

11201 物理科學學習歷程作業報告

林永嵩老師

請同學參考以下四項主題，以及附帶提供之簡易參考資料，擇其中之一主題作蒐集資料並詳細探討，撰寫一份針對此主題的作業報告。

主題：1. 光電效應

2. 物質波

3. 永動機

4. 重力波

內容：

以 5 頁以內為限，針對科學原理之探討與討論、生活中之應用、研究後心得等方向，自行發揮。

繳交期限：

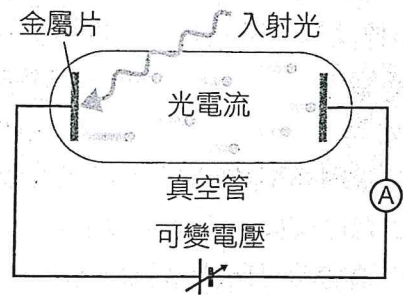
請於 10 月底前，自行繳交書面資料給老師批閱。並請於學期末學習歷程上傳時限內，務必網路上傳已批閱之報告給老師作學習歷程認證。

(請同學務必消化所學做統整之報告，切勿針對網路或書籍作通盤抄襲)

光電效應

精簡主題幹字數，更貼近大考題模式

19 世紀末，赫茲在實驗中觀察到火花放電，科學家針對這個現象研究，將兩端連接正、負電極的真空管內放入金屬片（如圖），發現超過底限頻率的光線照射金屬片時真空管電路會產生電流，稱為光電效應，但當時無法用古典電磁理論解釋光電效應的特性。



1905 年，愛因斯坦推廣普朗克所提出的能量不連續概念，以光量子論解釋光電效應，說明光可以想像成由具有最小能量單位的「光子」所組成，光子的能量為 $E=hf$ (E ：光子能量； h ：普朗克常數； f ：光頻率)。當光子能量足夠提供電子脫離金屬束縛時，電子所吸收的光子能量，一部分用於脫離金屬束縛，剩下的能量則提供電子動能而產生光電流。因每個電子每次僅能吸收一個光子，若光子的能量不足以提供電子脫離金屬，即使拉長光照時間，也無法產生光電流。因此，愛因斯坦提出光電方程式 $E=W+K_{\max}$ (E ：光子能量； W ：功函數，即電子脫離金屬束縛需要的最小能量； K_{\max} ：電子脫離金屬後的最大動能)，解釋了光電效應的特性，而光電方程式的功函數會隨著金屬種類而有所改變。

1916 年，密立坎以實驗證實愛因斯坦提出的光電方程式是正確的，愛因斯坦也因成功解釋光電效應，於 1921 年得到諾貝爾獎，而密立坎也因此於 1923 年獲獎。

心智圖剖析 請試著將文本進行剖析，在各支節下方，列出相關重要資訊。

發現過程

- 19 世紀末，赫茲發現
- 1905 年，愛因斯坦以光量子論解釋
- 1916 年，密立坎以實驗證實

光電方程式

- 愛因斯坦提出： $E=W+K_{\max}$
- W ：功函數，電子脫離金屬束縛需要的最小能量，各金屬不同
- K_{\max} ：電子脫離金屬後的最大動能

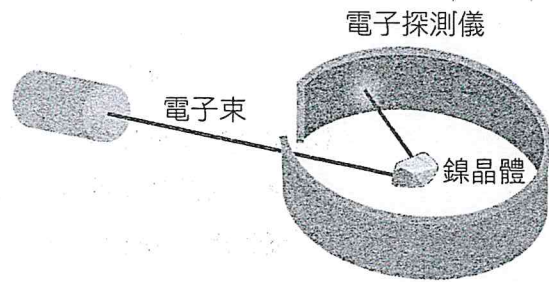
光電效應

光子

- 光是由光子所組成
- 光子的能量為 $E=hf$ (與光的頻率成正比)

物質波

愛因斯坦的光量子論提到光具有粒子性，讓德布羅意有了研究靈感，於 1924 年提出物質波的概念，認為所有的物質皆具有波動性，並推論物質波波長 $\lambda = \frac{h}{mv}$ （ m ：質量、 v ：速度量值、 h ：普朗克常數）。



當時戴維森與革末正進行實驗（如圖），他們藉由真空管內一束方向穩定的電子束射向鎳晶體，電子經過鎳晶體散射到電子探測儀上呈現亮點，記錄各角度接收到的電子強度，由電子的散射角度判斷鎳原子的排列狀況。但真空管因不耐高溫而破裂，鎳金屬迅速氧化，兩人便以加熱的方式欲還原鎳金屬。卻發現修復後再次實驗，電子散射分布竟然變得更複雜了，他們推論是鎳金屬的表面原子經過加熱而重新排列整齊所致。後來戴維森得知德布羅意提出的物質波理論，猜想該實驗結果可能是電子的繞射現象，再度以不同能量的低速電子從各個角度打向鎳晶體，最後在大約 50° 的位置發現了明顯的繞射現象。他們將所得的數據套入繞射公式 $2d\sin\theta = n\lambda$ （ d ：晶體原子間距、 n ：正整數），代入德布羅意預測的電子物質波波長後，發現十分吻合，最後於 1927 年發表實驗結果。

同年喬治·湯姆森測試了別的晶體，透過 X 射線與電子束分別照射在相同晶體下，產生的繞射圖形幾乎相同，而證實電子的波動性。

心智圖剖析

請試著將文本進行剖析，在各支節下方，列出相關重要資訊。

德布羅意

- 受愛因斯坦的光量子論啟發提出物質波
- 物質波波長 $\lambda = \frac{h}{mv}$

戴維森與革末

- 真空管電子散射實驗失敗
- 修復後的鎳金屬表面原子排列整齊
- 發現 50° 的位置有明顯的繞射現象
- 數據與電子物質波繞射公式吻合
- 證實物質波

物質波

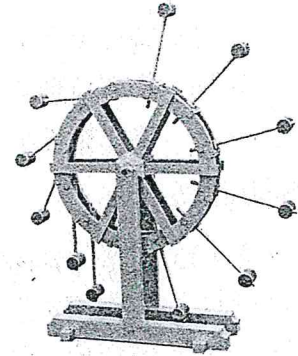
喬治·湯姆森

- X 射線與電子束分別照射在相同晶體產生相同的繞射圖形

永動機

發明史上人類曾構想永動機，期望製造不用輸入能量仍可不斷運作的機械，而科學界早已證明永動機不可能存在，而依照構想的原理，永動機可以分為兩大類。

第一類永動機：沒有提供能源的前提下，使系統持續向外輸出能量。如圖的「魔輪」即是此類永動機的代表。1842年德國的科學家—麥爾，首度以「熱功當量」實驗說明能量守恆定律，強調能量不會憑空出現或消失，僅能在不同能量間互相轉換，驗證了此類永動機不可能存在。



能量守恆定律說明能量不能憑空增加，於是有了第二類永動機：意圖從環境中吸取能量，並將這些能量驅動永動機。歷史上最著名的此類永動機，是美國人加姆吉所設計的「零發動機」，利用海水的熱量將液態氦汽化以推動機械運轉。但汽化後的氦沒有在低溫條件下便無法重新液化，不能完成循環而宣告失敗。後來德國科學家克勞修斯和英國科學家克爾文在研究卡諾循環後，提出的熱力學第二定律提到：「在能量轉換中，必定會有能量的散失，不可能完全轉換為有效的功。」

為了避免不肖商人以此為名設計類似產品誑騙消費者，國際上也為此宣布不同的對應法規機制，如：法國科學院宣布永不接受永動機、美國專利及商標局也嚴禁永動機類的產品申請專利授權書等。

圖源/shutterstock

心智圖剖析

請試著將文本進行剖析，在各支節下方，列出相關重要資訊。

第一類永動機

- 機械系統持續向外界輸出能量
- 魔輪
- 推翻：麥爾以熱功當量實驗說明能量守恆定律

能量守恆定律

- 能量不會憑空出現或消失
- 不同能量間可互相轉換

永動機

第二類永動機

- 從環境中吸取能量以驅動機械
- 零發動機
- 推翻：能量無法無限循環轉變

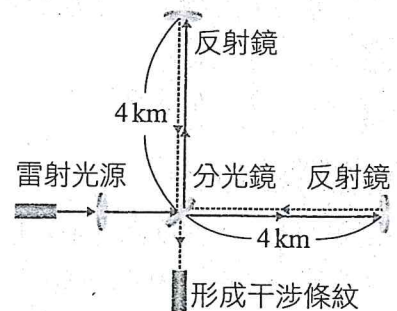
熱力學第二定律

- 能量轉換必有能量散失

重力波

1915年，愛因斯坦以廣義相對論將重力重新詮釋為質量扭曲時空的結果，質量愈大，周圍空間就扭曲得愈厲害，造成時間延遲、光線偏折或頻率偏移等。當物體加速前進時，使空間的扭曲發生變化而產生漣漪，這個漣漪就是「重力波」。

美國雷射干涉儀重力波觀測站（簡稱 LIGO）利用特殊的實驗裝置（如圖）觀測宇宙事件，以兩根長度為 4 公里的管子呈 L 形相互垂直，以雷射光經分光鏡分成兩道，各自沿著兩根管子前進，再由管末反射回來，雷射光來回反射 400 趟之後，會在交角處會合。若在沒有重力波的情況下，從兩邊雷射光走的路程長度應相同。但由於重力波會使空間產生扭曲，便會對兩根管子的長度產生些微影響，兩道雷射光則無法同時回到交角處，雖僅有非常些微的差距，已足以讓精密的干涉儀器產生訊號。



重力波可穿透萬物、產生的波動強度極小，不易被偵測到。2015年，LIGO 團隊首度偵測到的重力波，訊號來自距離地球約 13 億光年的黑洞合併事件，兩個黑洞的質量分別約為 36 倍和 29 倍的太陽質量，此結果正是重力波存在的鐵證！接著在 2017 年，觀測到由中子星合併引起的重力波，能被偵測到的主因是因為黑洞與中子星是宇宙中密度相對大的星體，彼此互繞又合併時放出的重力波才有機會被偵測到。

心智圖剖析 請試著將文本進行剖析，在各支節下方，列出相關重要資訊。

愛因斯坦

- 提出廣義相對論
- 定義重力為質量扭曲時空的結果
- 提出重力波的概念

重力波

重力波

- 重力波為空間扭曲產生的漣漪
- 可以穿透萬物、波動強度極小
- 僅能觀察到密度相對大的星體發出的重力波

空間扭曲

- 時間延遲、光線偏折、頻率偏移

LIGO

- 密度相對大的星體之重力波 → 空間扭曲 → 管長差距 → 雷射光反射的時差 → 精密的干涉儀器產生訊號
- 觀察到黑洞合併的重力波