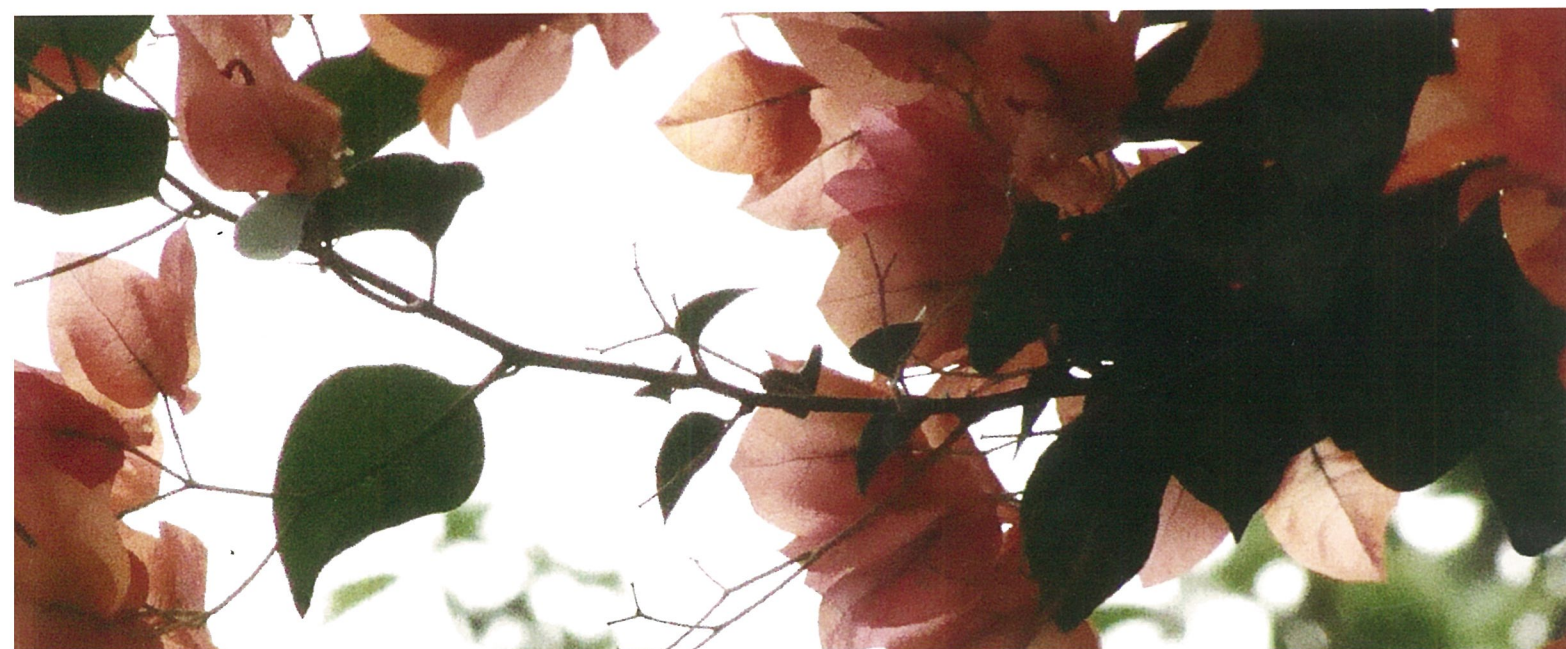


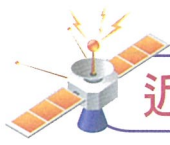
吳笛 物理

WU
DY.
PHYSICS

單元名稱
近代物理與原子結構

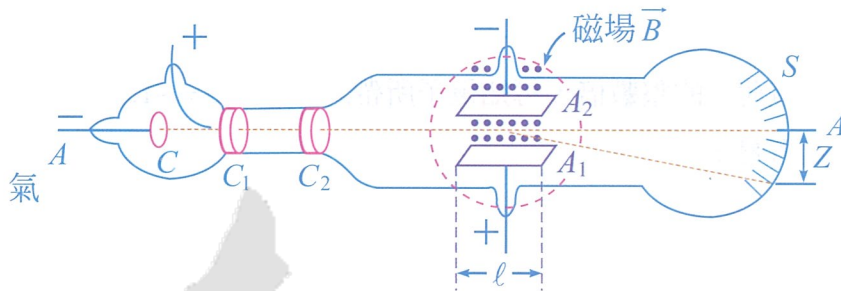
中央大學





1-1 電子的發現

一、湯木生實驗——帶電粒子在均勻電磁場中運動



圖(一)：湯木生度量電子的 $\frac{e}{m}$ 的實驗裝置。注意電場方向由 A_1 板至 A_2 板，
磁場方向為由紙後向紙前。

1. 陰極射線管：

- (1) 將管中空氣抽出，使氣壓降至 10^{-2} 至 10^{-4} 公釐汞柱高。
- (2) 在放電管通高電壓時，在陰極對面的玻璃管壁上現出青綠色的螢光，這是由於從陰極上射出的粒子所致。在湯木生以前尚未知此種射出的粒子線的實體真相，故祇好命名為陰極射線。

2. 確定陰極射線的電性：

- (1) 如上圖所示，僅於右管中 A_1 ， A_2 兩金屬板間加一電位差，由偏斜的方向顯示射線帶負電。
- (2) 僅於管外加一與射線垂直且由紙背垂直穿出紙面的磁場 \vec{B} ，則發現當磁場單獨作用時射線即向上偏移，由其偏斜方向依據右手定則知射線帶負電。

3. 測定陰極射線粒子的速率：

使電場和磁場同時作用並調整其大小，使得射線不致偏斜，

$$Ee = vBe \quad \text{陰極射線中粒子的速度 } v = \frac{E}{B}$$

4. 測量陰極射線的 e/m 值：

- (1) 將電場除去，只留磁場單獨作用，則射線在磁場內形成半徑為 R 之圓弧形狀，由

$$\text{向心力量值 } F_e = \text{磁力量值 } evB \text{ 且 } F_e = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{v}{RB}$$

- (2) 將 $v = \frac{E}{B}$ 代入上式 $\Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{E}{RB^2} = 1.76 \times 10^{11}$ 庫侖/公斤



二、米立坎油滴實驗

1. 實驗目的：證實電量具有自然單位，且測出電子所帶之電量即為一基本電荷。

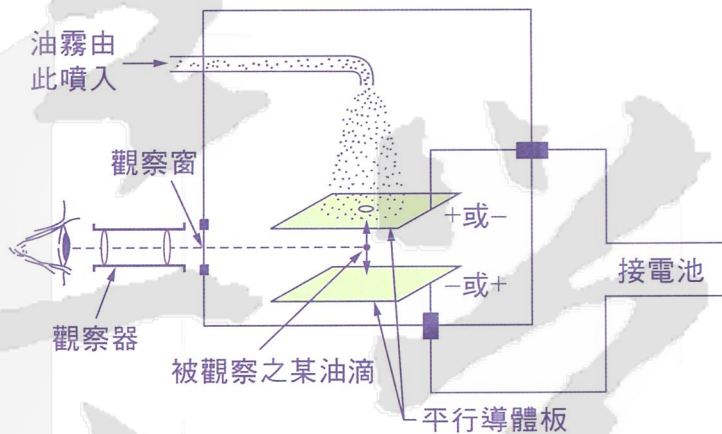
2. 實驗結果：

(1) 電荷的量子化：米立坎作了數千次的油滴實驗，每次油滴所帶電荷皆為 1.6×10^{-19} 庫侖（基本電荷）的整數倍，可知電子所帶之電量為 $e = -1.6 \times 10^{-19}$ 庫侖。

(2) 決定電子的質量：

① 湯木生測得 $\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11}$ 庫侖/公斤

② 米立坎測得 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 庫侖 \Rightarrow 電子質量 $m = 9.11 \cdot 10^{-31}$ 公斤



圖(二)：米立坎油滴實驗裝置

3. 實驗原理：

油滴受力含 (a)重力和電力（合稱驅動力） (b)空氣阻力 $F_R = kv$

範例 01 電子的發現

一靜止帶電質點以 V 的電位差加速後，射入強度 B 的磁場內，若其軌道半徑為 r ，則此帶電質點的 (1)荷質比 (2)速率 (3)週期分別為何？

【答】 (1) $\frac{2V}{B^2 r^2}$ (2) $\frac{2V}{Br}$ (3) $\frac{\pi Br^2}{V}$

【解】 (1) 力學能守恆： $qV = \frac{P^2}{2m} \Rightarrow P = \sqrt{2mqV}$

磁場中的圓周： $r = \frac{P}{qB} = \sqrt{\frac{2mV}{qB^2}}$ ，故 $\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2}$

(2) $\because r = \frac{mv}{qB}$ ，故 $v = \frac{qBr}{m}$ 但由(1) $\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2}$ 代入

可得 $v = \frac{2V}{B^2 r^2} \cdot Br = \frac{2V}{Br}$

(3) 週期 $T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi r \times \frac{Br}{2V} = \frac{\pi Br^2}{V}$

範例 02 電子的發現

在密立根油滴實驗中，設各油滴大小相同，且電力大小恰可使電量 e 的油滴靜止。今有一油滴以終端速度 $2v$ 向上運動，反轉電場後，見油滴以 $3v$ 下降，則此油滴所帶電荷為何？

【答】 $5e$

【解】 ① 油滴靜止： $eE = mg$

② 油滴終端度 $2v$ 向上： $qE = mg + k \cdot 2v$

③ 油滴終端度 $3v$ 下降： $qE + mg = k \cdot 3v$

④ 將 $mg = eE$ 帶入 ② 與 ③ 可得

$$\left. \begin{array}{l} qE - eE = k \cdot 2v \\ qE + eE = k \cdot 3v \end{array} \right\} \text{相除：} \frac{q-e}{q+e} = \frac{2}{3} \Rightarrow q = 5e$$

隨堂練習

米立坎在 1911 年的實驗中，從數次的實數據中觀測到一個油滴帶有下列電荷：

6.563×10^{-19} 庫侖； 8.204×10^{-19} 庫侖； 11.50×10^{-19} 庫侖； 13.13×10^{-19} 庫侖

16.48×10^{-19} 庫侖； 18.08×10^{-19} 庫侖； 19.71×10^{-19} 庫侖； 22.89×10^{-19} 庫侖

26.13×10^{-19} 庫侖。試由此數據求電子的電荷應為若干？

【答】 1.6×10^{-19} 庫侖



一、熱輻射

1. 任何溫度下所有物體都會發射電磁波，送出能量，稱為熱輻射。

輻射熱功率與物體的表面溫度，表面積，材料有關。

2. 史特凡定律：經驗公式

物體單位面積輻射（或吸收）能量之功率為 E ，則

$$E = e\sigma T^4 \begin{cases} E: \frac{W}{m^2} \\ e: \text{發射率或吸收率} \\ \sigma: 5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4 \\ T: \text{絕對溫度} \end{cases}$$

3. 物體也會吸收輻射的熱能（任何溫度皆可）

- (1) 若物體射出能量超過吸收能量 \Rightarrow 物體溫度 \circ
- (2) 若物體射出能量少於吸收能量 \Rightarrow 物體溫度 \circ
- (3) 若物體射出能量等於吸收能量 \Rightarrow 物體溫度 \circ

二、黑體輻射 (Black body radiation)

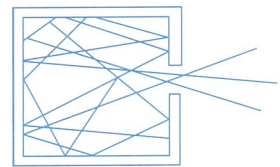
1. 黑體：能吸收所有的入射能量，但毫不反射輻射的物體。

- (1) 黑體是最 的發射體，是最 的吸收體。
- (2) 黑色物體不一定是黑體：

平常的黑色物體，因不完全把投射其上的輻射能量予以全部吸收，故是不夠稱為黑體的，黑體是一種理論上的理想假設。

(3) 空腔輻射：

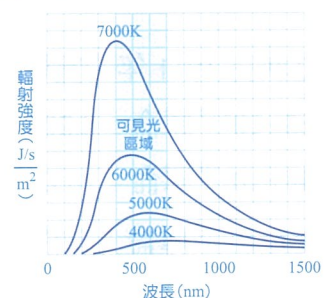
如右圖示，設計一個中空的物體（可以金屬製成），中空部分即所謂空腔 (cavity)，它有一個小孔與外界相通，外界的電磁波（包括輻射熱和其他）可以經由小孔進入空腔，經腔的內壁一再反射吸收後，再從小孔射出的機率可視為 0，即空腔能吸收全部落在它上面的輻射能而不反射，故可看成黑體。若將空腔加熱，則腔內壁面向各方輻射的熱能，只有極少量能從小孔射出，故空腔輻射可看成黑體輻射。



圖：空腔

2. 光譜能量：

- (1) 由實驗結果分析輻射能量強度與波長的關係如右。
- (2) 每一光譜中所具有的最大能量強度的波長 λ_m 會隨著溫度的增高而降低 ($\lambda_m \times T = \text{定值}$)。



三、蒲朗克的量子論

1. 古典物理學所遭遇之困難：

古典物理學所得到的理論，都不能解釋黑體輻射現象。

2. 蒲朗克的量子論：

(1) 假設能量是不連續量

(2) 空腔壁上的原子像極小的電極振子，每個振子各有一特定的振盪頻率，具有一能量單元，其值為

$$E = h\nu \begin{cases} \nu: \text{振子的振動頻率} \\ h: \text{蒲朗克常數，公認值為 } 6.6260754 \times 10^{-34} \text{ 焦耳} \cdot \text{秒} \end{cases} \text{ 的整數倍，}$$

即 $h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots$

(3) 此理論成功解釋黑體輻射現象

範例 01

1. 關於黑體輻射下列敘述何者正確？ (A) 熱輻射射到黑體上會被完全吸收 (B) 黑體輻射的光譜與黑體的材料無關 (C) 黑體輻射的光譜之中有最大能量強度的頻率隨溫度的升高而減少 (D) 同一個黑體其輻射總能量隨溫度的升高而增加 (E) 黑體輻射的現象要用能量量子化的觀念才能圓滿解釋。 【82年日大】

2. 以彈力常數 k 之彈簧掛質量 m 之木塊，振動時振幅 x ，以量子論之觀點，系統之量子數為_____。

【答】 1. (A)(B)(D)(E) 2. $\frac{\pi x^2}{h} \sqrt{km}$

【解】