

[第12回目]物質波(電子の波動性)

今日の授業の目標

- 全ての物質は粒子性と波動性の両方の性質をもつ(二重性)

電子波(物質波)

電子の運動量  $p = mv$  [kg m/s] と波長  $\lambda$  [m] の間の関係は,

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  : プランク定数  
( $\text{J}\cdot\text{s} = \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s} = \text{kg m/s}^2 \cdot \text{m}\cdot\text{s} = \text{kg m/s}\cdot\text{m}$ )

$\lambda$  : 物質波の波長(ド・ブロイ波長) [m]

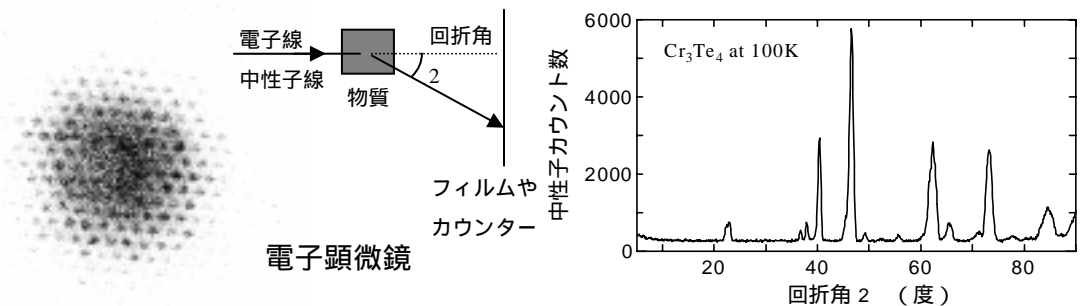
電子のエネルギー  $E$  [J] と振動数  $\nu$  [Hz] の間の関係は,

$$E = h\nu$$

$\nu$  : 物質波の振動数 [Hz] = [ $\text{s}^{-1}$ ]

物質波の例

- 雲母の結晶による電子線回折(菊地正士)
- 中性子回折(中性子波を利用する実験)



電子の粒子性: 微弱な電子ビームを使って, 回折パターンを写真フィルムやカウンターで観測すると, 電子は1個, 2個と数えられる。

次回予定 [第13回目] 水素原子のボーア・モデル(教科書 170 ページまで)

\*\*\*\*\*

レポート問題 第12回目(右側の半分の解答用紙を切り取って提出しなさい)

数値で計算する問題は, 答えにも必ず単位をつけること!

- B... 問1 金属亜鉛(Zn)に, 振動数が  $\nu = 1.0 \times 10^{15} \text{ Hz}$  の光(紫外線)をあてた。Znの仕事関数(電子が金属の外へ出るために必要な最小のエネルギー)は  $W = 4.1 \text{ eV}$  である。真空中に電子が飛び出してくるかこないかを考えよ。  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$  である。
- B... 問2 教科書の問6.5を答えよ。(電子銃の陰極から取り出した電子を, 陽極との間に加えた  $V = 150 \text{ V}$  の電圧によって加速する。陽極の穴を通過した電子に伴う電子波の波長  $\lambda$  を求めよ。)
- 問3 平均原子間隔が  $l = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}$  である希薄な  $^{87}\text{Rb}$  (ルビジウム) 原子の気体を考える。(  $^{87}\text{Rb}$  原子の質量は  $m = 1.44 \times 10^{-25} \text{ kg}$ 。 ) 超低温で,  $^{87}\text{Rb}$  原子の物質波の波長  $\lambda$  と原子間隔  $l$  がほぼ等しくなると, 量子力学的効果により, 超流動という状態になる。ここで,  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$  はボルツマン定数である。
- A... 絶対温度  $T = 3.00 \times 10^{-8} \text{ K}$  のときの  $^{87}\text{Rb}$  気体の熱運動の平均エネルギー  $E = \frac{3}{2} kT$  を求めよ。
- A... の  $E$  を用い  $E = \frac{1}{2} mv^2$  から速さ  $v$  を求めよ。(  $m = 1.44 \times 10^{-25} \text{ kg}$  に注意 )
- B... の  $v$  を用いて,  $^{87}\text{Rb}$  原子の平均の運動量  $p = mv$  を求めよ。(  $m = 1.44 \times 10^{-25} \text{ kg}$  )
- B... の  $p$  から物質波の波長  $\lambda$  を求め,  $l$  と比べよ。[教科書 161 ページの式(6.11)を使う]

解答用紙 ( 曜 限) 学籍番号 \_\_\_\_\_ 氏名 \_\_\_\_\_

数値で計算する問題は、答えにも必ず単位をつけること!

問1 振動数が  $\nu = 1.0 \times 10^{15}$  Hz の光子のエネルギー  $E$  は、

$$E = \quad \quad \quad [J]$$

$$= \quad \quad \quad [eV]$$

である。Zn の仕事関数は  $W = 4.1 \text{ eV}$  だから、 $E$  不等号  $W$  である。

したがって、電子は 飛び出してくる・飛び出さない。

問2

問3 (原子番号 37 番の  $^{87}\text{Rb}$  原子のような重い粒子でも波の性質をもつこと)  
ボルツマン定数  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K だから、絶対温度  $T = 3.00 \times 10^{-8}$  K のとき、

$$\text{熱運動の平均エネルギー } E = \frac{3}{2} kT = \quad \quad \quad [J]$$

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \text{ から } v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \quad \quad \quad [m/s]$$

$$\text{運動量 } p = m v = \quad \quad \quad [kg \cdot m/s]$$

$$\text{波長 } \lambda = \frac{h}{p} = \quad \quad \quad [m]$$

$\lambda$  は  $^{87}\text{Rb}$  気体の平均間隔  $l = 1 \times 10^{-6} \text{ m} = 1 \mu\text{m}$  と比べて 非常に大きい・同じ程度・非常に小さい。

このように、熱運動の運動量から決まる物質波の波長(熱ド・プロイ波長)が、原子の平均間隔  $l$  程度になると、量子力学的効果が顕著になる。(量子気体といい、もはや  $pV = nRT$  は成り立たない。)このような超低温で  $^{87}\text{Rb}$  気体はボーズ・アインシュタイン凝縮を起こし、超流動状態になる。(2001年のノーベル物理学賞)

このレポートをやるのに \_\_\_\_\_ 時間 \_\_\_\_\_ 分、

それ以外に基礎物理の予習復習を \_\_\_\_\_ 時間 \_\_\_\_\_ 分した。