

第 1 章

問 1

元素の原子量は、同位体の相対原子質量にそれぞれの存在比をかけて、その加重平均となる。

$$27.9769 \times 0.9223 + 28.9765 \times 0.0467 + 29.9738 \times 0.0310 = \mathbf{28.0855}$$

問 2

問 1 で求めたように、ケイ素の原子量は 28.0855 なので、モル質量は $28.0855 \text{ g mol}^{-1}$ となる。

$$\text{Si の物質質量} = 10.0 \text{ g} / 28.0855 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0.356 \text{ mol}}$$

$$\text{原子の数} = 0.356 \text{ mol} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = \mathbf{2.14 \times 10^{23}}$$

高純度シリコンは、シリコンウエハや太陽電池などに使われている。高純度のものは、15N (99.9999999999999%) の純度である。原子レベルで考えると、高純度シリコン 10.0 g には、どのくらい(何原子)の不純物(ケイ素以外の原子)が存在するか、計算してみよう。

$$(2.14 \times 10^{23}) \times (1 \times 10^{-15}) = 2.14 \times 10^8$$

問 3

KCl の式量は $39.0983 + 35.4527 = 74.5510$ である。1 mol の質量は 74.5510 g であるので、塩化カリウム 10.00 g の物質質量は、

$$10.00 \text{ g} / 74.5510 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0.1341 \text{ mol}}$$

となる。

問 4

光を波として考える。

$$\text{振動数 } \nu[\text{s}^{-1}] = \frac{c_0[\text{ms}^{-1}]}{\lambda[\text{m}]}$$

問 5

(1) 問 4 の式に代入する。

$$\nu = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ ms}}{0.124 \text{ m}} = 2.11 \times 10^9 \text{ s}^{-1} = \mathbf{2.11 \text{ GHz}}$$

携帯電話で使われる周波数帯(バンド)に相当する。

(2)

$$\nu = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ ms}}{500 \times 10^{-9} \text{ m}} = \mathbf{6.00 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}}$$

問 6

光電効果により、1 個の電子が飛び出すときの最大の運動エネルギーは(1-14)式で表される。500 nm の電磁波の振動数 ν は、5 で求めたように、 $6.00 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ である。

$$\begin{aligned} E_{\max} &= h\nu - \phi = (6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}) \times (6.00 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}) - (3.69 \times 10^{-19} \text{ J}) \\ &= \mathbf{2.9 \times 10^{-20} \text{ J}} \end{aligned}$$

問 7

ド・ブロイ波の波長は、(1-15)式で表される。

よって、

$$\lambda = \frac{h}{m\nu} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{50 \text{ kg} \times 1 \text{ ms}^{-1}} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ s}}{50 \text{ kg ms}^{-1}} = \mathbf{1.33 \times 10^{-35} \text{ m}}$$

このように運動している人間を粒子としてみたときの物質波は、人の長さよりもずっと短い。

問 8

電子の運動エネルギーと加速された電子のエネルギーは等しい。電子の質量を $9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、電子の速度を v とすると、

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times (9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}) \times v^2 = 10\text{eV}^{-1}$$

よって、

$$v^2 = \frac{2 \times 1.602 \times 10^{-18} \text{ J}}{9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}} = \frac{2 \times 1.602 \times 10^{-18} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}}{9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}} = \mathbf{3.517 \times 10^{12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}}$$

算出された電子の速度 $v = 1.875 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$ を、ド・ブROI波の式(1-15)に代入すると、

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}) \times (1.875 \times 10^6 \text{ ms}^{-1})} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ s}}{1.708 \times 10^{-24} \text{ kg ms}^{-1}} = 3.88 \times 10^{-10} \text{ m}$$

となる。この電子のド・ブROI波の波長は、原子の大きさと同程度 (10^{-10} m 程度) であることがわかる。

問 9

バルマー系列の輝線は、 $n = 2$ への電子の遷移によっておこる。よって、 $n = 3$ から $n = 2$ への遷移がもっとも長波長(低エネルギー)となる。

n 番目の軌道のエネルギー E_n は(1-10)式で表されるので、 E_{n2} と E_{n1} のエネルギー差 ΔE は

$$\Delta E = E_{n2} - E_{n1} = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

となる。 $n = 3$ の状態から $n = 2$ の状態に遷移するときのエネルギーの変化は

$$\begin{aligned} \Delta E = E_3 - E_2 &= -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})}{8 \times (8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1})^2 \times (6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}^{-1})^2} \times \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2} \right) \\ &= 3.01 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\Delta E = h\nu = h \times \frac{c_0}{\lambda}$$

なので、

$$\lambda = \frac{hc_0}{\Delta E} = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}^{-1}) \times (2.998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{(3.01 \times 10^{-19} \text{ J})} = 660 \times 10^{-9} \text{ m}$$

660 nm (赤色) となる。

問 10

	電子配置	不対電子の数
${}_7\text{N}$	$1s^2 2s^2 2p^3$ [He] $2s^2 2p^3$	3
${}_8\text{O}$	$1s^2 2s^2 2p^4$ [He] $2s^2 2p^4$	2
${}_{16}\text{S}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ [Ne] $3s^2 3p^4$	2

${}_{12}\text{Mg}^{2+}$	$1s^2 2s^2 2p^6$ [Ne]	0
${}_{17}\text{Cl}^-$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ [Ar]	0
${}_{26}\text{Fe}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ [Ar]3d ⁶ 4s ²	4
${}_{22}\text{Ti}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$ [Ar]3d ² 4s ²	2

問 11

1つの周期の中では、最外殻の電子の主量子数は等しい。一方、原子番号が大きくなると、原子核の核電荷は次第に大きくなっていき、電子を強く引き付けることになる。このため、1つの周期の中では、原子番号が大きくなるほど、原子半径が①(小さく)なる。

1つの族の中では、周期表の下にいくほど、最外殻の電子の主量子数は大きくなり、電子軌道が広がる。このため、1つの族の中では、下に行くほど原子半径は②(大きく)なる。

電氣的に中性の原子、たとえばナトリウム原子が最外殻の電子を1つ失いナトリウムイオンになると、電子配置は $1s^2 2s^2 2p^6$ となる。原子核の核電荷は $+11e$ なので、最外殻の電子はより強く引き付けられる。このため、陽イオンのイオン半径は、その原子半径よりも③(小さく)なる。

ナトリウムイオンもマグネシウムイオンもフッ化物イオンも、電子配置は同じ $1s^2 2s^2 2p^6$ である。それぞれの原子は ${}_{11}\text{Na}$, ${}_{12}\text{Mg}$, ${}_{9}\text{F}$ であるので、マグネシウムイオンの核電荷が一番大きい。よって、ナトリウムイオンの半径はマグネシウムイオンの半径よりも④(大きい)。ナトリウムイオンの半径はフッ化物イオンの半径よりも⑤(小さい)。