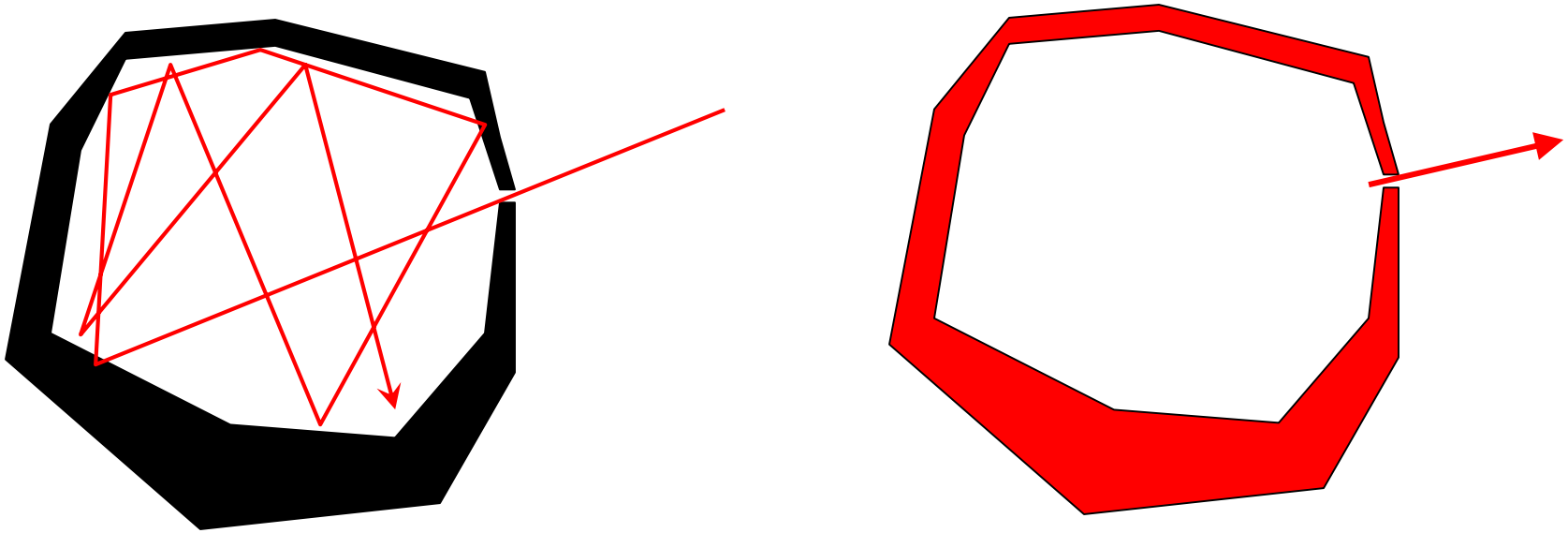
บทที่ 8 :ทฤษฎีควอนตัมเบื้องต้น

- Black Body
- กฎของชเตฟาน-โบลตซ์มันน์(Stefan-Boltzmann law)
- กฎของวีน
- **กฎเรย์ลี-จีนส์**
- ควอนตัม

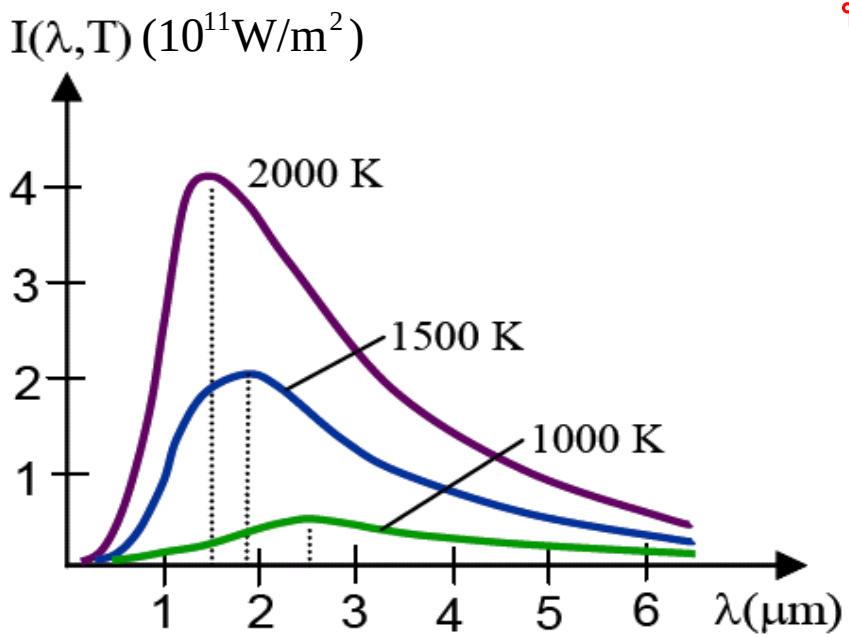
วัตถุในอุดมคติที่**ดูดกลืน**คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ใน**ทุกย่านความถี่**จะสามารถ**ปลดปล่อย**คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีใน**ทุกย่านความถี่**เช่นเดียวกัน

การทดลองอาจแทนวัตถุดำด้วยโพรงโลหะภายในกลวงและสังเกตการแผ่รังสีผ่านรูที่เจาะไว้ด้านหนึ่ง



ข้อใดกล่าวถึงวัตถุดำ**<u>ไม่ถูกต้อง</u>**

1) วัตถุดำปลดปล่อยและดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ทุกความยาวคลื่น
2) วัตถุดำปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มของสเปคตรัมแตกต่างกันในแต่ละความถี่
3) ความยาวคลื่นของรังสีที่เท่ากันย่อมให้ความเข้มของการแผ่รังสีจากวัตถุดำที่เท่ากันด้วย
4) วัตถุดำที่มีอุณหภูมิสูง จะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นต่ำ
5) สเปคตรัมของวัตถุดำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุดำ



$$I(T) = \int_0^\infty I(\lambda, T)\, d\lambda = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.6705 \times 10^{-8}\ \mathrm{Wm^{-2}\,K^{-4}}$$

เรียกว่า ค่าคงตัวของชเตฟาน-โบลต์ซมันน์

- ที่ความเข้มของการแผ่รังสีมีค่าสูงสุด ที่ค่า λ_m
- λ_m มีความสัมพันธ์กับและอุณหภูมิ T ของวัตถุในหน่วยเคลวิน

$$\lambda_m T = 2.898 \times 10^{-3}\ \mathrm{m \cdot K}$$

กฎการกระจัดของวีน (Wien's displacement law)

นักวิทยาศาสตร์สามารถบอกอุณหภูมิของวัตถุต่างๆ ได้โดยการวัดสเปกตรัมการแผ่รังสีความร้อน **จงบอกอุณหภูมิของวัตถุต่างๆ** ดังต่อไปนี้ กำหนดให้: ดวงอาทิตย (500 nm), เครื่องยนต์ไอพ่น (3.6 μm), มนุษย์ (9.5 μm), จักรวาล(1.06 mm)

$$\lambda_m T = 2.898 \times 10^{-3}\ \mathrm{m \cdot K}$$

ดวงอาทิตย์ $T_{sun} = \dfrac{0.0029\ \mathrm{m \cdot K}}{500 \times 10^{-9}\ \mathrm{m}} = 5{,}800\ \mathrm{K}$

เครื่องยนต์ไอพ่น $T_{jet} = \dfrac{0.0029\ \mathrm{m \cdot K}}{3.6 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}} = 806\ \mathrm{K} = 533\ ^{\circ}\mathrm{C}$

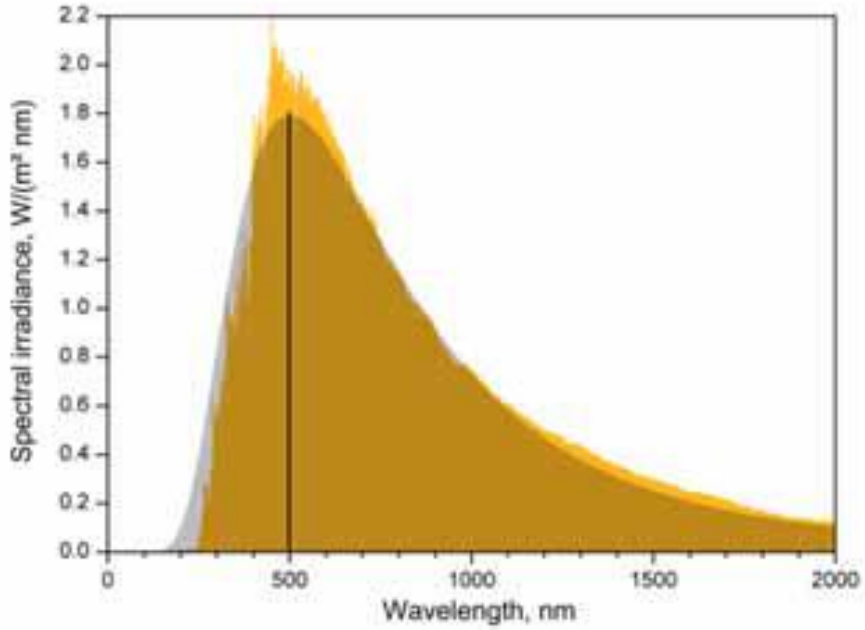
มนุษย์ $T_{human} = \dfrac{0.0029\ \mathrm{m \cdot K}}{9.5 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}} = 305\ \mathrm{K} = 33\ ^{\circ}\mathrm{C}$

จักรวาล $T_{universe} = \dfrac{0.0029\ \mathrm{m \cdot K}}{1.06 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}} = 2.7\ \mathrm{K} \approx -270\ ^{\circ}\mathrm{C}$

ใช้อุปกรณ์วัดสเปกตรัมรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากเตาหลอมอันหนึ่งพบว่าความเข้มสูงสุดของสเปกตรัมดังกล่าวอยู่ที่ค่าความยาวคลื่น 1.16 ไมโครเมตร ให้หาอุณหภูมิของเตาหลอม

1) 1250 K
2) 2500 K
3) 5000 K
4) 10000 K
5) 775 K

ดาวฤกษ์ดวงหนึ่งเปล่งแสงโดยมีสเปกตรัมการแผ่รังสีของวัตถุดำตามรูป ดาวดวงนี้มีอุณหภูมิที่ผิวเท่าใด



1) 3200 K
2) 4300 K
3) 5800 K
4) 6700 K
5) 7600 K

- เราใช้ความรู้ในเรื่องใด ในการหาอุณหภูมิของวัตถุดำ จากข้อมูลสเปกตรัมการแผ่รังสีของวัตถุดำนั้นๆ

1) Newton's law
2) Faraday-Lenz' law
3) Gauss's law
4) Biot-Savart's law
5) Wein displacement law

- ดาวซิริอุส (Sirius A) เป็นดาวฤกษ์สีน้ำเงินที่ส่องสว่างที่สุด อยู่ในกลุ่มดาว canis major มีค่า $\lambda_m = 290\ nm$ จะประมาณค่าอุณหภูมิที่ผิวดาวได้เท่าใด ถ้ากำหนดให้ $b = 2.91 \times 10^{-3}\ mK$

1) 4000 K
2) 5000 K
3) 6000 K
4) 8000 K
5) 10000 K

A) จงหากำลังรวมของการแผ่รังสีต่อพื้นที่ $I\ (T)$ บนผิวดวงอาทิตย์

B) กำหนดให้รัศมีของดวงอาทิตย $r_s = 6.69 \times 10^8$ m และรัศมีวงโคจร $R = 1.50 \times 10^{11}$ m ของโลกรอบดวงอาทิตย์ จงหาความเข้มของแสง อาทิตย์บนผิวโลก I_{earth}

$$I(T) = \sigma T^4 = (5.67 \times 10^{-8}\ \mathrm{Wm^{-2}\,K^{-4}})(5800\ \mathrm{K})^4 = 64.2\ \mathrm{MWm^{-2}}$$

$$I(T)/4\pi r_{sun}^2 = I_{earth}/4\pi R^2$$

$$I_{earth} = I(T)(r_{sun}^2/R^2)$$

$$= (64.2 \times 10^6\ \mathrm{Wm^{-2}})(6.69 \times 10^8\ \mathrm{m})^2/(1.50 \times 10^{11}\ \mathrm{m})^2$$

$$I_{earth} = 1.28\ \mathrm{kWm^{-2}}$$

ทฤษฎีกลศาสตร์และแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเดิม

กฎของเรย์ลี-จีนส์ (Rayleigh-Jeans' law)

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi c k_B T}{\lambda^4}$$

$k_B = 1.38 \times 10^{-23}\ JK^{-1}$ คือค่าคงตัวของโบลต์ซมันน์

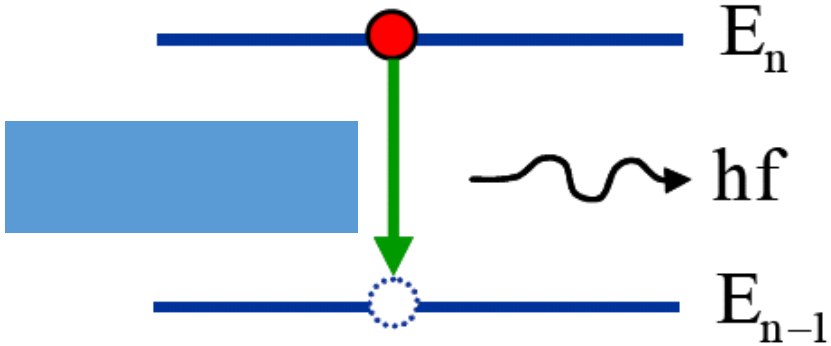
ไม่เป็นไปตามผลที่ได้จากการทดลอง

↓

แนวคิดใหม่

ควอนตัม

พลังงานมีค่าต่างกันเป็น**ขั้น ๆ และไม่ต่อเนื่อง**นี้เรียกว่า **ควอนไตเซชัน**(quantization)



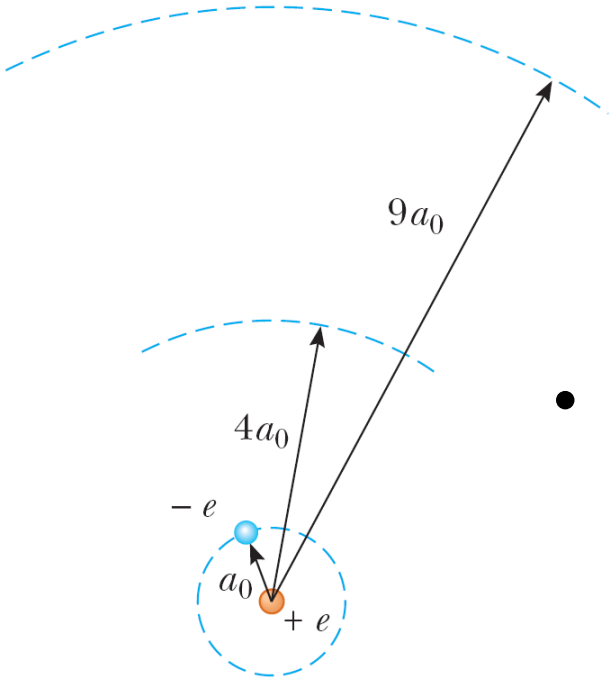
$$E = nhf; \quad n = 0, 1, 2, 3,...$$

อิเลคตรอนตกจากระดับพลังงาน $E_n \rightarrow E_{n-1}$

: **<u>ปลดปล่อย</u>**พลังงานโฟตอน (พลังงานแสง) มีค่า $E_n - E_{n-1} = hf$ หรือ

$$\Delta E = E_n - E_{n-1} = hf = h\frac{c}{\lambda}$$

$$= E_i - E_f = hf$$



- ในอะตอมไฮโดรเจนอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส (โปรตอน) โดยดึงดูดกันด้วยแรงคูลอมบ์ และมีวงโคจรบางวงที่เสถียร อิเล็กตรอนโคจรได้โดยไม่เสียพลังงาน
- การเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างวงโคจรจะมี **การดูดกลืน**หรือ**ปลดปล่อย**พลังงานในรูปของโฟตอน ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างระดับพลังงานในแต่ละวง

$$hf = E_i - E_f$$

- พลังงานของวงโคจร มีค่า $E_n = -\frac{13.6}{n^2} eV$
- รัศมีของวงโคจร มีค่า $r_n = n^2 a_0$

$a_0 = 0.0529\ nm =$ รัศมีของโบร์ $Bohr's\ radius$

จงคำนวณหาความยาวคลื่นของโฟตอนต่อไปนี้

(a) รังสีแกมมา พลังงาน 1 MeV

(b) รังสีเอกซ์ พลังงาน 1 keV

(c) รังสีเหนือม่วงหลังงาน 4 eV

(d) แสงสีแดงพลังงาน 2 eV

(e) รังสีใต้แดงพลังงาน 1 eV

$$\boxed{\Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda}}$$

$$hc \approx 1{,}242 \ \ eV \cdot nm$$

(a) รังสีแกมมา $\lambda = 1.24$ pm

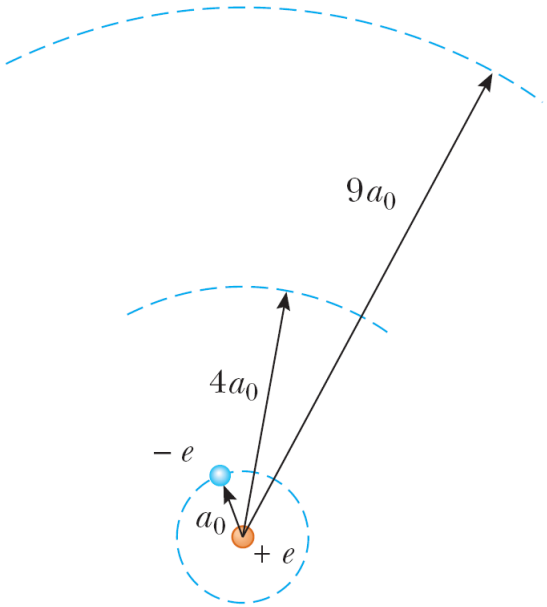
(b) รังสีเอกซ์ $\lambda = 1.24$ nm

(c) รังสีเหนือม่วง $\lambda = 310$ nm

(d) แสงสีแดง $\lambda = 620$ nm

(e) รังสีใต้แดง $\lambda = 1.24$ μm

$$\text{จูล} = \frac{1\ eV}{1.6\ x\ 10^{-19}}$$



พลังงานของวงโคจร มีค่า $E_n = -\frac{13.6}{n^2} eV$

$$E_i - E_f = \frac{hc}{\lambda} = -\frac{13.6}{n_i^2} + \frac{13.6}{n_f^2}$$

วงโคจร n = 1: E_1 = -13.6 eV เรียกว่า พลังงานสถานะพื้น (ground state energy)

n = 2: E_2 = -3.40 eV เรียกว่า พลังงานสถานะ**กระตุ้นที่** 1 (first excited state)

n = 3: E_3 = -1.51 eV เรียกว่า พลังงานสถานะ**กระตุ้นที่** 2

จงหารัศมีของวงโคจรในสถานะกระตุ้นที่ 2

$$n = 3 \qquad r_3 = a_0 n^2 = 9a_0 = 4.761 \text{ Å}$$

จากทฤษฎีอะตอมไฮโดรเจนของโบร์ อิเล็กตรอนที่สถานะถูกกระตุ้นที่ 1 (n = 2) อยู่ที่ระดับพลังงาน**กี่อิเล็กตรอนโวลต์**

1) -13.6 2) -6.8 3) -4.5 4) -3.4 5) -1.5

จากทฤษฎีอะตอมไฮโดรเจนของโบร์ เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจาก สถานะ n = 3 ไปเป็น สถานะ n = 2 จะปลดปล่อยโฟตอนที่มีพลังงาน**กี่อิเล็กตรอนโวลต์**

1) 1.0 2) 1.9 3) 2.8 4) 4.5 5) 5.6

ตามแบบจำลองของ Bohr ในอะตอมไฮโดรเจน อิเล็กตรอนที่สถานะถูกกระตุ้นที่ 3 จะมีโคจรเป็นวงกลมที่มีรัศมีเป็น กี่เท่าของ Bohr's radius (a_o)

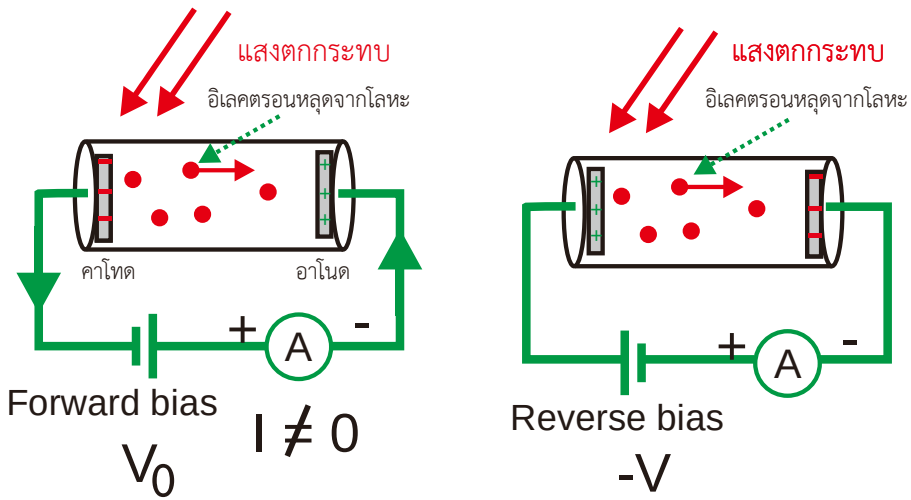
1) 4 เท่า 2) 9 เท่า 3) 16 เท่า 4) 25 เท่า 5)36 เท่า

ในอะตอมของไฮโดรเจน ถ้าอิเลคตรอนเคลื่อนที่จากชั้นสถานะถูกกระตุ้นที่ 2 ลงมาอยู่ที่ชั้นสถานะพื้น อะตอมจะปลดปล่อยโฟตอนที่มีความยาวคลื่นเท่าใด

1) 102 nm 2) 121 nm 3) 450 nm 4) 820 nm 5)1450 nm

- การที่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมาจากผิวโลหะเมื่อมีแสงตกกระทบ มีพลังงาน hf
- เมื่อความถี่ของแสงมากกว่า ความถี่ขั้นต่ำ f_0
- สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานโฟตอน กับอิเลคตรอนที่หลุดออกมา :

$$hf = K_{max} + \emptyset$$
$$hf = eV_0 + \emptyset$$



$\emptyset$ = ฟังก์ชั่นงาน *work function*
หรือ พลังงานยึดเหนี่ยว

K_{max} = พลังงานจลน์ที่อิเลคตรอนหลุดจากผิว
หรือ = eV_0 พลังงานที่ป้อนจากแบตเตอรี่

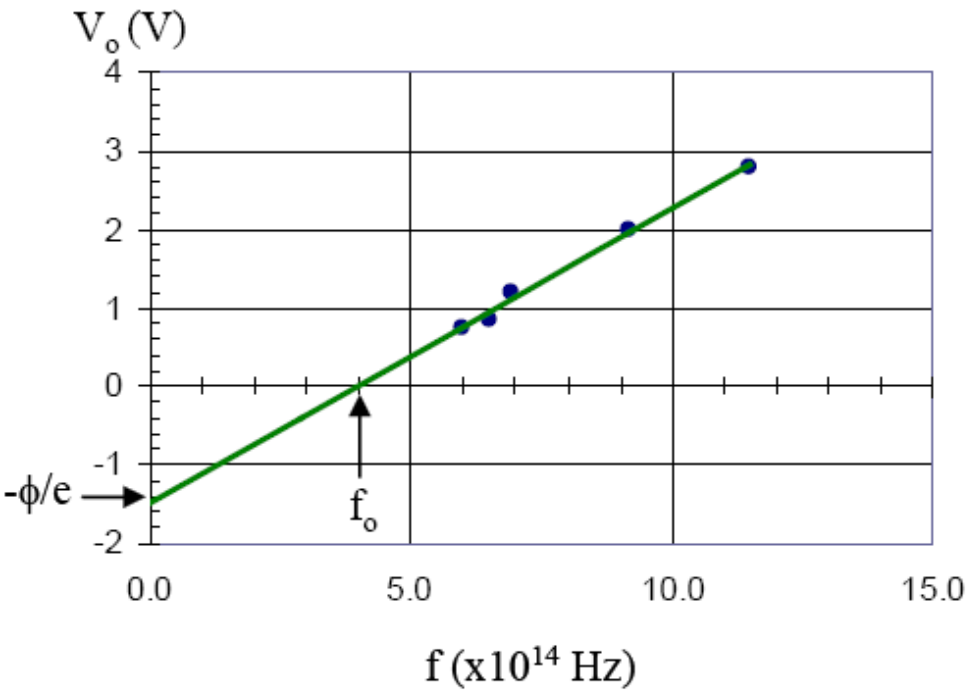
แรงดันไฟฟ้าศักย์หยุดยั้ง V_0 (stop voltage) เพื่อไม่ให้อิเลคตรอนวิ่งจากขั้วแคโทดไปยังอาโนด

$$hf = K_{max} + \emptyset$$
$$hf = eV_0 + \emptyset$$

$1\ ev = qV = 1.602\ X\ 10^{-19}$ (C) * V (volts)

$1\ ev = 1.602\ X\ 10^{-19}$ (J)

$h = 6.626\ X\ 10^{-34}\ J.s = 4.14\ X\ 10^{-15}\ eV.s$



$$hf = K_{max} + \emptyset$$
$$hf = eV_0 + \emptyset$$
$$eV_0 = hf - \emptyset$$

Plot V_0 กับ f

$$V_0 = \frac{hf}{e} - \frac{\emptyset}{e}$$

จุดตัดแกน Y: $-\frac{\emptyset}{e}$ ความชัน = $\frac{h}{e}$

จุดตัดแกน X: f_0 ค่าความถี่ขั้นต่ำ ——→ ค่าศักย์ไฟฟ้าหยุดยั้ง $V_0 = 0$

$$eV_0 = 0 = hf_0 - \emptyset \qquad f_0 = \frac{c}{\lambda_0}$$

$$hf = K_{max} + \emptyset$$
$$hf = eV_0 + \emptyset$$

เมื่อใช้แสงสีหนึ่งทำการทดลองโฟโตอิเล็กทริก ต้องใช้ค่าศักย์หยุดยั้ง 1.5 V

a) จงหาพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน

b) จงหาความเร็วสูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน

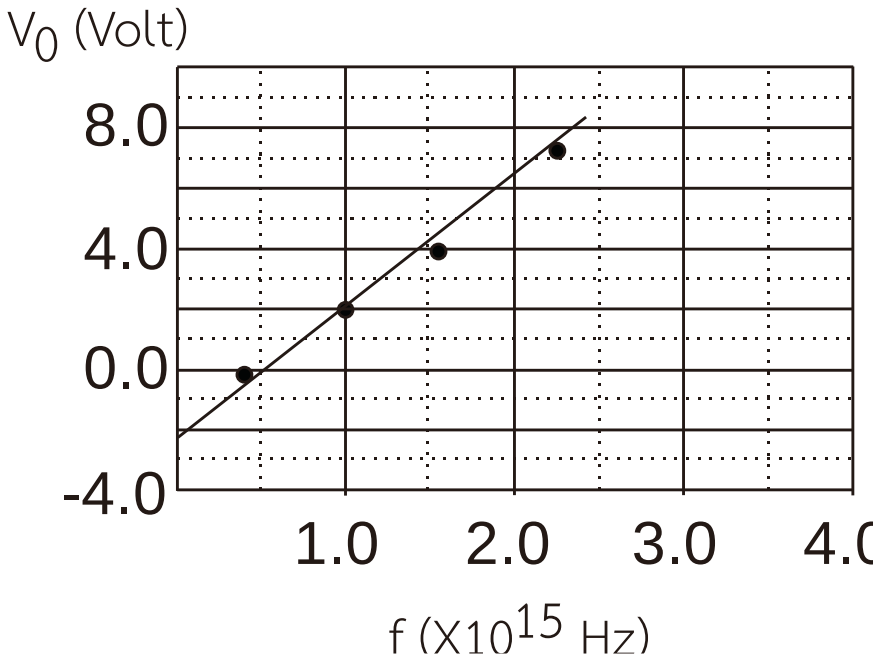
อิเล็กตรอนมีมวลเท่ากับ 9.1×10^{-31} kg

$$K_{max} = eV_0 = e * 1.5\ V = 1.5\ eV$$
$$= 1.5\ ev * \frac{1.602\ X\ 10^{-19}\ J}{1\ eV} = 2.403\ X\ 10^{-19}\ J$$

$$K_{max} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2K_{max}}{m}} = \sqrt{\frac{2 * 2.403\ X\ 10^{-19}\ J}{9.1\ X\ 10^{-31}\ kg}}$$

จากการทดลอง Photoelectric effect เมื่อใช้โลหะชนิดหนึ่ง
พบว่าข้อมูลระหว่าง ศักย์หยุดยั้ง และความถี่ของแสง เป็นไปตามกราฟ



โลหะนี้มีฟังก์ชันงานเท่าใด

1) 0.5 eV
2) 1.8 eV
3) 2.1 eV
4) 3.3 eV
5) 5.3 eV

แสงความยาวคลื่นใดต่อไปนี้ เมื่อนำมาฉายลงบนวัสดุนี้แล้วจะมี electron หลุดออกมา

1) 1200 nm
2) 1000 nm
3) 900 nm
4) 800 nm
5) 600 nm

ทองคำมีค่าฟังก์ชันงาน 5.1 eV

a) ถ้าใช้แสงความยาวคลื่น 200 nm จงหาพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน

b) จงหาความยาวคลื่นแสงที่สัมพันธ์กับความถี่ขั้นต่ำ f_0

ฉายแสงตกกระทบผิวโลหะที่มีค่าฟังก์ชันงานเท่ากับ 1.50 eV พบว่า ค่าศักย์หยุดยั้งมีค่า 4.5 V แสงที่ฉายนี้มี

1) พลังงานค่าเท่ากับเท่าใด
2) ค่าความคลื่นเท่ากับเท่าใด
3) ค่าความถี่ที่น้อยที่สุดของแสงตกกระทบ ที่สามารถทำให้อิเลคตรอนหลุดออกมา มีค่าเท่าใด