由此可知金屬板帶了電。經過驗證，知道金屬板帶的是正電，這表明金屬板在光線的照射下釋放了電子。金屬及其化合物在光(包括不可見光)的照射下，釋放光電子的現象，叫做**光電效應**(Photoelectric effect)。釋放出的電子叫做**光電子**。光電子形成的電流叫做**光電流**。

對於光電效應的研究，可用光電管來進行，光電管的結構如右圖所示。光電管是一個真空的玻璃容器(或充有少量惰性氣體)，內有兩個電極 A 和 K，其中 A 為產生光電效應的金屬，K 是網狀的電極，靈敏電流計 G 能測出很小的電流，電壓表能測出光電管兩端的電壓。光電管 K 和 A 之間是真空的，如果光電管中的 K 沒有光電子發出，電路中就沒有電流，靈敏電流計 G 就不會有讀數。如果入射光能使 K 產生光電效應，光電子就從 A 出發到達 K，在電源的作用下形成電流。



#### 光電效應的特點

(1) 產生光效應的入射光必須大於一某個頻率，這個頻率叫做**極限頻率**，不同的金屬具有不同的極限率。極限頻率又稱為**紅限**。

下表為某些金屬的極限頻率。

金屬	銻	鈉	鋅	銀	鉑
$\nu_0/\text{Hz}$	$4.545 \times 10^{14}$	$6.000 \times 10^{14}$	$8.065 \times 10^{14}$	$1.153 \times 10^{15}$	$1.529 \times 10^{15}$
$\lambda_0/\mu\text{m}$	0.6600	0.5000	0.3720	0.2600	0.1962

(2) 大於極限頻率的光照射到金屬上，即時就能產生電效應。

從實驗中得知，如果入射光的頻率大於極限頻率，從光開始照射到釋放出光電子，所需時間小於  $3 \times 10^{-9}$  秒。

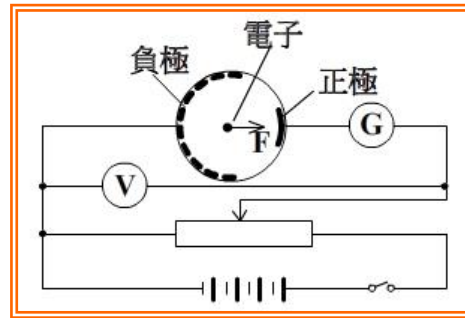
(3) 產生光電效應時，單位時間發出光電子數跟入射光的強度成正比，跟入射光的頻率無關。

加大光電管的電壓，電流會加大，當電壓加大到能把所有的光電子都吸引到正極，再加大電壓，光電流就不會再增加了，此時的電流為  $I_m$ 。設金屬發出的光電子數為  $n$ ，則光電子形成的電流為  $I_m = Q/t = ne/t$ 。由上式可得，單位時間發出的光電子數為  $n/t = I_m/e$ ，即光電流正比於單位時間發出的光子數。實驗證明，

電流正比於入射光的強度，跟入射光頻率無關。

(4) 光電子的最大初動能與入射光的強度無關，只隨著入射光頻率的增大而增大。

把光電管的電源極性倒轉，電場就會阻止光電子由 A 到達 K，光電子不能到達 A，電路中就沒有電流。用變阻器調節反向電壓，測得使電流從有剛好變為零的電壓為  $U$ ，這時具有最大初動能  $E_{km}$  的光電子即將到達 A 極時速度減為零，在這過程中電場力做功為  $W=Ue$ ，光電子的動能變化為



$\Delta E=E_{km}$ ，據動能定理可得光電子的最大初動能為  $E_{km}=Ue$ 。

### 光的波動性不能解釋光電效應

光電效應的第(1)、(2)、(4)特點無法用波動理論來解釋。

按波動理論，無論光的頻率如何，只要光的強度足夠大或照射時間足夠長，都能使光電子累積吸收到足夠的能量，脫離原子的束縛變為光電子，然而這一理論跟實驗結果矛盾。低於極限頻率的光，無論多強、照多久都無法產生光電子。

根據波動理論，入射光的能量是連續的，電子吸收光能需要一定時間，但實驗結果是，只要極板受到大於極限頻率的光照射，無論這光多麼弱，立即就有光電子釋放出來。理論與實驗不相符。

根據波動理論，光波的能量跟光的強度有關，光電子吸收了光束的能量之後，用一部分能量克服金屬的束縛，餘下的能量就是它的動能，它的初動能應與光的強度有關，與頻率無關。理論與實驗不相符。

光的干涉和衍射現象有力地證明了光的波動理是成立的，但光電效應的事實，又與波動理論相悖。光是波麼？

## 第二節 光子說

### 光子說

1900 年，德國物理學家普朗克 (Max Planck)，在研究電磁輻射的能量分佈時發現，只有認為電磁波的發射和吸收是不連續的，是一份一份地進行的，每一份的能量都等於  $h\nu$ ，理論計算結果才能跟實驗數據符合。這裏的  $\nu$  是光的頻率 ( $\nu$  希臘字母，讀作“紐”)， $h$  是一個常量，叫做**普朗克常量**。實驗測出  $h=6.63 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$ 。愛因斯坦 (Albert Einstein) 為了解釋光電效應，在普朗克的啟發下，於 1905 年提出，在空間傳播的光也不是連續的，而是一份一份的，每一份叫做一個光子。光子只能整個地被吸收或放出。

光子的能量跟它的頻率成正比，即：

$$E = h\nu。$$

光子的動量為：

$$p = h/\lambda。$$

以光子為理論基礎的學說叫做光子說。

### 光子說解釋光電效應

用光子說能完美地解釋光電效應。

#### (1)解釋極限頻率

當光子照射到金屬上時，一個電子只能吸一個光子，電子吸收光子的能量  $h\nu$  後，動能增加，如果動能足夠大，電子就能克服金屬的束縛，離開金屬表面逃逸出來，變為光電子。直接從金屬表面逸出的電子克服金屬離子的引力所做的功叫做逸出功，又叫做脫出功。逸出功是電子逸出金屬所需的最少能量，根據能量守恒定律有：

$$h\nu_0 = W。$$

上式的  $\nu_0$  就是極限頻率， $W$  是逸出功。因為不同金屬的逸出功不同，所以有不同的極限頻率。如果入射光子的頻率少於極限頻率，電子吸收了一個光子後也不夠能量脫離原子成為光電子。

#### (2)解釋即時性

電子不需要慢慢地吸收和積聚能量來克服金屬離子的束縛。那怕入射光多麼弱，大於極限頻率的光子射到金屬上，電子就可以立即吸收光子，立即逸出。

#### (3)解釋單位時間發出的光子數

對於一束能產生光電效應的光，光越強，單位時間射到金屬上的光子數就越多，能打出的光電子數就越多。

#### (4)解釋最大初動能

電子吸收了一個光子的能量  $h\nu$  後，有一部分能量用作克服金屬離子的束縛的逸出功  $W$ ，餘下的能量就是電子逸出的初動能和逸出的過程中損失的能量  $E'$ 。如果電子直接從金屬表面逸出，則  $E'$  為零，電子的初動能為最大初動能  $E_{km}$ 。根據能量守恒定律，這幾個量之間應有下面的關係：

$$h\nu = W + E_{km}。$$

每種金屬的逸出功是一定的，入射光的頻率高，打出的電子的最大初動能也越大。上述方程叫做愛因斯坦光電方程。

根據光電效應的事實和相關的理論，有足夠的事實和理由使我們相信，光是具有粒子性質的。

## 第三節 光的波粒二象性

### 光的波粒二象性

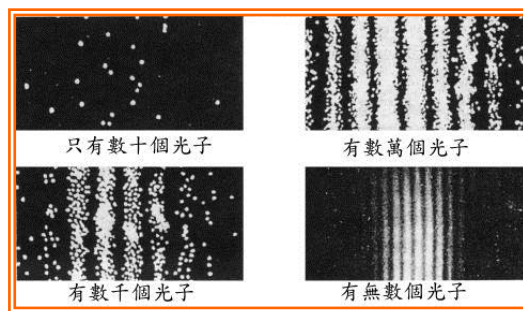
光的波動性和粒子性似乎是兩種排斥的觀點，隨着對

光的深入研究，認識到光具有波動性和粒子性的雙重性質，不是相互排斥，而是相互補充。

在光傳播時的干涉和衍射，是由波動性起決定作用；在光與物質相互作用時，是由粒子性起決定作用。光的粒子性有別於傳統的粒子觀念。

頻率較低的電磁波，它的波動性很明顯，而粒子性不明顯，頻率較高的電磁波，它的波動性不明顯，而粒子性明顯。例如無線電波，它有很明顯的干涉和衍射，但還未觀察到它的粒子性。又例如 $\gamma$ 射線，它的干涉和衍射現象不明顯，而它在與原子核作用時就表現出很強的粒子性。

觀察大量光子時，光子群體表現出來的是波動性；觀察個別光子時，光子並不表現波動性。如右圖所示。大量的光子通過狹縫時，我們會觀察到衍射條紋，這時粒子表現出波動性；讓很弱的光線通過狹縫的時間非常短，這時只有少量的光子通過狹縫，我們就觀不到衍射條紋，這時光子不顯示波動性。



光子與經典意義上的微粒在物理本質上是不同的，經典粒子的能量是連續的，其運動遵循牛頓力學的規律；而光子的能量是不連續的，僅由頻率決定，它不完全遵循牛頓力學規律。

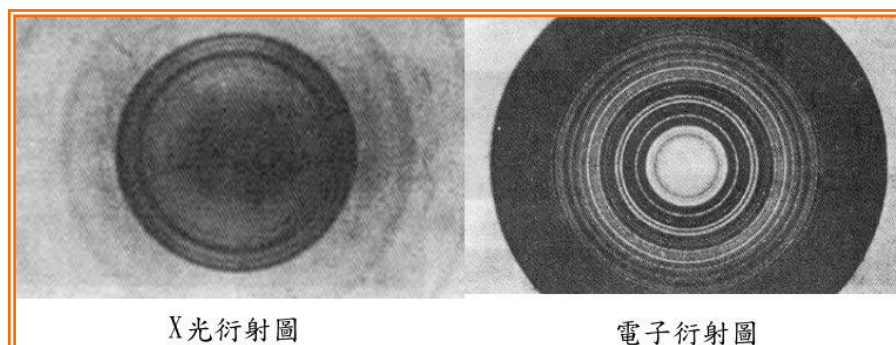
**物質波** 光波能表現出粒子性，那麼粒子能否表現出波動性呢？法國物理學家德布羅意(Louis Victor de Broglie)在1924年提出一個假說，他認為一切運動的物體，小到電子，大到星球都可表現為波，其波長為：

$$\lambda = h/mv。$$

上式中 $h$ 是普朗克常量， $m$ 是物體質量， $v$ 是速度，這個公式叫做德布羅意公式。這種波叫做**物質波**，又叫做**德布羅意波**。

1g的物體以1m/s的速度運動時，它波長為 $6.63 \times 10^{-31} \text{m}$ 。宏觀物體的波長太短了，我們是難以觀察得到的，目前我們只能觀察得到微觀粒子的波。

1927年美國的大衛森(Davisson, C.J.)和傑爾麥(Germer, L.H.)用電子衍射實驗證實了電子的波動性。由於電子的波長與X射線的波長( $\lambda=10^{-12} \sim 10^{-8} \text{m}$ )相近，用電子束代替X射線通過衍射光柵，就會出現類似X射線的衍射圖樣，如下圖所示，實驗結果證明電子流如同X射線一樣具有波動性。實驗測出了電子的波長，測量值跟用德布羅依公式算出的值一致，實驗證明德布羅依的預言是正確的。



獲獎作品

### 量子力學簡介

量子力學是研究微觀粒子運動的物理學分支學科。量子力學是在舊量子論的基礎上發展起來的。舊量子論包括普朗克的量子假說、愛因斯坦的光量子理論和玻爾的原子理論。

量子力學所描繪的微觀粒子運動跟宏觀粒子的運動有巨大的分別，微觀粒子有許多怪異、有趣的表現。有趣表現一，如果我們能準確測出粒子的位置，就不能準確測出它的動量，反之亦然。有趣表現二，物體下一時刻在哪裡出現，我們是無法準確計算的，只能用波函數預測它在哪裡出現的幾率(可能性)。有趣表現三，微觀粒子都能表現出波動性和粒子性。

當粒子的大小由微觀過渡到宏觀時，它所遵循的規律也由量子力學過渡到經典力學。

## 第三十章 原子結構

### 第一節 湯姆森之提子蛋糕式原子

#### 原子釋出電子

較早以前大家都認同，原子是組成物質的最小微粒，原子是不可分割的。然而科學的進步，卻又一次改變了人們的看法。

19世紀後半期，科學家發現高電壓下的陰極會發射出一種未知的射線，這種射線被稱為陰極射線。英國科學家湯姆生(oseph **John Thomson**)對陰極射線進行了認真的研究，確認陰極射線是一種比氫原子質量少很多的粒子，這種粒子帶負電，所帶電量跟氫離子差不多。後來人們把這種粒子叫做**電子**。

因為電子的質量大約只有氫原子的二千分之一，電子帶有負電，所以電子應該是比原子更細小的東西。湯姆生認為電子應該是原子的組成部分，原子不是不可分割的，它可能有更精細的結構。

#### 湯姆生式原子

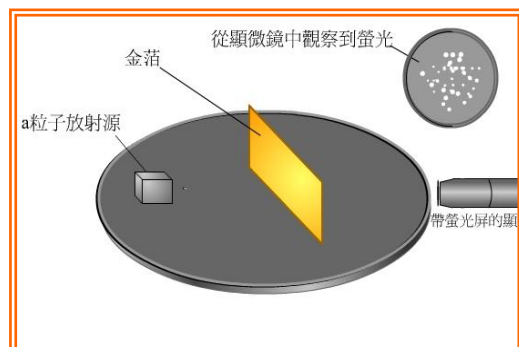
湯姆生根據電子的事實和  $\alpha$  粒子能幾乎不受阻礙地穿過很薄的金箔的實驗結果，對原子的結構提出了以下的模型。原子是一個球體，鬆軟的正電荷均勻地分佈在整個球體內，電子鑲嵌在原子中振動。有人稱這樣的原子為**提子面包模型**原子，原子中帶正電的物質就是面包，電子就是面包裡的提子；也有人稱這樣的原子為**棗糕模型**原子，原子中的正電物質就是糕，電子就是棗子。電子振動時發射電磁波，每種原子都有自己特的振動，所以，每種原有自己特定的原子光譜。因湯姆生的這種假設能解釋不少物理現象，所以在當時，提子面包式原子的假設獲得了較多人的認同。

### 第二節 盧瑟福之核式原子

#### 盧瑟福散射實驗

英國物理學家盧瑟福(Ernest Rutherford)在 1909 年至 1911 年，指導合作者們做了一項著名的  $\alpha$  粒子的散射實驗，獲得了重大的發現。

實驗的方法如下：在真空中，一個盛有放射性元素鈾的小鉛盒，小鉛盒的小孔射出一束很細的沿直線的  $\alpha$  粒子打到金箔上，在顯微鏡的物鏡前面放一螢光屏， $\alpha$  粒子打到螢光屏上產生的閃光就可



微鏡上觀察得到，有閃光就說明有  $\alpha$  粒子到達。螢光屏和顯微鏡可繞金箔轉動一圈。實驗表明：顯微鏡在  $\alpha$  粒子直線前進的方向上觀察到很多閃光，這說明絕大多數  $\alpha$  粒子穿過金箔後仍直線前進打到顯微鏡的螢光屏上；顯微鏡轉動了較小角度，也能觀到不少的閃光，這說明有少數  $\alpha$  粒子發生了小角度的偏轉；但顯微鏡轉動了較大角度，甚至在反方向上仍能觀到閃光，這說明有極少數  $\alpha$  粒子發生了大角度偏轉，甚至乎有個別  $\alpha$  粒子是反彈回去。

### 盧瑟福核式原子

按湯姆生的原子模型， $\alpha$  粒子打到鬆軟的原子上應該是直線運動的，即使碰上電子也不絕對不會發生大角度散射和反射，即湯姆生的原子模型與事實不相符。

那麼，原子應該有麼樣的結構呢？盧瑟福提出了以下的模型：原子把自己的質量和正電都集合到一個很小很小的、很堅實的核，電子圍繞着核作圓周運動，核和電子之間的庫侖力剛好就是作圓周運動的向心力。盧瑟福所說的原子結構被稱為**核式模型結構**，其中的核就叫做**原子核**。

從  $\alpha$  粒子散射實驗的數據估算出原子直徑的數量級為  $10^{-10}\text{m}$ ，原子核直徑的數量級為  $10^{-14}\text{m}$  至  $10^{-15}\text{m}$ 。如果把原子核比作一個網球那麼大，原子大約就是鳥巢運動場那麼大，電子就大約是綠豆那麼大。把原子放大之後，就會發現原子內部是非常之空蕩蕩的。

$\alpha$  粒子發生大角度散射，是因為原子核是很小很小的，原子內顯得空蕩蕩， $\alpha$  粒子射來時，如入無人之境，直來直去不會偏轉，只有很少量的  $\alpha$  粒子走近原子核，原子核和  $\alpha$  粒子都帶正電，它們之間的庫侖力使  $\alpha$  粒子發生偏轉，個別的  $\alpha$  粒子幾乎正對着核撞去，這樣就出現了反彈的現象。

**例 1** 已知氫原子的半徑是  $0.53 \times 10^{-10}\text{m}$ ，靜電力恒量  $K=9 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ ，電子電量  $e=-1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ ，質量  $m=9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$ ，氫核的質量  $M=1.67 \times 10^{-27}\text{kg}$ ，萬有引力恒量  $G=6.67 \times 10^{-11}\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ，按盧瑟福原子模型，電子繞核做圓周運動的速度多大？頻率多大？電子與核之間的庫侖力多大？萬有引力多大？

**解**  $F=ke^2/r^2=9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2 / (0.53 \times 10^{-10})^2 = 8.2 \times 10^{-8}(\text{N})$

$$F'=GMm/r^2$$

$$=6.67 \times 10^{-11} \times 1.67 \times 10^{-27} \times 9.1 \times 10^{-31} / (0.53 \times 10^{-10})^2 = 3.6 \times 10^{-47}(\text{N})$$

$$v=(Fr/m)^{1/2}=(8.2 \times 10^{-8} \times 0.53 \times 10^{-10} / 1.67 \times 10^{-27})^{1/2}=5.1 \times 10^4(\text{m/s})$$

$$f=v/2\pi r=5.1 \times 10^4 / 2 \times 3.14 \times 0.53 \times 10^{-10}=1.53 \times 10^6(\text{Hz})$$

**答：** 電子繞核做圓周運動的速度  $v=5.1 \times 10^4(\text{m/s})$ ；頻率  $f=1.53 \times 10^6(\text{Hz})$ ；電子與核之間的庫侖力為  $8.2 \times 10^{-8}\text{N}$ ；萬有引力為  $3.6 \times 10^{-47}\text{N}$ 。

**例二** 試估計氫原子核的密度(取兩位有效數字)。

已知  $r=1.0 \times 10^{-15}\text{m}$ ， $M=1.67 \times 10^{-27}\text{kg}$ ，

求 氫原子核的密度  $\rho$  ？

解 設氫原子核為球體，其體積為：

$$V=4\pi r^3/3=4*3.14(1.0*10^{-15})^3/3=4.17*10^{-45}(\text{m}^3)$$

氫原子核的密度為：

$$\rho=M/V=1.67*10^{-27}/4.17*10^{-45}=4.0*10^{18}(\text{kg}/\text{m}^3)$$

答：氫原子核的密度大小為  $4.0*10^{18}(\text{kg}/\text{m}^3)$ 。

### 第三節 玻爾原子理論

#### 盧瑟福原子模型的缺陷

核式結構能夠成功地解釋  $\alpha$  粒子的散射現象，卻不能解釋電磁輻射的問題。按經典電磁理論，電子繞原子核運動時會輻射電磁波，它的能量就會不斷減少，運動的半徑和頻率也會連續地減少，最後撞向原子核。原子向外輻射電磁波的頻率等於電子繞原子核運動的頻率，原子該發出連續光譜。但事實上原子發出的是明線光譜，原子是穩定的，電子都不會撞向原子核。盧瑟福的核式結構學說能成功地解釋  $\alpha$  粒子的散射現象，但卻與經典的電磁理論發生了矛盾。

誰是、誰非？

#### 玻爾的原子理論

具有高瞻遠矚眼光的丹麥青年物理學家玻爾認為，從宏觀總結出來的經典電磁理論不適用於像原子這樣小的微觀現象。為了解決上述矛盾，玻爾把普朗克的量子理論運用到核式結構的原子系統上，提出了新的原子理論。玻爾原子理論的主要內容是如下的三個假設：

一、原子只能處於一系列不連續的狀態中，在這些狀態中的原子是穩定的，電子雖然做加速運動，但並不向外輻射能量。這些狀態叫做**定態**。

二、原子從一個定態(設能量為  $E_{初}$ )躍遷到另一個定態(設能量為  $E_{末}$ )時，它輻射或吸收光子，光子的能量等於這兩個能級的差，即：

$$h\nu=hC/\lambda_{空}=|E_{初}-E_{末}|$$

三、電子繞原子核做圓周運動的軌道半徑不是任意的，只有滿足以下條件的半徑才有可能：

$$mvr=nh/2\pi \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

上式中  $m$  是電子的質量， $v$  是電子繞原子核運動的速度， $r$  是電子運動的半徑， $mvr$  稱為電子的角動量或動量矩， $h$  是普朗克常數量， $n$  叫做**量子數**。

#### 氫原子電子的軌道半徑

電子做圓周運動所需的向心力為電子與原子核之間的庫侖力。設電子處於第  $n$  條軌道，軌道半徑為  $r_n$ ，速度為  $v_n$ ，根據玻爾理論的軌道化條件有：

$$mv_n^2/r_n=ke^2/r_n^2 \quad (1)$$

$$mv_nr_n=nh/2\pi \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

由(1)和(2)得：

$$r_n = n^2 h^2 / m e^2 \quad (n=1, 2, 3\dots) \quad (3)$$

當  $n=1$  時，有：

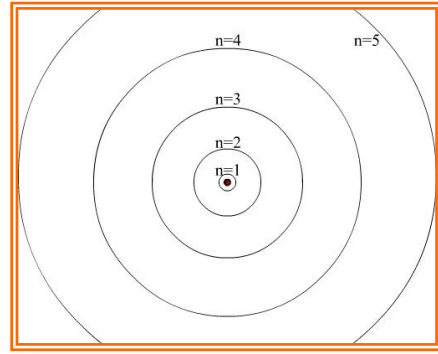
$$r_1 = h^2 / m e^2 = 5.31 \times 10^{-11} (\text{m}) \quad (4)$$

由(3)和(4)得：

$$r_n = n^2 r_1 \quad (n=1, 2, 3\dots)$$

上式為氫原子的電子軌道半徑公式。

右圖是氫原子的半徑示意圖。



### 氫原子的能級

當電子在第  $n$  條軌道上運動時，原子系統的總能量  $E_n$  叫做第  $n$  條軌道的能級值，其值等於電子繞核轉動時的動能與電子與原子的電勢能的代數和。由  $mv_n^2/r_n = ke^2/r_n^2$ ，得  $E_k = ke^2/2r_n$ 。電子的電勢能為  $-ke^2/r_n$ 。即  $E_n = ke^2/2r_n - ke^2/r_n$ 。得：

$$E_n = -ke^2/2r_n \quad (n=1, 2, 3\dots)$$

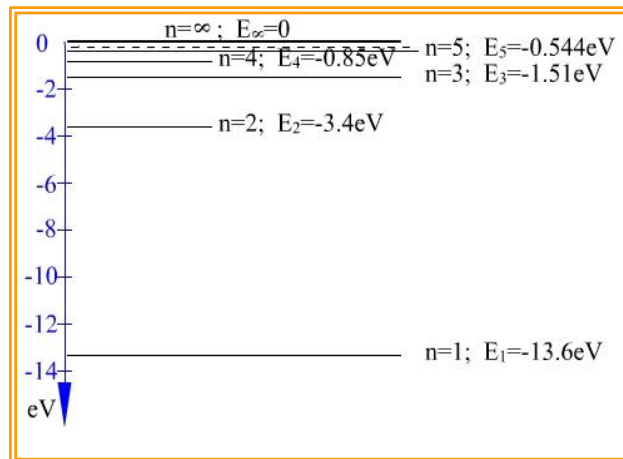
當  $n$  取 1 時，有： $E_1 = -ke^2/2r_1 = -13.6(\text{eV})$ 。由上式得：

$$E_n = E_1/n^2 \quad (n=1, 2, 3\dots)$$

上式為氫原子的能級公式。

氫原子的每一個定態都對應着一個能量值(能級)和一條電子軌道。 $n=\infty$ 時能量最大( $E_\infty=0$ )，原子變為離子。氫原子的能量為負值， $n=1$ 時能量最少。 $n=1$ 的狀態稱為**基態**， $n=2,3,4,5\dots$ 的狀態稱為**激發態**。基態是最穩定的，處於激發態的原子都會重回基態。

右圖為氫原子的能級圖。虛線代表省略了的能級，兩條直線之間的距離表示這兩個能級的差值。



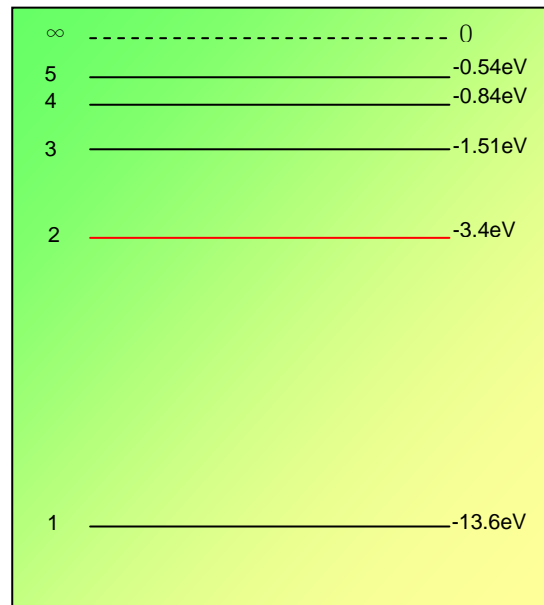
## 第四節 對氫光譜的解釋

### 氫原子的吸收躍遷

氫原子吸收光子後可以從所在的能級躍遷到能量較高的能級，每一次躍遷只能吸收一個光子。如果原子從較低的能量  $E_N$  躍遷到較高的能量  $E_M$ ，則吸收光子的能量  $h\nu$  應滿足：

$$h\nu = hc/\lambda = E_M - E_N。$$

原子向上躍遷時，只能吸收能量剛好等於較高能級與本能級的差的光子。例如，氫原子處於第 2 能級( $E_2 = -3.4\text{eV}$ )，它可以吸收  $2.56\text{eV}$  的光子然後躍到第 4 能級，這是因為  $E_4 - E_2 = 2.56\text{eV}$ 。它是不能吸收能量為  $2.5\text{eV}$  的光子的，這是因為大於第 2 能級的能級跟第 2 能級的差都不可能等於  $2.5\text{eV}$ 。



氫原子也可以吸收能量大於它所在能級的絕對值的光子。例如第 2 能級的原子可以吸收能量大  $3.4\text{eV}$  的光子。吸收了這樣的光子後，電子就會脫離氫原子，氫原子就會變成離子。

吸收了的光子能量  $h\nu$ ，一部分用於電子克服氫原子的束縛，這部分能量等於從所在能級  $N$  跳到無窮能級所需的能量  $E = E_\infty - E_N = -E_N$ 。餘下部分成為電子逸出的動能。

$$mv^2/2 = h\nu + E_N。$$

例如氫原子處於第 1 能級( $E_1 = -13.6\text{eV}$ )，它吸收了能量為  $15.6\text{eV}$  的光子，它的電子就會脫離原子，電子逃脫的初動能為： $mv^2/2 = h\nu + E_1 = 15.6 - 13.6 = 2(\text{eV})$ 。

### 氫原子的輻射躍遷

氫原子從所在能級躍遷到較低能級時，會放出一個光子。氫原子從能量較大的第  $M$  能級躍遷到能量較少的第  $N$  能級時放出的光子，其能量有以下關係：

$$h\nu = hc/\lambda_{\text{真空}} = E_M - E_N。$$

氫原子從激發態向基態躍遷的過程中可以選擇多種途徑，所以會輻射出一種或多種光子。

氫原子從第  $n$  能級向基態躍遷，可能輻射出  $N$  種光子，

$$N = n(n-1)/2。$$

氫原子從第  $n$  能級向基態躍遷，最多能輻射光子數目為：

$$N' = n-1。$$

例一 氫原子在  $n=5$  的能級，求能放出的電磁波的最長波長。

解 這氫原子從第 5 能級躍遷到第 4 能級時，放出的光子的能量最少，波長最長，所以有：

$$\begin{aligned} \lambda &= hc/(E_5 - E_4) = hc/(E_1/5^2 - E_1/4^2) \\ &= 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 / (-13.6/5^2 - (-13.6/4^2)) \times 1.6 \times 10^{-19} \\ &= 4.06 \times 10^{-6}(\text{m}) \end{aligned}$$

答：能放出的電磁波的最長波長為  $\lambda=4.06 \times 10^{-6}(\text{m})$

例二 一個氫原子在  $n=10$  的能級，可能放出少種多少種光子？最多能放出多少個光子？一群氫原子都在  $n=10$  的能級時，可能放出少種多少種光子？最多能放出多少種光子？

解 一個氫原子在  $n=10$  的能級能放出光子的種類數為：

$$N=10 \times 9 / 2 = 45(\text{種})$$

一個氫原子在  $n=10$  的能級最多能放出光子數為：

$$M=10-1=9(\text{個})$$

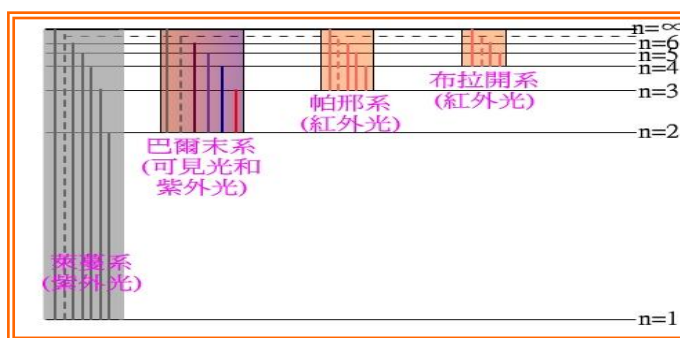
答：每一個氫原子在  $n=10$  能級時，可能放出 45 種光子，最多能放出 9 個光子。因為，一群氫原子有很多很多個，各原子都會放出不盡相同的多種光子，很多很多種集合在一起，45 種的可能性都能實現，所以，一群氫原子都在  $n=10$  的能級時，最多能放出 45 種光子。

### 氫原子光譜

氫原子從激發態躍遷到基態的過程中可能放出很多種光子，分析起來頗感紊亂，把它們分類之後就會變得有條理。

譜線系	躍遷	電磁波屬性	備注
萊曼系	從 $n > 1$ 的各能級至 $n=1$ 能級	紫外線	內層電子躍遷
巴爾末系	從 $n > 2$ 的各能級至 $n=2$ 能級	可見光( $H_{\alpha}$ 、 $H_{\beta}$ 、 $H_{\gamma}$ 、 $H_{\delta}$ )和紫外線	
帕邢系	從 $n > 3$ 的各能級至 $n=3$ 能級	紅外線	外層電子躍遷
布拉開系	從 $n > 4$ 的各能級至 $n=4$ 能級	紅外線	外層電子躍遷

右圖是氫原子光譜系列圖



## 第五節 量子力學式原子

### 量子力學簡介

玻爾的原子模型在解釋氫原子光譜上獲得了重大的成

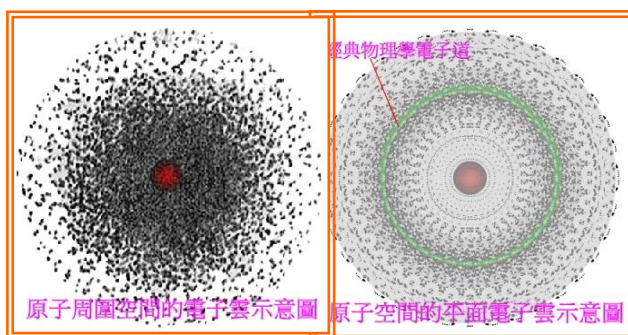
功，但在解釋比較複雜的原子的光譜時卻碰到了很大的困難。這是因為他在解釋核外電子的運動時，暨引入了量子化的觀念，又應用了“軌道”和牛頓第運動定律等經典力學的概念，實際上牛頓力學在微觀領域是不適用的。因此，除了氫光譜之外，玻爾理論在其他問題上遇到了很大的困難。20 世紀 20 年代誕生了量子力學。量子力學以全新的觀念闡明了微觀世界的基本規律，在涉及微觀運動的各個領域都獲得了巨大的成功。

### 電子雲

電子雲是量子力學對電子在核外空間運動方式的形象描繪。電子有波粒二象性，它不像宏觀物體的運動那樣有確定的軌道，不可能畫出它的運動軌跡。我們不能預言它在某一時刻會出現在核外空間的哪個

地方，只能知道它在某處出現的機會有多少。用小黑點的疏密來表示單位體積內電子出現的幾率(即幾率密度的大小)，小黑點密處表示電子出現的幾率密度大，小黑點疏處電子出現的幾率密度小。因為這些小黑點看上去好像一片雲狀物籠罩在原子核周圍，所以叫電子雲。用量子力學計算出電子在核外空間出現幾率最大的地方，剛好是經典物理學所算出的電子軌道。

山重水復疑無路，柳暗花明又一村。人類對自然的認識是沒有盡頭的，宇宙之外可能還有宇宙，原子之內原來也有“宇宙”。科學研究能夠使人類的認識一步一地接近事實的真相。



## 第三十一章 原子核

### 第一節 天然放射現象

#### 天然放射現象

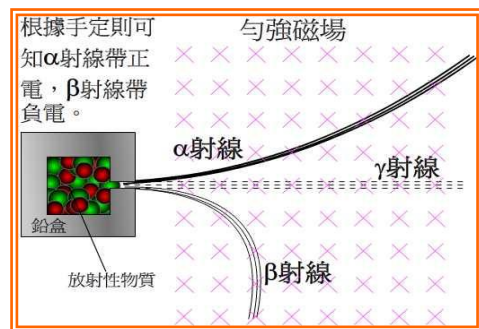
據推測，宇宙的直徑大於一百億光年，而原子的半徑只有大約  $10^{-10}\text{m}$  那麼小，在這麼小的空間裡居然還有着星系一樣的天地，大自然之奇妙着實令我們驚嘆不已！我們知道，在原子中還有一個半徑只有約為  $10^{-15}\text{m}$  的原子核，然而在這如此細微的原子核中還大有乾坤呢？原子核內的奇妙世界更你令瞠目結舌，下面讓我們一起來窺探原子核的內裏乾坤吧。

1896 年法國物理學家貝克勒耳(Becquerel)發現，鈾和含鈾的礦物能發出一些看不見的射線，這些射線能穿透黑紙使照相底片感光，物質發射這種射線的性質叫做**放射性**。具有放射性的元素，叫做**放射性元素**。

在貝克勒耳的建議下，居里夫婦對鈾礦進行了深入的研究，發現了兩種放射更強的元素釷(Po)和鐳(Ra)。

#### 三種射線

鈾、釷、鐳放出的射線到底是甚麼呢？把這些射線以垂直於磁場的方向射入勻強磁中，發現這些射線分成了三束，其中一束不發生偏轉，另外兩束則發生了反向的偏轉。由上述實驗可知，這些射線可分為三種不同的東西，不發生偏轉的射線是不帶電的，發生偏轉的那兩束射線，一束是帶正電的，另一束是帶負電的。我們把不帶電的稱為  $\gamma$  射線，把帶正電的稱為  $\alpha$  射線，把帶負電的稱為  $\beta$  射線。經實驗研究証實， $\gamma$  射線是由光子組成的， $\alpha$  射線是由氦原子核組成的， $\beta$  射線是由電子組成的。



$\gamma$  射線是一種頻率比 X 光還高的電磁波。它的穿透力很強，能貫穿幾厘米厚的鉛板，在空氣中的射程約幾百米，一塊 80 毫米厚的鉛板能把  $\gamma$  射線減弱 90%。它的電離能力很弱，只有直接射中分子中的電子時，才可能產生離子。

$\alpha$  射線是帶正電的高速氦核流。初速度約為  $3 \cdot 10^7\text{m/s}$ 。它的穿透力很弱，在空氣中的射程大約僅為 5 厘米，只能射穿一張薄紙。它的電離能力很強，每厘米的路程能產生約  $10^5$  對離子。

$\beta$  射線是帶負電的極高速的電子流。速度約為  $2.7 \cdot 10^8\text{m/s}$ 。它的穿透力較強，在空氣中的射程大約為幾米，能貫穿紙板或 5 毫米厚的鋁板。它的電離能力較弱，每厘米的路程能產生約  $10^3$  對離子。

### 射線粒子和原子核符號

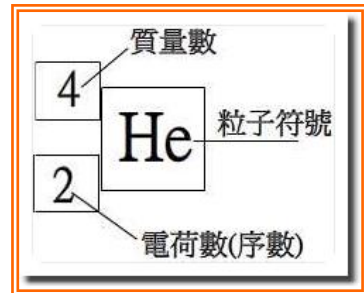
電子的符號記為 “ ${}_{-1}^0e$ ”。

光子的符號記為  $\gamma$  或 “ ${}^0_0\gamma$ ”。

$\alpha$  粒子的符號記為 “ ${}^4_2He$ ”

鈾原子核的符號記為 “ ${}^{238}_{92}U$ ”。也可寫為 “ ${}^{238}U$ ” 或 “U238” 或 “鈾 238”。

粒子符號的左上角數字稱為質量數。符號左下角的數字表示粒子所帶電量是數倍於  $e$ ，也是原子核所屬同類元素在元素周期表中的序數，稱為電荷數。電子的質量很小，光子的靜止質量為零，所以它們的質量數為零。電子帶的電量為  $-1e$ ，所以它的電荷數為  $-1$ ，氦核帶的電量為  $2e$ ，所以它的電荷數為  $2$ ，它的電荷數也是它在元素周期表上的序數。光子不帶電所以它的電荷數為  $0$ 。

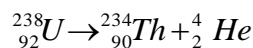


### 放射性元素的衰變

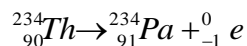
原子序數大於  $83$  的天然存在的元素，它們的原子核都是不穩定的，都會自然地放出射線。原子序數小於  $83$  的天然存在的元素，也有一些是會放出射線的。天然存在的原子核的放射現象叫做天然放射現象。

原子核放天然地出  $\alpha$  粒子或  $\beta$  粒子以後，生成另一種原子核，這種現象叫做**原子核的衰變**，也叫做**蛻變**。放出  $\alpha$  粒子的稱為  $\alpha$  衰變，放出  $\beta$  粒子的稱為  $\beta$  衰變。衰變時會伴隨放出  $\gamma$  射線。例如  ${}^{238}_{92}U$  作  $\alpha$  衰變，它放出一個  $\alpha$  粒子之後，就變成了  ${}^{234}_{90}Th$  (釷)；生成的  ${}^{234}_{90}Th$  是不穩定的，它要作  $\beta$  衰變，它放出一個  $\beta$  粒子之後，就變成了  ${}^{234}_{91}Pa$  (鐳)。

原子核的衰變可以用方程來表示。鈾的  $\alpha$  衰變可用下面的方程來表示：



釷的  $\beta$  衰變可用以下的方程來表示：

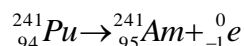


衰變時質量數和電荷數的變化規律

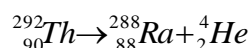
- (1) 原子核作  $\alpha$  衰變時，新核的質量數比舊核少  $4$ ，新核的電荷數比舊核少  $2$ 。
- (2) 原子核作  $\beta$  衰變時，新核的質量數跟舊核一樣，新核的電荷數比舊核多  $1$ 。
- (3) 核反應方程兩邊的總質量數相等，總電荷數相等。

例一 寫出釷 241 的  $\beta$  衰變方程和釷 229 的  $\alpha$  衰變方程。

解 釷的質量數為 241，查元素周期表得它的電荷數為 94。 $\beta$  衰變後，產生的新核的質量數是不變的，序數(電荷數)應為  $94+1=95$ ，查元素周期表，序數為 95 的元素是錒(Am)。衰變方程式為



釷的質量數為 229，查元素周期表得它的電荷數為 90。 $\alpha$  衰變後，產生的新核的質量數為  $229-4=225$ ，序數(電荷數)應為  $90-2=88$ ，查元素周期表，序數為 88 的元素是釷(Ra)。衰變方程式為



例二  ${}_{92}^{238}\text{U}$  經過多少次  $\alpha$  衰變和  $\beta$  衰變之後變成  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  ？

解 設經歷  $\alpha$  衰變的次數為  $n$ ， $\beta$  衰變的次數為  $m$ 。因為每次  $\beta$  衰變都使電荷數加 1，而質量數不變；每次  $\alpha$  衰變都使電荷數減 2，質量減 4。所以有

$$206=238-4n$$

$$82=92+m-2n$$

由上兩式得： $n=8$ ； $m=6$

答：要經過 8 次  $\alpha$  衰變和 6 次  $\beta$  衰變。

### 半衰期

放射性元素衰變的速度有一個很古怪的規律。物體內的放射性原子多的時候，衰變得快一些，即每秒衰變的原子多一些；物體內的放射性原子少的時候，衰變得慢一些，即每秒衰變的原子少一些。每衰變物體內一半的放射性原子所需的時間都相同。這個時間叫做半衰期。

每一種放射性元素都有一定的半衰期，不同的放射性元素的半衰期都不同。例如釷 214 的半衰期為 0.00164 秒，氡 222 的半衰期為 3.8 天，釷 226 的半衰期是 1620 年，碳 14 的半衰期為 5600 年。鈾 238 的半衰期竟長達  $4.5 \times 10^9$  年。

放射性元素衰變的快慢是由原子核內部的因素決定，跟原子所處的物理環境和化學環境無關。例如某放射性原子，不管它所處的溫度、壓力如何，不管它是以單質或化合物的形式存在，都不會影響它的半衰期。

物體內含放射性原子的質量為  $M_0$ ，經過了  $N$  個半衰期後剩下的該種原子的質量為  $M_N$ ，則：

$$M_N = M_0 / 2^N。$$

如果半衰期用  $T$  表示， $t$  表示衰變的時間。則：

$$N = t / T。$$

例三 一塊含有放射性的物體，放射性元素的半衰期為 15 天，經過多少天這塊物體內的放射性物質的  $7/8$  被衰變掉？

已知  $T=15D$   $M_N=M_0/8$

求 衰變時間  $t$

解 因為  $M_N=M_0/2^N$

即有  $M_0/8=M_0/2^N$

得  $N=3$

因為  $N=t/T$

則有  $3=t/15$

得  $t=45D$

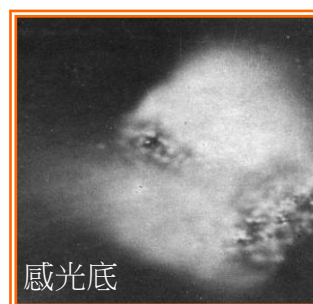
答：經過 45 天，會有  $7/8$  的放射性物質被衰變掉。

## 第二節 探測放射線的方法

$\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  射線是一些看不見、摸不着的東西，哪麼我們是怎樣認識它們的呢？我們是通過一些儀器和實驗來揭示它們的廬山真面目的。下面介紹三種簡單而常用的探測方法。

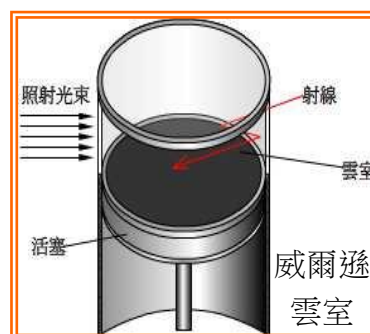
### 感光照相技

放射線能夠使照相底片感光，把被射線照射的底片沖洗後，底片上就會出現一連串的黑點顯示出粒子的徑迹。用顯微鏡來觀看這些徑迹，根據徑迹的粗細、長短和形狀，可以推斷組成射線的粒子的種類、性質和能量。



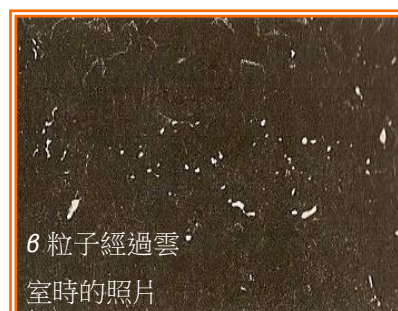
### 威爾遜雲室

威爾遜雲室內充有一些過飽和的蒸汽，這些蒸汽是無色透明的。當有粒子飛過雲室時，粒子使沿途的氣體分子電離，過飽和的蒸氣就會在這些離子的周圍凝結為霧，所以，粒子經過雲室，就會在其徑迹處出現一條霧迹。把這些徑迹拍攝下來，就可以對射線進行研究。



圖(一)是  $\alpha$  粒子經過雲室時的照片， $\alpha$  粒子質量較

大，在氣體中進時不易改變方向，它的電離能力強，能產生較多的霧，所以它的徑迹直而粗。圖(二)是  $\beta$  粒子經過雲室時的照片， $\beta$  粒子質量較小，在氣體中

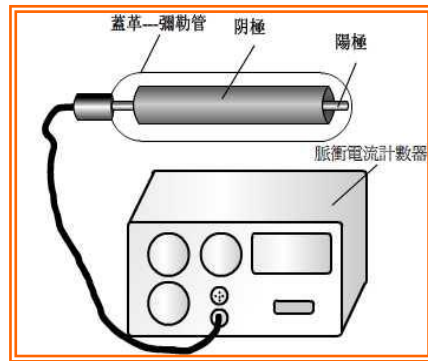


進時很容易改變方向，它的電離能力弱，產生的霧較少，所以它的徑迹曲折而細

小。

### 蓋革—彌勒計數器

蓋革—彌勒計數器 (GM 計數器) 是一種探測輻射的靈敏儀器。它由蓋革—彌勒管和脈衝電流計數器組成。當射線的粒子進入蓋革—彌勒管時，使管內的氣體產生電離，從而在管內的高壓電極之間產生一次放電，脈衝電流計數器會計算放電的次數，根據單位時間內的放電次數，就可知輻射的強弱。蓋革—彌勒計數器的量度速率很高，在 1 秒內可記錄 5000 次放電。



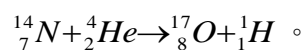
## 第三節 原子核的人工轉變和原子核的組成

### 原子核的人工轉變

人為地用高能量的粒子去撞擊原子核，也能使原子核發生變化，這種核變化叫做人工核轉變，又稱為核嬗變。1919 年，盧瑟福做了一個用  $\alpha$  粒子轟擊氮原子核的實驗，得出了重大的發現，開創了原子核人工轉變的先河。在實驗中， $\alpha$  粒子轟擊氮核，從氮核裡打出氫核，氮核變成了氧核。氫原子核又叫做質子。質子的符號是  ${}^1_1\text{H}$  或  ${}^1_1\text{P}$ 。

### 核反應方程式

在盧瑟福的實驗中， $\alpha$  粒子撞擊氮原子核，氮原子核放出一個質子而變成氧原子核。實驗中，原子核的變化可用以下的方程式來表示：



上式形式的方程式稱為核反應方程式。請注意，核反應方程式兩邊的質量數之和相等，電荷數之和也是相等的。

**例** 用質子轟擊  $\text{F}19$ ， $\text{F}19$  放出一個氫核之後變成了另一個新的核，這個新核是甚麼？寫出這個反應的核反應方程式。

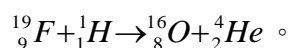
**解** 查表可知，F 的電荷數為 9，設新核的質量數為  $x$ ，電荷數為  $y$ ，則有：

$$19+1=x+4； 9+1=y+2。$$

$$\text{得：} x=16； y=8。$$

新核的質量數為 16，電荷數為 8，所以新核是 O。

核反應方程為：



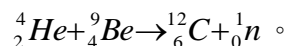
**答：**這個新核是氧原子核。

### 發現中子和正電子

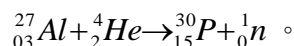
原子核能夠放出質子，說明原子核內可能包含着質子。盧瑟福根據原子核的電量和質量的數據作分析之後，他大膽地預言，原子核內可能存在一種跟質子質量一樣的中性粒子，並把它稱之為中子。

英國物理學家查得威克(Sir James Chadwick)根據盧瑟福的預言，在 1932 年終於找到了中子，並測得中子的質量為  $1.674920 \times 10^{-27} \text{kg}$ 。質子的質量為  $1.672614 \times 10^{-27} \text{kg}$ ，它們的質量僅差千之一點四。中子的符號為  ${}^1_0n$ 。

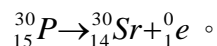
查得威克是用  $\alpha$  粒子轟擊 Be，發現中子的。實驗的核反應方程式如下：



1934 年居里夫婦在用  $\alpha$  粒子轟擊鋁箔時，除探測到預期的中子外，還探到了正電子。 $\alpha$  粒子轟擊鋁核的反應方程如下



${}^{30}_{15}\text{P}$  是磷的一種同位素，它不穩定，放出一個帶正電的，質量跟電子相同的粒子之後衰變成  ${}^{30}_{14}\text{Si}$ ，這種粒子叫做正電子，這種衰變叫做正  $\beta$  衰變。正電子的符號為  ${}^0_1e$ 。 ${}^{30}_{15}\text{P}$  的衰變方程為



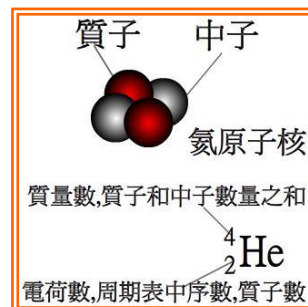
正  $\beta$  衰變生成的新原子核的質量數跟原核一樣，電荷數比原核少 1。

### 原子核的組成

蘇聯物理學家伊芳凡寧柯提出了原子核組成的假說：原子核是由質子和中子組成的，原子核裡質子的數目等於它的元素序數，中子的數目等於它的質量數減去元素序數的差。這個假說與大量實驗相符合，因而獲得普遍的承認。質子和中子統稱為核子。

我們有必要重新認識原子核的符號。例如  ${}^{30}_{14}\text{Si}$ ，它的電荷數為 14，表示有 14 個質子，帶的電量為  $14e$ ，它在元素周期表排列 14；它的質量數為 30，表示它的中子和質子之和為 30 個，質量數和電荷數之差為中子數，即  ${}^{30}_{14}\text{Si}$  有 16 個中子( $30-14=16$ )。其它的原子核符號也有相同的意思。

$\beta$  衰變是原子核中的一個中子放出一個電子之後變為質子，生成的新核就少了一個中子，多了一個質子。正  $\beta$  衰變是原子核中的一個質子放出一個正電子之後變為中子，生成的新核就多了一個中子，少了一個質子。



### 核力

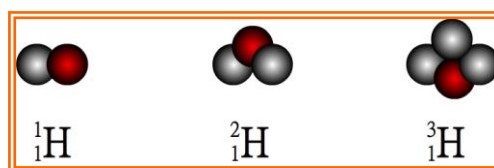
原子核的半徑很小，其數量級為  $10^{-15} \text{m}$ ，那麼，核內的質子之間的距離就更小了，質子之間的庫倫斥力就會非常大，這個力足以使各

質子在極短的瞬間產生極大的加速度而使它們分崩離析。事實上，很多原子核都非常穩定，要用很大的能量才能把它打散。以上事實表明，原子核內應該有一種比庫侖力大得多的力，把質子和中子緊緊地吸引在一起，這種力叫做**核力**。核力是一種很強的力，它只在核子之間存在，有效作用距離僅為  $2.0 \times 10^{-15} \text{m}$ ，大於這一距離就迅速減少為零。質子和中子的半徑約為  $0.8 \times 10^{-15} \text{m}$ ，所以只有相鄰的核子才有核力的作用。

#### 第四節 放射性同素及其應用

##### 同位素

具有相同電荷數的原子核，可以具有不同的質量數，它們的原子核有同數量的質子，在元素周期表中的排列序數相同，但它們的中子數不同。這些原子屬於同一種元素，它們互稱**同位素**。例如 $^{12}_6\text{C}$ 和 $^{14}_6\text{C}$ ，我們可以把它們稱為炭的同位素。同位素的化學性質相同，而物理性質就有所不同。



每一種元素都有放射性的同位素，天然放射性同位素為數不多。現在，用人工核轉變方法製造出來的放射性同位素已有 1000 多種。放射性同位在許多方面都得到廣泛應用。

##### 放射性同位素的應用

(1) 利用  $\gamma$  射線的強穿透能力。X 光只能透視 2~3cm 厚的鋼板。 $\gamma$  射線的穿透能力比 X 光強很多，它能透視 30cm 厚的鋼板，所以常用  $\gamma$  射線來檢查金屬內物件內部有沒有裂縫、沙眼或其他的傷痕。



(2) 利用射線的生化作用。用射線照射種子，使種子發生變異，可能會育出新的優良品種。射線可以抑制根莖作物發芽。用射線照射馬鈴薯、大蒜等作物之後，它們就會延遲發芽，從而延長保存期。用適當強度的射線照射田間，可直接殺死害蟲，或使成蟲失去生殖能力，幼蟲失去發育能力。經射線照射的食品可長期儲存，它不破壞外形，不影響品質，不帶藥物殘余。放射性同位素的射線在醫療方面可以用來抑制或治療惡性腫瘤，目前用作治療的同位素有鈷 60、碘 131、磷 32 等，特別是鈷 60 能作為很強的放射源，而價格又較低廉。

(3) 利用射線的電離作用可以消除靜電。例如把釷 238 或釷 210 等放射源安裝在設備內會產生靜電的地方，射線產生的離子就可以把靜電中和，從而消除靜電。

(4) 利用放射性衰變的半衰期特性，可以測定含有放射性物質的物件的生成年代。碳 14 鑒年法是美國化學家利比在 1952 年提出的。大氣中的  $\text{N}14$  不斷地受到外層空間的射線的轟擊，而變為放射性同位素  $\text{C}14$ 。在光合作用過程中，活的

植物在吸收無放射性的  $C^{12}$  同時也吸收  $C^{14}$ 。植物枯死後，對  $C^{12}$  和  $C^{14}$  的吸收也停止了。由於  $C^{14}$  有放射性，半衰期是 5600 年，植物中的  $C^{14}$  總量便不斷減少。實驗證明，活的植物中，每克碳 1 分鐘內有 16 個碳核發生衰變。在枯死的植物中，如果每克碳 1 分鐘內有 8 個碳核發生衰變，就是說物體的  $C^{14}$  只剩下半，物體已經死亡了一個半衰期，從而知道這個植物已有 5600 年之久了。如果植物中每克碳 1 分鐘內有 4 個碳核發生衰變，則這個植物已有 11200 年之久了。利用碳 14 鑒年法可鑑定古代遺物的年代，如 1972 年，我國長沙發掘出的馬王堆一號墓，透過測定陪葬果品中梅子的核，算出它的年代是西元前 165 年前後，這和利用其他旁証計算的年代是一致的。用類似的方法可測定地球和月球上岩石的年齡，用銩-鋇鑒年法和鈾-鉛鑒年法已測出月球上岩石的年齡大於 45 億年。

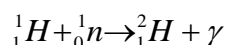
(5) 利用放射性衰變產生的熱可以做成同位素電池，這是將放射性同位素衰變時產生的熱轉變為電能的一種裝置。這種電池體積小，壽命長，不受環境影響，主要用作衛星、飛船、行星星際站的能源，但成本較高。

(6) 利用具有放射性的原子作示蹤原子。把放射性同位素的原子摻到其他物質中去，讓它們一起運動、遷移，用放射性探測儀器進行跟蹤，就可以通過放射性原子去了解某些不容易觀察到的過程或狀態，這種用途的放射性同位素叫做示蹤原子。利用示蹤原子可以了解農作物吸收肥料情況，如棉桃快要成熟時，若向根部施加帶有放射性磷 32 的磷肥，透過探測器會發現根部已不大能吸收肥料，若這時把磷肥施在葉子上，證實棉花仍能吸收，所以要使棉花增產就要向葉子施肥。在煉鋼時，為了不讓磷的含量過高，並能及時作出鑑定，便在鋼中摻入一定比例的放射性磷，取試樣用探測儀器測出射線強度，再用化學分析方法就可知磷的含量。在醫學上，利用示蹤原子來作診斷和研究，如在皮下注入含有放射性鈉的生理食鹽水，就可研究人體血液循環情況。在生物科學研究上，利用示蹤原子可以研究生物分子架構及其功能。我國在 1965 年 9 月首先用人工方法合成牛胰島素，為了證明人工合成的牛胰島素結晶跟天然牛胰島素結晶是同一種物質，就在合成牛胰島素中摻入碳 14，再把它與天然牛胰島素混合，經過多次重新結晶，測得碳 14 在結晶內分佈是均勻的，從而證明人工合成的牛胰島素跟天然牛胰島素沒有區別。

## 第五節 核能



從上一節我們知道，核子之間存在着非常強勁的核力，核子發生變化時，核力就有可能做功，使原子核吸收或放出能量。原子核發生變化時放出的能量叫做核能，又叫做原子能。一個中子和一個質子結合成一個氘核時，會放 2.22MeV 的能量。核反應方程如下：



在這種反應中，平均每核子放出 0.74MeV(2.22β)，而炭在燃燒時，平均每核子才釋放出 0.33eV。相同質量的物質發生核反應和化學反應釋放出來的能量，前者為後者的數十萬倍。

### 愛因斯坦質能方程

目前核力還在研究中，我們還未清楚它的廬山真面目，所以還不可能從核力方面計算釋放了多少核能。愛因斯坦在他的相對論中揭示了質量和能量之間有如下的對應關係：

$$E=mc^2$$

上式簡稱為**質能方程**。上式中，E 是物體的**能量**，m 是物體的**質量**，c 是**光速**。質能方程表明物體的**能量**發生了變化，它的**質量**也會發生變化。如果物體的**能量**增加了 ΔE，其**質量**也相應增加 Δm，反之亦然。能量變化與質量變化的關係如下：

$$\Delta E=\Delta m \cdot c^2$$

如果上式中，Δm 的單位是 kg，c 的單位是 m/s，則 ΔE 的單位是 J。

### 質量虧損和核能

精確的實驗證實，在核反應過程中，核反應前所有參與反應粒子的總質量跟反應後所有粒子的總質量有微小差異，這是因為核反應過程會伴隨很大的**能量**變化。如果核反應時會放出**能量**，反應後的總質量會比反應前的總質量小，這種現象稱為**質量虧損**。質量虧損可用下式計算

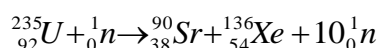
$$\Delta m=m-m'$$

上式中 Δm 為虧損的質量，m 為核反應前參與反應的所有粒子的總質量，m' 為核反應後生成的所有粒子的總質量。

在原子物理學中，質量的單位常常採用**原子質量單**，原子質量的符號為“u”，1u= 1.660539 \*10<sup>-27</sup>kg。1u 大約相當於一個質子或一個中子的質量。<sup>4</sup>He 的質量數為 4，它的質量大約為 4u。在計算 Δm 時，如果以 u 為單位，一般要精確到小數點後 6 位數。

根據質量虧損，應用質能方程式就可以計算出核反應時放出的核能。

例 慢中子轟擊 U235，其核反應方程式如下



請計算這個反應放出的核能是多少 MeV。其中 <sup>235</sup>U 的量為 235.0439u，<sup>90</sup>Sr (銻)

的質量為 89.9077u，<sup>136</sup>Xe 的質量為 135.9072u，中子的質量為 1.00867u，取

c=2.997\*10<sup>8</sup>m/s。

解 核反應前的總質量為：m=235.0439+1.0087=236.0526(u)

核反應後的總質量為：m'=89.9077+135.9072+10\*1.00867=235.9016(u)

核反應的質量虧損為：Δm=236.0526-235.9016=0.1510(u)

放出的核能為：

$$\Delta E = \Delta m \cdot C^2 = 0.01510 \times 1.6605 \times 10^{-27} \times (2.9979 \times 10^8)^2 \times 1.60 \times 10^{-19} = 141 \text{ MeV}$$

(上式中，乘以  $1.6605 \times 10^{-27}$  是要把 u 換成 kg，乘以  $1.60 \times 10^{-19}$  是要把 J 換成 eV。)

答：這個核反放出的能量為 141MeV。

## 第六節 重核裂變

### 重核裂變

1938 年德國化學家哈恩(Otto Hahn)和助手斯特拉斯曼在用中子轟擊鈾核時，期望獲得新元素，但經化學分析，發現產物中有鋇的放射性同位素。以後證實 這是鈾核俘獲了一個中子後，裂變成為兩個中等質量的核形成的，並釋放出核能。鈾核裂變後的產物，可能是鋇(Ba)和氪(Kr)，可能是銻(Sb)和銱(Nb)，也可能是氙(Xe)和銦(Sr)，同時還放出 2 個~3 個中子。1946 年我國物理學家錢三強、何澤慧夫婦發現，鈾核還可能分裂成 3 塊或 4 塊，不過這種情況比較少見。一個重核分裂成兩個或數個質量中等的核的反應過程叫做裂變。

重核裂變時能放出巨大的能量。鈾核裂變時，平均每個核子能放出約 1MeV 的能量。1kg 的 U235 完全反應時放出的能量相當於 2500 噸優質煤完全燃燒所放出的能量。你看，原子核裏蘊藏的能量是多麼巨大呵！

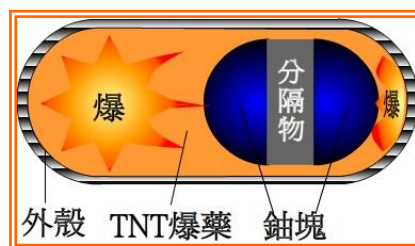
### 鏈式反應

用中子轟擊鈾 235 產生裂變時，有一個重要特點，每次裂變都放出數個中子，如果這些中子又跟其他鈾 235 作用，引起新的裂變並產生第二代中子，這樣裂變反應就像鏈條一樣，一環扣一環地持續不斷地進行下去，而且單位時間內參加反應的原子核呈幾何級數地迅速增長，這種反應叫做鏈式反應。

要維持鏈式反應，還滿足三個條件。首先是鈾 235 要有足夠的濃度，天然鈾是由 99%以上的鈾 238、0.71%的鈾 235 和極微量的鈾 234 組成，其中鈾 238 會吸收大部分能量較大的快中子而不發生裂變，所以要產生鏈式反應，必須對天然鈾進行抽提純，以提升鈾 235 的相對濃度，即製取濃縮鈾。其次是鈾塊的體積必須大於臨界體積，這是因為原子是很“空”的，所以中子命中鈾 235 核機會是不多的，只有鈾塊的體積足夠大，其中所包含的鈾核多到使新生的中子數大於被鈾核吸收和從鈾塊表面逸出的中子數，才能使鏈式反應持續下去。能夠發生鏈式反應的鈾塊的最小體積叫做臨界體積。第三是要有中子減速劑，因為容易被鈾 235 俘獲的是慢中子，而鈾 235 裂變中放出的是快中子，所以要使鏈式反應持續下去，必須使快中子迅速減速變為慢中子。

## 原子彈

如果鈾 235 的體積超過它的臨界體積，只要有中子進入鈾塊，就立即引起鏈式反應，在極短時間內會釋放大量核能，發生猛烈爆炸，這就是原子彈的爆炸原理。右圖是原子彈的結構示意圖，把濃縮鈾分成兩塊，並互相分隔開，每塊體積都小於它的臨界體積。當需要核爆炸時，利用引爆 TNT 炸藥使兩塊鈾合併，總體積就超過臨界體積，就可以發生強烈的核爆炸。利用核裂變而製成的武器通常叫做**原子彈**。



核武器爆炸，不僅釋放的能量巨大，而且核反應過程非常迅速，在微秒級的時間內即可完成。因此，在核武器爆炸周圍不大的範圍內形成極高的溫度，加熱附近的空氣，並使之急速膨脹，產生高壓衝擊波。地面和空中核爆炸，還會在周遭空氣中形成火球，發出很強的光輻射。核反應還產生各種射線和放射性物質碎片；向外輻射的強脈波射線與周圍物質相互作用，造成電流的增長和消失，從而產生強電磁脈波。這些不同于化學炸藥爆炸的特征，使核武器具備特有的強衝擊波、光輻射、早期核輻射、放射性沾染和核電磁脈衝等殺傷破壞作用。

## 核反應堆

**核反應堆**又叫做核反應爐(Nuclear Reactor)是一種啟動、控制並維持核反應的裝置。相對於核武器爆炸瞬間所發生的失控鏈式反應，在反應爐之中，核反應的速率可以得到精確的控制，其能量能夠以較慢的速度向外釋放，供人們利用。

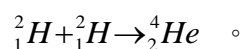
核反應爐有許多用途，當前最重要的用途是產生熱能，用以代替其他燃料加熱水，產生蒸汽發電或驅動航空母艦等設施運轉。當前全部商業核反應爐都是基於核裂變的，其裂變後的產物可以生產核武器所需的鈾。

隨著石油和煤炭資源日漸稀缺，核能發電開始受到重視。但是同時，處理核能發電產生的放射性廢物成為核能發展的障礙。

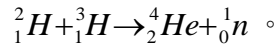
## 第七節 輕核聚變

### 輕核聚變

重核裂變時可放出巨大的能量，而某些輕核結合成質量較大的核時，能釋放出更巨大的能量。例如 2 個氘核結合成 1 個氦核時，釋放出 4 兆電子伏的能量，其核反應方程是：



又例如 1 個氘核和 1 個氚核結合成 1 個氦核時，釋放出 17.6 兆電子伏的能量，核反應方程是：

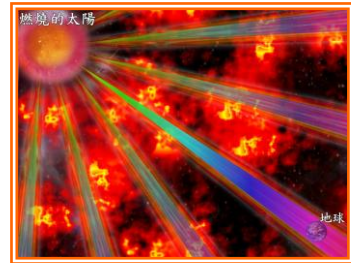


輕核結合成質量較大的核叫做**輕核聚變**，又叫做**核融合反應**。按平均每個核子放出能量多少來比較，聚變時比裂變時要大好幾倍，如氘核、氚核結合成氦核時，平均每個核子放出 3 兆電子伏的能量，而鈾核裂變時，平均每個核子放出 能量是 1 兆電子伏。

核子要在核力能夠發生作用的範圍內(在  $10^{-15}$  米之內)才能發生聚變，而要彼此接近到這種程度，輕核必須具有足夠大的動能。理論研究指出，只有在幾百萬度高溫情況下，原子將完全離子化，也就是原子的核外電子已全部和原子脫離，成為等離子體，這時部分原子核就具有足夠大的動能，能夠克服相互間的庫侖斥力，在相互碰撞中接近到能發生聚變，輕核聚變又叫做**熱核反應**。

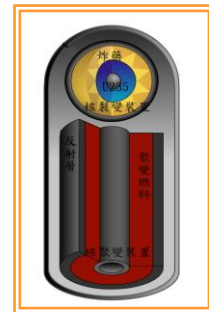
### 太陽

太陽的核心溫度高達 1500 萬攝氏度，壓力高達 2500 億個大氣壓。太陽的內部發生着劇烈的輕核聚變，每秒大約有七億噸的氫聚變成氦，放出  $3.86 \times 10^{26}$  焦耳的能量。熱核反應在宇宙中是很普遍的現象，許多恒星的內部都進行着熱核反應，向宇宙放出大量的射線。



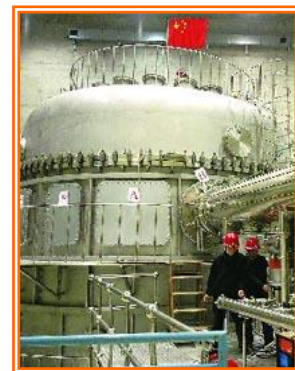
### 氫彈

利用氫的熱核反應製成的炸彈叫做**氫彈**。目前熱核反應主要用在核子武器——氫彈上，氫彈是由原子彈和熱核燃料組成的，原子彈爆炸可以產生足夠的高溫而引起熱核反應。其實氫彈是三種炸彈合成物，首生是 TNT 炸藥爆，然後引發原子彈爆炸，最後原子彈產生的高溫和高压再引發氫彈的爆炸。



### 可控熱核反應

在高溫下使輕元素的原子核發生可控制的聚變反應叫做**可控熱核反應**。可控熱核反應在受控制的條件下進行，反應過程不像氫彈那樣猛烈，釋放出來的能量可以轉換為電能。海水中含有大量的氘，可作為熱核反應的燃料，1 升的海水含有 0.03 克的氘，完全反應能放出相當於完全燃燒 300 升汽油的能量。如果受控熱核反應一旦實現，將使人類獲得一種幾乎取之不盡的能源。熱核反應比裂變反應對環境的污染輕得多。受控熱核反應從 20 世紀 50 年代初開始研究。至今，雖然已取得了很大的進展，但是仍停留在實驗室研究階段。



受控熱核反應研究的第一步是點火。點火條件是把輕核變成等離子體，並加熱到 5000 萬開至 2 億開的高溫。產生受控熱核反應的實驗裝置有兩大類。一是

慣性約束裝置，用激光束、電子束、離子束等照射固態氘或其他燃料製成的小球靶，使小球靶向中心爆聚，當小球靶的溫度高於一億開，密度比固體高幾千倍以上時，就會產生受控熱核反應，這種熱核反應就相當於微型氫彈爆炸。二是磁約束裝置，用特殊形態的磁場把一定密度的高溫等離子體約束在有限體積內，使之脫離器壁並限制其熱導，實現受控熱核聚變。