

# VẬT LÝ II

**TS. Ngô Văn Thanh,**  
*Viện Vật lý.*

***Chuyên ngành : Điện tử - Viễn thông , Công nghệ thông tin,  
Điện - Điện tử***

## *Phần III: VẬT LÝ LƯỢNG TỬ*

---

### **Chương 7: Quang học lượng tử.**

7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck

7.2 Hiệu ứng quang điện và thuyết photon Einstein

7.3 Hiệu ứng Compton

## 7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck

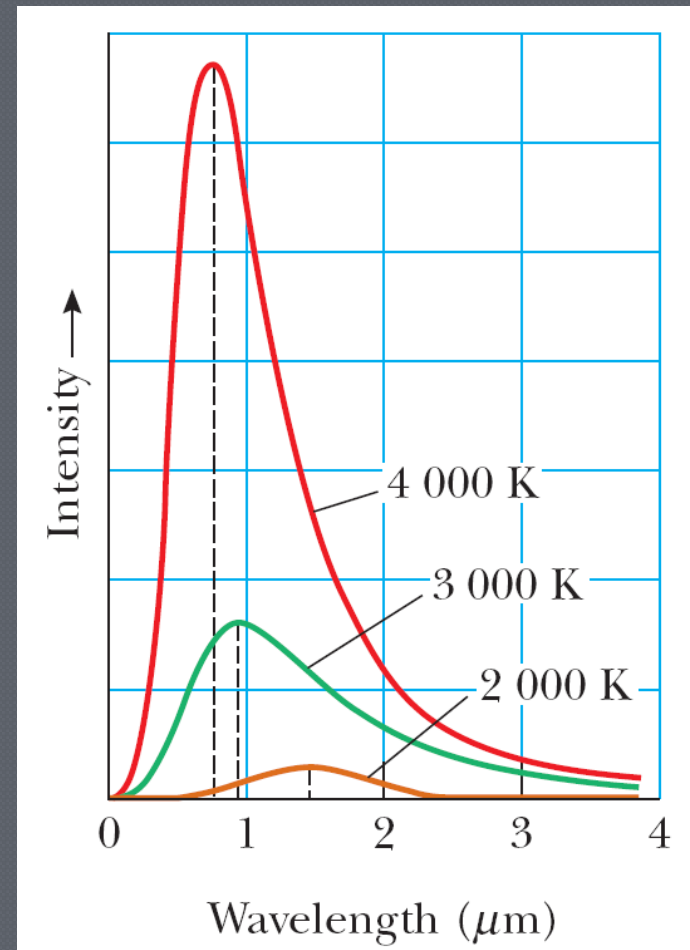
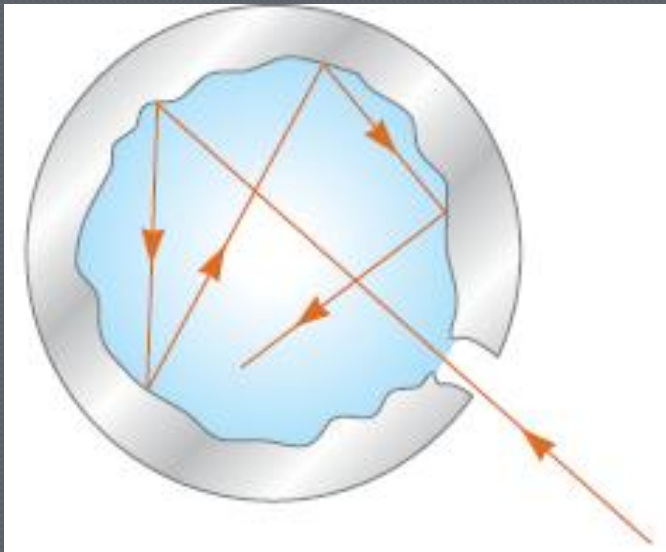
### 7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck.

- Sự ra đời của Cơ học lượng tử - Cơ học sóng.
  - Cuối thế kỷ 19, đầu thế kỷ 20: Lý thuyết tương đối đã giải thích được nhiều hiện tượng vật lý của các hệ có vận tốc chuyển động lớn.
  - Hạn chế: nhiều hiện tượng vẫn chưa giải thích được bằng cơ học cổ điển và quang học sóng:
    - Hiện tượng bức xạ điện từ phát ra từ các vật thể bị đốt nóng (bức xạ của các vật đen).
    - Hiện tượng quang điện: bức xạ điện tử khi chiếu ánh sáng trên bề mặt kim loại.
    - Tia bức xạ của khí nguyên tử trong ống phóng điện.
  - 1900-1930: Cơ học lượng tử hay cơ học sóng ra đời.
    - Giải thích được các hiện tượng vật lý trong thế giới vi mô: Nguyên tử, phân tử, hạt nhân.
    - Lý thuyết lượng tử: Thế giới vật chất mang lưỡng tính sóng-hạt.
    - Các nhà vật lý nổi tiếng: Einstein, Heisenberg, Bohr, Schrödinger, Planck...

# 7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck

## ➤ Vật đen:

- Là một hệ lý tưởng mà nó hấp thụ tất cả các bức xạ chiếu vào nó.
- Vật đen có thể được tạo ra bởi một lỗ nhỏ của một khối vật rỗng.
- Sự bức xạ trong vật đen qua một lỗ nhỏ chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của vỏ vật đen, không phụ thuộc vào thành phần cấu tạo nên vật đen và hình dạng của vật đen.



## 7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck

- Hiện tượng bức xạ nhiệt.
  - Trạng thái cơ bản: là trạng thái có năng lượng thấp nhất.
  - Trạng thái kích thích:
    - Khi nguyên tử, phân tử hấp thụ năng lượng, nó sẽ chuyển lên trạng thái kích thích.
    - Sau một thời gian, hệ sẽ chuyển về trạng thái cơ bản hoặc một trạng thái nào đó có năng lượng thấp hơn.
    - Trạng thái kích thích là trạng thái không bền.
  - Bức xạ: Khi hệ chuyển từ trạng thái kích thích có năng lượng cao về trạng thái có năng lượng thấp hơn thì nó sẽ giải phóng năng lượng dưới dạng sóng điện từ, gọi là bức xạ điện từ.
  - Bức xạ nhiệt: Quá trình phát ra bức xạ điện từ do kích thích nhiệt.
  - Trạng thái cân bằng động: Tại một nhiệt độ xác định, năng lượng nhiệt mà hệ hấp thụ đúng bằng năng lượng bức xạ.
  - Phổ bức xạ nhiệt là phổ liên tục có bước sóng từ vùng hồng ngoại, qua vùng khả kiến cho đến vùng tử ngoại.
  - Phổ bức xạ nhiệt phụ thuộc vào nhiệt độ và cấu tạo của vật.

## 7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck

### ➤ Các đại lượng đặc trưng.

- Xét phần diện tích  $dS$  ở mặt ngoài của vật.
- Vật phát xạ ở trạng thái cân bằng tại nhiệt độ  $T$ . Vật phát xạ ra mọi bức xạ điện từ có tần số từ bé đến lớn:  $\nu_{\min} \rightarrow \nu_{\max}$
- Năng thông bức xạ: năng lượng bức xạ phát ra từ  $dS$  trong một đơn vị thời gian, các bức xạ điện từ có tần số trong khoảng  $\nu, \nu + d\nu$

$$dW_p(\nu, T) = r(\nu, T) \cdot dS \cdot d\nu$$

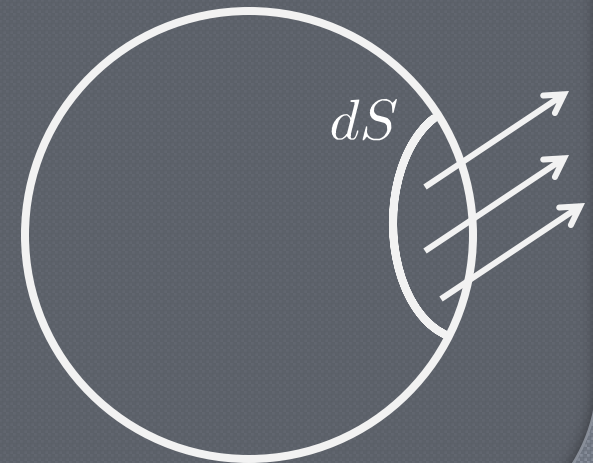
- $r(\nu, T)$ : năng suất phát xạ đơn sắc ứng với tần số  $\nu$  tại nhiệt độ  $T$ .
- Năng suất phát xạ toàn phần hay độ đặc trưng của vật phát xạ:

$$R(T) = \int_0^{\infty} r(\nu, T) d\nu$$

- Hệ số hấp thụ đơn sắc:

$$a(\nu, T) = \frac{dW_t(\nu, T)}{dW(\nu, T)} \leq 1$$

- $dW_t(\nu, T)$ : năng thông bị hấp thụ bởi phần  $dS$ .
- $a(\nu, T) = 1$ : vật đen tuyệt đối.



## 7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck

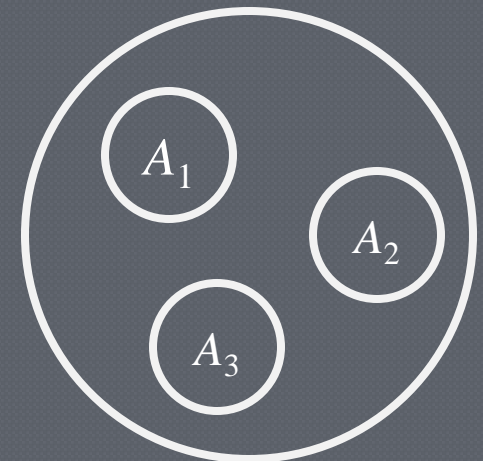
### ➤ Định luật Kirchhoff.

- Xét hệ gồm một bình kín cách nhiệt, bên trong có các vật  $A_1, A_2, A_3$  cùng phát xạ và hấp thụ nhiệt.
- Ở trạng thái cân bằng, vật hấp thụ nhiệt mạnh thì cũng bức xạ mạnh. Khả năng hấp thụ và bức xạ tỷ lệ thuận với nhau.

$$\frac{r_1(\nu, T)}{a_1(\nu, T)} = \frac{r_2(\nu, T)}{a_2(\nu, T)} = \dots = \frac{r_n(\nu, T)}{a_n(\nu, T)}$$

- Hàm phổ biến:

$$f(\nu, T) = \frac{r(\nu, T)}{a(\nu, T)}$$



- ➡ *Tỷ số giữa năng suất phát xạ đơn sắc và hệ số hấp thụ đơn sắc của cùng một vật ở một nhiệt độ nhất định là một hàm chỉ phụ thuộc vào tần số bức xạ và nhiệt độ mà không phụ thuộc vào bản chất của vật đó.*
- Xét trường hợp vật đen tuyệt đối:  $a(\nu, T) = 1$ 
$$f(\nu, T) = r(\nu, T)$$
- ➡ Hàm phổ biến chính là năng suất phát xạ của vật đen tuyệt đối ứng với tần số  $\nu$  và nhiệt độ  $T$ .

## 7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck

- Thuyết lượng tử Planck.
- Sự thất bại của thuyết sóng ánh sáng trong việc giải thích hiện tượng bức xạ nhiệt.

- Lý thuyết bức xạ điện từ cổ điển cho hàm phổ biến (Rayleigh và Jeans):

$$f(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} k_B T$$

- $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$  là hằng số Boltzmann.
- Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối:

$$R(T) = \int_0^{\infty} r(\nu, T) d\nu = \int_0^{\infty} f(\nu, T) d\nu$$

$$R(T) = \int_0^{\infty} \frac{2\pi\nu^2}{c^2} k_B T d\nu = \infty$$

- Khi tần số bức xạ càng lớn thì năng suất phát xạ toàn phần càng lớn và tiến tới vô cùng.
- Bế tắc này còn được gọi là *khủng hoảng vùng tử ngoại*.



## 7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck

- Thuyết lượng tử Planck (1900): thuyết lượng tử năng lượng.
  - Các nguyên tử, phân tử phát xạ hay hấp thụ năng lượng của một bức xạ điện từ một cách gián đoạn. Phần năng lượng phát xạ hay hấp thụ bằng bội số nguyên của một lượng năng lượng vô cùng bé mà nó được gọi là “lượng tử năng lượng” (quantum energy).
  - Lượng tử năng lượng ứng với một bức xạ điện từ có tần số  $\nu$  (bước sóng  $\lambda$ ):

$$\epsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}; \quad h = 6,625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

- Công thức Planck:

$$f(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1}$$

- Giới hạn cổ điển: Khi nhiệt độ lớn

$$\frac{h\nu}{k_B T} \ll 1 \Rightarrow \exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1 \approx \frac{h\nu}{k_B T}$$

$$f(\nu, T) \approx \frac{2\pi\nu^2}{c^2} k_B T : \text{ chính là biểu thức của Rayleigh và Jeans}$$

## 7.1 Bức xạ nhiệt và thuyết lượng tử Planck

- Các định luật bức xạ của vật đen tuyệt đối.
- Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối:

$$R(T) = \int_0^{\infty} f(\nu, T) d\nu = \int_0^{\infty} \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1} d\nu$$

- Sử dụng phép đổi biến  $x = \frac{h\nu}{k_B T}$  ta có:

$$R(T) = \frac{2\pi k_B^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \sigma T^4; \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

- $\sigma$  là hằng số Stefan-Boltzmann.
- Bước sóng ứng với giá trị cực đại của năng suất bức xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối tỷ lệ nghịch với nhiệt độ.

$$\lambda_m = \frac{b}{T}; \quad b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$$

- với  $b$  là hằng số Wien.