

第1章 原子と分子

[この章の学習目標] 原子と分子及びモルに関する知識

(1) 元素

元素(element), 原子番号(atomic number)

表1. 元素の周期表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1.01																	2 He 4.00
2	3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
3	11 Na 23.00	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.89	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.48	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc [99]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
6	55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57~71 *	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.21	83 Bi 208.98	84 Po [210]	85 At [210]	86 Rn [222]
7	87 Fr [223]	88 Ra [226]	89~103 **	104 Unq [261]	105 Unp [262]	106 Unh [263]	107 Uns [262]	108 Uno [265]	109 Une [266]	* ランタノイド元素 ** アクチノイド元素								

*	57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm [145]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
**	89 Ac [227]	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np [237]	94 Pu [239]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [252]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [256]	102 No [259]	103 Lr [260]

(2) 原子

原子(atom), 陽子(proton), 中性子(neutron), 電子(electron), 同位体(isotope)

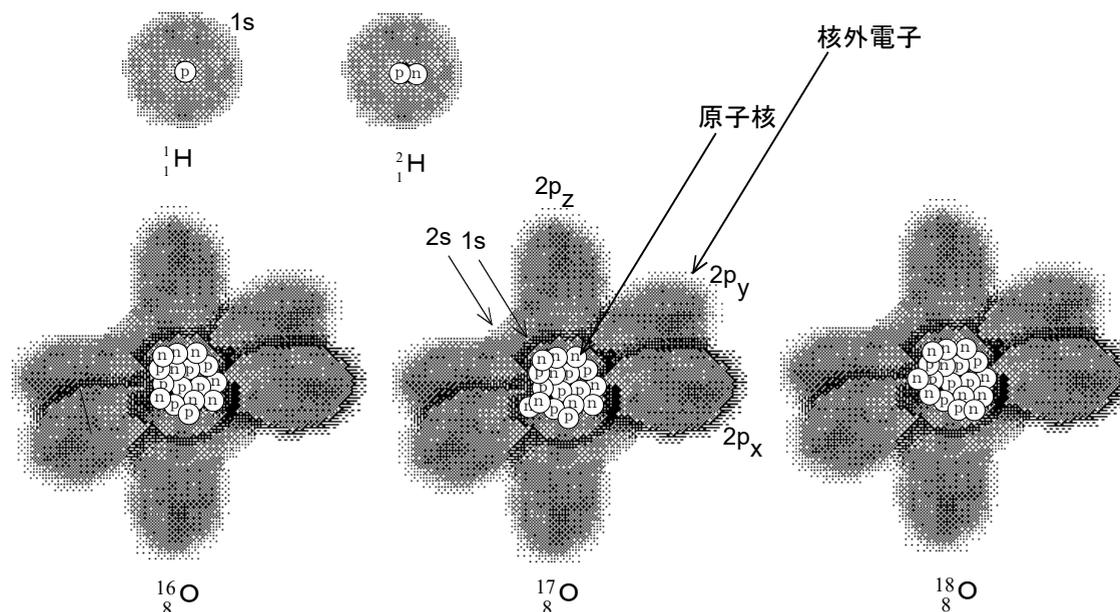


図1. 原子核と核外電子

主量子数 (n), 方位量子数 (l), 磁気量子数 (m), スピン量子数 (s), パウリの原理 (Pauli's principle)

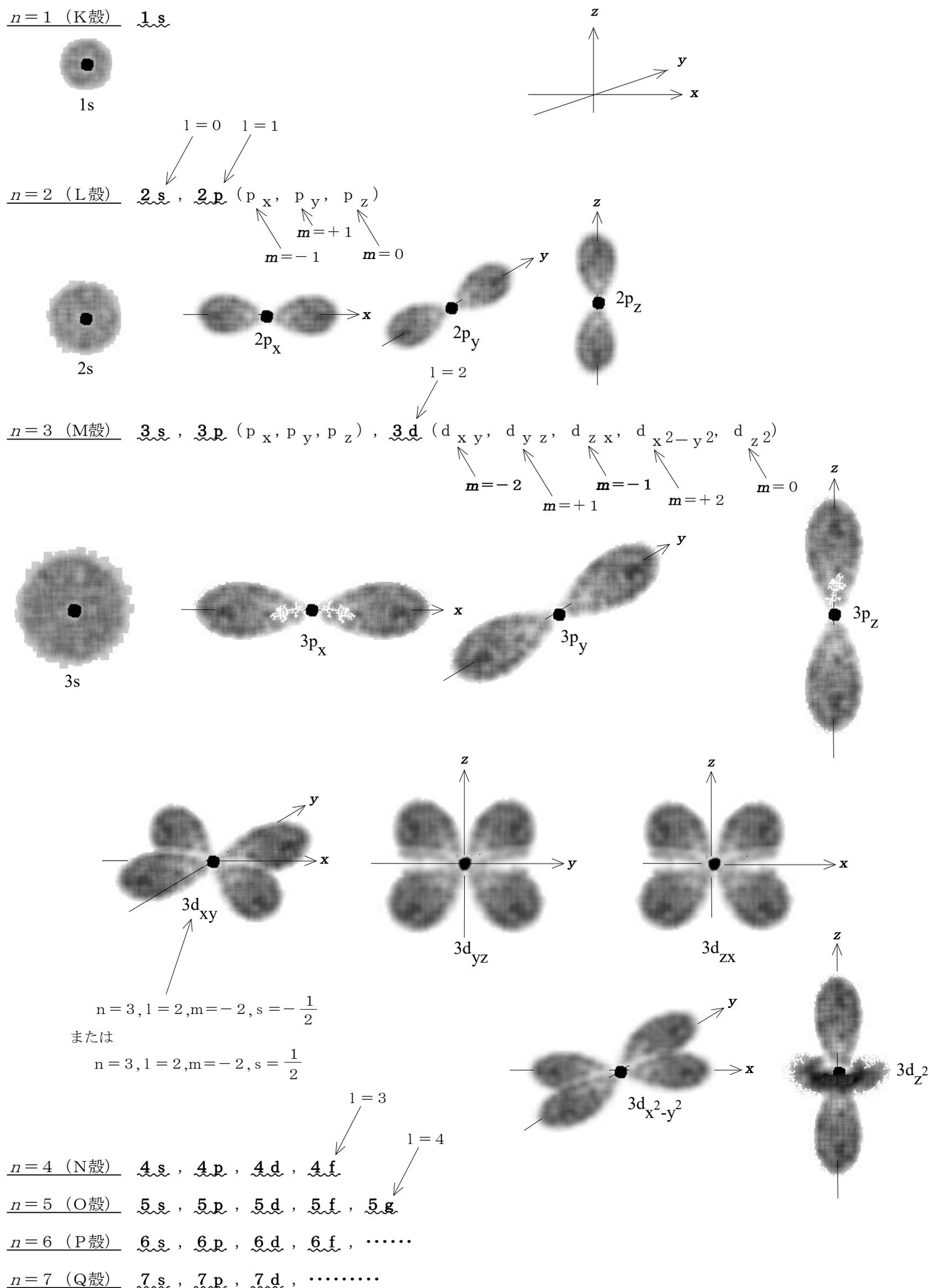


図2. 電子が存在する領域

[エネルギー準位 1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < 5d < 6p < 7s < 5f < 6d]

[補足1] 電子の波動関数

$$\begin{aligned}
 1s \quad \psi_{1s} &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} \exp(-\rho/2) \\
 2s \quad \psi_{2s} &= \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} (2-\rho) \exp(-\rho/2) \\
 2p_x \quad \psi_{2p_x} &= \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} \rho \exp(-\rho/2) \sin\theta \cos\phi \\
 2p_y \quad \psi_{2p_y} &= \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} \rho \exp(-\rho/2) \sin\theta \sin\phi \\
 2p_z \quad \psi_{2p_z} &= \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} \rho \exp(-\rho/2) \cos\theta \\
 3s \quad \psi_{3s} &= \frac{1}{18\sqrt{3\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} (6-6\rho+\rho^2) \exp(-\rho/2) \\
 3p_x \quad \psi_{3p_x} &= \frac{1}{18\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} (4\rho-\rho^2) \exp(-\rho/2) \sin\theta \cos\phi \\
 3p_y \quad \psi_{3p_y} &= \frac{1}{18\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} (4\rho-\rho^2) \exp(-\rho/2) \sin\theta \sin\phi \\
 3p_z \quad \psi_{3p_z} &= \frac{1}{18\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} (4\rho-\rho^2) \exp(-\rho/2) \cos\theta \\
 3d_{xy} \quad \psi_{3d_{xy}} &= \frac{1}{36\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} (4\rho-\rho^2) \exp(-\rho/2) \sin^2\theta \sin 2\phi \\
 3d_{yz} \quad \psi_{3d_{yz}} &= \frac{1}{36\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} (4\rho-\rho^2) \exp(-\rho/2) \sin 2\theta \sin\phi \\
 3d_{zx} \quad \psi_{3d_{zx}} &= \frac{1}{36\sqrt{2\pi}} \left(\frac{z}{a_0}\right)^{3/2} (4\rho-\rho^2) \exp(-\rho/2) \sin 2\theta \cos\phi \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

(3) アボガドロ数とモル

[問1] 質量数12の炭素原子1個の質量は、 1.99265×10^{-23} gである。この質量数12の炭素原子12 g中に含まれている原子の数を求めよ。 《 6.022×10^{23} (個)》

[補足2] 炭素原子について、つぎの比例関係を利用する。

原子の数(1個)	原子の数(x個)	原子1個の質量	原子の質量(12 g)
1個	: x個	= 1.99265×10^{-23} g	: 12 g

アボガドロ数(Avogadro's number)

$$N_A = 6.02214199 \times 10^{23} [\text{mol}^{-1}] \quad \dots (1)$$

[問2] 鉄1 gには、その原子が 1.0783×10^{22} 個ある。この 1.0783×10^{22} 個を、単位 [mol] で表わせ。
《 0.017906 mol 》

[補足3] つぎの比例関係を利用する。

$$\begin{array}{ccccccc} 1 \text{ molの原子数} & & \text{鉄1 gの原子の数} & & \text{原子の量(1 mol)} & & \text{原子の量(鉄1 gの)} \\ 6.022 \times 10^{23} \text{ 個} & : & 1.0783 \times 10^{22} \text{ 個} & = & 1 \text{ mol} & : & \text{x mol} \end{array}$$

[補足4] 「原子の数」と「原子の量」

「原子の数」 ← 原子を個数で表す場合を、「原子の数」と表現する。

「原子の量」 ← 原子を[mol]単位で表す場合を、「原子の量」と表現する。「モル数」と呼ばれることが多いが、長さを示すときに「メートル数」をいう表現が「不自然」であるように、「モル数」も不適切な表現である。「モル」を使いたいのであれば、「モル単位で表した量」とすべきであろう。(原子量は atomic weight で別のことを表している。weight を量と和訳したのは、好ましくない。)

[問3] 1 kgの水には55.508 molの水の分子がある。これを個数に換算せよ。 《 3.343×10^{25} (個) 》

[補足5] 「分子の数」と「分子の量」

「分子の数」 ← 原子と同様に、分子を個数で表す場合を「分子の数」と表現する。

「分子の量」 ← 原子と同様に、分子を[mol]単位で表す場合を、「分子の量」と表現する。(分子量は molecular weight で別のことを表している。)

(4) 原子量

原子量 (atomic weight)

[問4] アルミニウム原子1個の質量は 4.4804×10^{-23} gである。アルミニウムの原子量を求めよ。
《 26.982 》

[問5] フッ素原子1個の質量は 3.15476×10^{-23} gである。フッ素の原子量を求めよ。 《 18.998 》

[問6] 塩素は、 $^{35}\text{C}1$ (1 molの質量: 34.969) と $^{37}\text{C}1$ (1 molの質量: 36.966) の2つの同位体の混合物で、それぞれ、75.78% ($^{35}\text{C}1$) と、24.22% ($^{37}\text{C}1$) の割合である。塩素の原子量を求めよ。 《 35.45 》

[補足6] $^{35}\text{C}1$ の原子1個の質量と、 $^{37}\text{C}1$ の原子1個の質量を求めると、

$$^{35}\text{C}1 \text{ 原子は、} 34.969 / 6.022 \times 10^{23} = 5.807 \times 10^{-23} \text{ g}$$

$$^{37}\text{C}1 \text{ 原子は、} 36.966 / 6.022 \times 10^{23} = 6.138 \times 10^{-23} \text{ g}$$

である。また、塩素1 molは、

$$6.022 \times 10^{23} \text{ 個} \times 75.78\% (= 4.563 \times 10^{23} \text{ 個}) \text{ の} ^{35}\text{C}1 \text{ 原子と、}$$

$$6.022 \times 10^{23} \text{ 個} \times 24.22\% (= 1.459 \times 10^{23} \text{ 個}) \text{ の} ^{37}\text{C}1 \text{ 原子}$$

からできている

[問7] 炭素は、 ^{12}C (1 molの質量: 12 定義) と ^{13}C (1 molの質量: 13.003) の2つの同位体の混合物で、それぞれ、98.93% (^{12}C) と 1.07% (^{13}C) の割合である。炭素の原子量を求めよ。 《 12.01 》

(5) 分子量と化学式量

分子量(molecular weight), 化学式量(formula weight)

[問8] 水素の原子量は1.00794である。水素(H_2)の分子量を求めよ。 《 2.016 》

[問9] 窒素の原子量は14.0067である。窒素(N_2)の分子量を求めよ。 《 28.013 》

[問10] 水素の原子量は1.00794, 窒素の原子量は14.0067である。アンモニア(NH_3)の分子量を求めよ。
《 17.031 》

[問11] アルミニウム原子量は26.981538, フッ素の原子量は18.9984032である。フッ化アルミニウム(AlF_3)の化学式量を求めよ。 《 83.976 》

[問12] 鉄の原子量は55.854, 塩素の原子量は35.453である。塩化鉄(III)(FeCl_3)の化学式量を求めよ。
《 162.213 》

(6) 物質質量

モル(mole, [mol])

[問13] アルミニウム原子量は26.981538である。アルミニウム5.000 gに含まれているアルミニウム原子の量を求めよ。 《 0.1853 mol 》

[問14] 鉄の原子量は55.854である。鉄5.000 gに含まれている鉄原子の量を求めよ。
《 0.08952 mol 》

[問15] アンモニア(NH_3)の分子量は17.031である。アンモニア5.000 gに含まれているアンモニア分子の量を求めよ。 《 0.2936 mol 》

[問16] フッ化アルミニウム(AlF_3)の化学式量は83.976である。フッ化アルミニウム5.000 gに含まれているアルミニウム原子の量を求めよ。 《 0.05954 mol 》

[問17] フッ化アルミニウム(AlF_3)の化学式量は83.976である。フッ化アルミニウム5.000 gに含まれているフッ素原子の量を求めよ。 《 0.1786 mol 》