

Znaki informacyjne w równaniach chemicznych:

- ↑ produkt w stanie lotnym opuszcza środowisko reakcji,
- ↓ produkt strąca się w postaci osadu,
- (s) substancja stała,
- (c) substancja ciekła,
- (g) substancja gazowa,
- (r) substancja w roztworze,
- (aq) substancja w roztworze wodnym.

**Schemat reakcji** – umowny zapis informujący o rodzaju przemiany, jakiej uległ substrat stanowiący obiekt zainteresowania. W schemacie reakcji nie podaje się współczynników stechiometrycznych, ale można określić warunki przemiany. Uogólniając: w schemacie reakcji umieszczamy to, co chcemy przekazać adresatowi, a nie umieszczamy informacji dla niego nieistotnych.

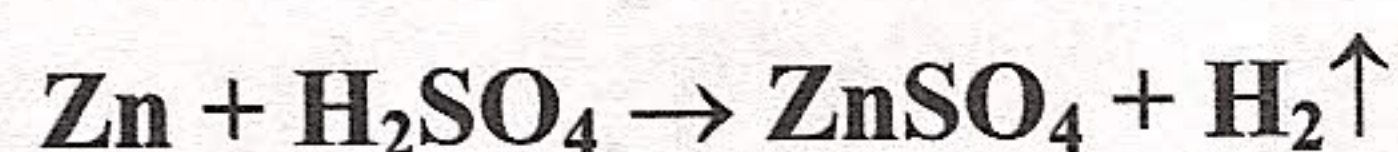
**Prawo okresowości w ujęciu makroskopowym:** właściwości pierwiastków zmieniają się okresowo ze wzrostem liczby atomowej.

Prawo okresowości w ujęciu mikroskopowym – patrz p. 2.3.

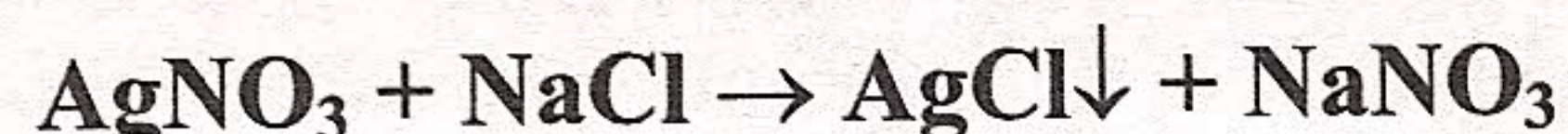
**Liczba atomowa** – patrz p. 2.1.

**Tablica Mendelejewa** (układ okresowy pierwiastków) – tablica wszystkich pierwiastków uporządkowanych w kolumny pionowe – grupy, i szeregi poziome – okresy. Zarówno w grupach jak i w okresach wzrasta liczba atomowa ( $Z$ ) pierwiastków i niemal zawsze wzrasta ich masa atomowa (patrz niżej).

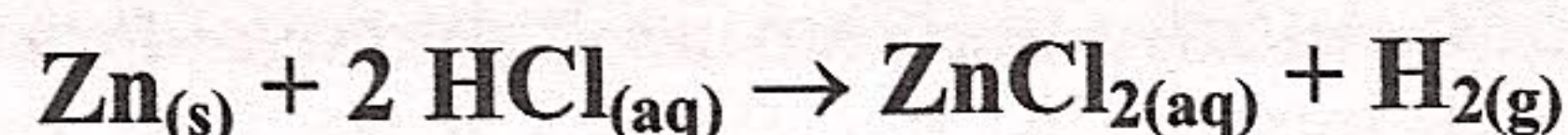
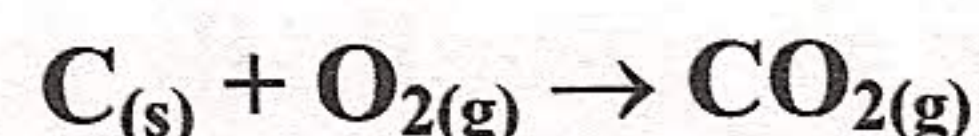
W miarę potrzeby równanie chemiczne uzupełnia się dodatkowymi znakami informacyjnymi. Strzałka pionowa z grotem skierowanym do góry ( $\uparrow$ ), umieszczona za wzorem chemicznym, oznacza, że substancja opuszcza środowisko reakcji w stanie lotnym, na przykład:



Strzałka skierowana odwrotnie ( $\downarrow$ ) sygnalizuje strącanie się substancji w postaci stałej (w formie tzw. osadu), na przykład:



Stan skupienia reagenta można zaznaczyć, umieszczając za jego wzorem w prawym dolnym narożu (obok indeksu stechiometrycznego) odpowiednią literę w nawiasie: (s) – substancja stała, (c) – substancja ciekła, (g) – substancja gazowa, (r) – substancja w roztworze, (aq) – substancja w roztworze wodnym (od łacińskiego *aqua* – woda), na przykład:



**SCHEMATY REAKCJI.** Oprócz równań chemicznych można do opisu przemian substancji stosować tzw. **schematy reakcji**. Są to umowne zapisy bez współczynników stechiometrycznych, informujące o rodzaju przemiany, jakiej uległ substrat stanowiący obiekt zainteresowania i – ewentualnie – warunki, w jakich ta przemiana zachodzi (np. podana nad strzałką lub pod nią temperatura, katalizator, rozpuszczalnik). Nad strzałką można też zapisać – ze znakiem plus – substrat (substraty) reakcji, których nie podano po lewej stronie schematu. Analogicznie, pod strzałką, można zapisać – ze znakiem minus – produkt (produkty) nie podane po prawej stronie schematu. Na przykład:

| Równanie chemiczne                                                                          | Schemat reakcji                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{kat.}} 2 \text{SO}_3$                        | $\text{SO}_2 \xrightarrow{\text{kat.}} \text{SO}_3$ lub $\text{SO}_2 \xrightarrow[\text{katalizator}]{+\text{O}_2} \text{SO}_3$ |
| $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{kat. temp.}} 3 \text{H}_2 + \text{CO}$ | $\text{CH}_4 \xrightarrow[-\text{CO}]{+\text{H}_2\text{O, kat. temp.}} \text{H}_2$                                              |

## 1.3. Tablica Mendelejewa

**PRAWO OKRESOWOŚCI.** Na Ziemi znaleziono 92 pierwiastki. Są wśród nich pierwiastki bardzo do siebie podobne pod względem właściwości chemicznych, na przykład magnez i wapń lub chlor i brom, ale są również krańcowo różne, na przykład sód i siarka. Istnieją pierwiastki niezwykle reaktywne jak potas, fluor oraz chemicznie bierne: hel i neon. Liczba pierwiastków o określonych, zbliżonych właściwościach jest różna, zwykle od trzech aż do czternastu. W tym pozornym chaosie istnieje jednak fascynujący i wciąż nie do końca poznany ład, odkryty przez rosyjskiego chemika Dymitra Mendelejewa w 1869 r.

Prawidłowość odkryta przez Mendelejewa jest nazywana **prawem okresowości** i może być przedstawiona graficznie w postaci tzw. układu okresowego pierwiastków, zwanego tradycyjnie **tablicą Mendelejewa** (patrz 2. i 3. strona okładki).

Istotę prawa okresowości i sposób jego odkrycia pokazuje uporządkowany szereg, utworzony z pierwiastków ustawionych w nim według wzrastającej **liczby atomo-**

wej (liczby dodatnich ładunków w jądrze). Taki szereg, zawierający pierwiastki występujące na Ziemi, jest narysowany w postaci „węża” okalającego strony 20 i 21.

Kolory przypisane symbolom w tym „wężu” mają znaczenie umowne. Każdy z nich określa zespół najważniejszych, charakterystycznych właściwości chemicznych, takich jak metaliczność lub niemetaliczność, reaktywność, wartościowość, rodzaj tworzonych jonów, zasadotwórczy lub kwasotwórczy charakter tlenku, i ewentualnie inne właściwości podane w tabeli 1.1.

W szeregu pierwiastków, przedstawionym w postaci „węża”, kolory przypisane symbolom, oznaczające analogiczne właściwości pierwiastków, powtarzają się cyklicznie (okresowo, periodycznie), ale ze zmienną liczbą pierwiastków w cyklu. W niektórych cyklach pojawiają się pierwiastki o nowych, nie występujących poprzednio właściwościach. „Wąż” można pociąć na paski stanowiące okresy (cykle) pierwiastków (zawierające kolejno po: 2, 8, 8, 18, 18, 32 i resztę), ustawić te paski jedne pod drugimi, tworząc równocześnie kolumny pionowe, czyli grupy pierwiastków o podobnych właściwościach (i o tym samym kolorze przypisanym symbolom). Rezultat tych geometrycznych zabiegów to tablica Mendelejewa, narysowana wewnątrz „węża” w dwóch wersjach: a) uzyskanej tylko przez konsekwentne cięcie „węża” na paski, b) wyodrębniającej geometrycznie tzw. lantanowce i aktynowce w celu uzyskania wygodniejszej, powszechnie stosowanej formy tablicy. Różnice te nie mają żadnego znaczenia chemicznego.

Odkrycie Mendelejewa polegało na dostrzeżeniu cyklicznych zmian w makroskopowych właściwościach pierwiastków uporządkowanych w odpowiedni szereg. W myśl tego prawa właściwości chemiczne i fizyczne pierwiastków chemicznych są funkcją okresową liczby atomowej. Po odkryciu wewnętrznej budowy atomów (początek XX w.) okazało się, że prawo okresowości wynika z istnienia powłok elektronowych i reguł ich obsadzania (rozdział 2).

Tablica Mendelejewa w kolumnach pionowych, zwanych **grupami**, zawiera pierwiastki o podobnych właściwościach chemicznych. Każda grupa ma nazwę wywodzącą się z nazwy pierwiastka stojącego najwyżej, np. grupa 16. to tlenowce,

grupa 2. – berylownce itd. (wyjątkiem jest grupa 1.: jej nazwa nie pochodzi od wodoru, lecz od litu – litowce). Grupy dzielą się na **główne** (1., 2., i od 13. do 18.) oraz **poboczne** (pozostałe, zwane też podgrupami). W szeregach poziomych, czyli **okresach**, znajdują się pierwiastki o właściwościach zmieniających się stopniowo – od reaktywnych metali do reaktywnych niemetali. Na końcu każdego okresu znajduje się niemetal – niereaktywny helowiec. Zmiany właściwości w trzecim okresie układu okresowego Mendelejewa ilustruje zestawienie:

grupa 2. – berylówce itd. (wyjątkiem jest grupa 1.: jej nazwa nie pochodzi od wodoru, lecz od litu – litowce). Grupy dzielą się na **główne** (1., 2., i od 13. do 18.) oraz **poboczne** (pozostałe, zwane też podgrupami). W szeregach poziomych, czyli **okresach**, znajdują się pierwiastki o właściwościach zmieniających się stopniowo – od reaktywnych metali do reaktywnych niemetali. Na końcu każdego okresu znajduje się niemetal – niereaktywny helowiec. Zmiany właściwości w trzecim okresie układu okresowego Mendelejewa ilustruje zestawienie:

| reaktywne metale | mało reaktywne metale i niemetale | reaktywne niemetale | niereaktywny helowiec |        |        |       |       |
|------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|
| Na               | Mg                                | Al                  | Si                    | P      | S      | Cl    | Ar    |
| Sód              | Magnez                            | Glin                | Krzem                 | Fosfor | Siarka | Chlor | Argon |
| metale           |                                   |                     | niemetale             |        |        |       |       |

**Grupa w tablicy Mendelejewa** – pionowa kolumna zawierająca pierwiastki o podobnych właściwościach chemicznych. Grupy mają numery i nazwy wywodzące się z nazwy pierwiastka stojącego najwyżej (z wyjątkiem grupy 1.).

**Okres w tablicy Mendelejewa** – poziomy szereg pierwiastków o właściwościach zmieniających się stopniowo. Okresy nie mają nazw, lecz tylko numery.

W znanym dziś zbiorze pierwiastków jest 7 okresów.

Liczba pierwiastków w kolejnych okresach wynosi: 2, 8, 8, 18, 18, 32, (liczba znanych w siódmym okresie zbliża się do 32).

**Grupy główne w tablicy Mendelejewa:** 1., 2. i od 13. do 18. (łącznie 8).

**Grupy poboczne (podgrupy) w tablicy Mendelejewa:** od 3. do 12. (łącznie 10).

|     |     |     |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |     |     |      |      |
|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
|     | 3Li | 4Be | 5B | 6C | 7N | 8O | 9F | 10Ne | 11Na | 12Mg | 13Al | 14Si | 15P | 16S | 17Cl | 18Ar |
| 2He |     |     |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |     |     |      |      |
| 1H  |     |     |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |     |     |      |      |

Tabela 1.1. Zespoły właściwości chemicznych powtarzające się w tablicy Mendelejewa

| Kolor reprezentujący zespół | Zespół właściwości chemicznych                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | Metal lekki, bardzo reaktywny, zawsze jednowartościowy. W związkach jonowych tworzy kationy E <sup>+</sup> (np. Li <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> ). Zarówno on sam, jak i jego tlenek E <sub>2</sub> O (np. Li <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O) reaguje energicznie z wodą tworząc wodorotlenek EOH (np. LiOH, NaOH) o silnych właściwościach zasadowych.                                                                                                                                                                |
|                             | Metal lekki, reaktywny, zawsze dwuwartościowy. W związkach jonowych tworzy kation E <sup>2+</sup> (np. Be <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> ). Z wodą reaguje (ewentualnie po ogrzaniu), podobnie jak jego tlenek EO, dając wodorotlenek E(OH) <sub>2</sub> o właściwościach zasadowych.                                                                                                                                                                                                                                     |
|                             | Niemetal lub metal mało reaktywny, trójwartościowy. W jednych związkach jonowych tworzy kation E <sup>3+</sup> (np. Al <sup>3+</sup> ), a w innych anion EO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> (np. BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , AlO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> ). Z wodą nie reaguje. Tworzy tlenek E <sub>2</sub> O <sub>3</sub> i kwas H <sub>3</sub> EO <sub>3</sub> (np. H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ) jeśli E jest niemetalem, lub — jeśli E jest metalem — wodorotlenek E(OH) <sub>3</sub> , np. Al(OH) <sub>3</sub> . |
|                             | Niemetal lub metal o niewielkiej reaktywności, czterowartościowy (czasem dwuwartościowy). W związkach jonowych tworzy kationy E <sup>4+</sup> lub E <sup>2+</sup> i aniony EO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (lub inne). Tlenki niemetalu EO <sub>2</sub> (np. CO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> ) są kwasotwórcze. Metale tworzą wodorotlenki E(OH) <sub>4</sub> i E(OH) <sub>2</sub> [np. Pb(OH) <sub>2</sub> , Pb(OH) <sub>4</sub> ].                                                                                       |
|                             | Niemetal lub metal, mało reaktywny. Wartościowość maksymalna V, a w związkach z metalami i wodorem III. W związkach jonowych tworzy aniony, najczęściej EO <sub>3</sub> <sup>-</sup> i EO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (np. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ). Tlenki niemetalu są kwasotwórcze. Metale tworzą wodorotlenki E(OH) <sub>3</sub> .                                                                                                                                                 |
|                             | Niemetal lub metal, reaktywny. Wartościowość maksymalna VI (z wyjątkiem tlenu), a w związkach z metalami i wodorem II. W związkach jonowych tworzy aniony proste E <sup>2-</sup> (np. O <sup>2-</sup> , S <sup>2-</sup> ) i złożone, najczęściej EO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (np. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ). Tlenki i wodorki H <sub>2</sub> E (np. H <sub>2</sub> S) są kwasotwórcze.                                                                                                                              |
|                             | Niemetal, bardzo reaktywny. Wartościowość maksymalna VII (z wyjątkiem fluoru), a w związkach z metalami i wodorem I. W związkach jonowych tworzy aniony proste E <sup>-</sup> (np. F <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> ) oraz złożone EO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (np. ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) i inne. Tlenki i wodorki HE (np. HCl) są kwasotwórcze.                                                                                                                                                                 |
|                             | Niemetal, chemicznie bierny (He, Ne) lub niereaktywny (pozostałe).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                             | Metale ciężkie, na ogół mało reaktywne, odporne na działanie wody. W związkach wykazują kilka wartościowości. Każdy tworzy kilka prostych kationów i kilka złożonych anionów. Ich wodorotlenki są trudno rozpuszczalne w wodzie, nie są więc zasadami. Odporność tych metali na działanie kwasów jest bardzo zróżnicowana.                                                                                                                                                                                                  |
|                             | Metale ciężkie, bardzo podobne do siebie, na ogół mało reaktywne, najczęściej trójwartościowe, tworzą przede wszystkim kationy E <sup>3+</sup> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|-------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| <div></div> |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 35Br | 36Kr |      |     |      |      |
| 19K         | 20Ca | 21Sc | 22Ti | 23V | 24Cr | 25Mn | 26Fe | 27Co | 28Ni | 29Cu | 30Zn | 31Ga | 32Ge | 33As | 34Se |      | 37Rb | 38Sr | 39Y | 40Zr | 41Nb |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|             |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |

|                                                                       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|-----------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 1                                                                     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 18 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 2                                                                     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 2  | He | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 3                                                                     | Li | 4  | Be |    |    |    |    |    |    |    |    | 5  | B  | 6  | C  | 7  | N  | 8  | O  | 9  | F  | 10 | Ne | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 11                                                                    | Na | 12 | Mg | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | Al | 14 | Si | 15 | P  | 16 | S  | 17 | Cl | 18 | Ar | 3  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 19                                                                    | K  | 20 | Ca | 21 | Sc | 22 | Ti | 23 | V  | 24 | Cr | 25 | Mn | 26 | Fe | 27 | Co | 28 | Ni | 29 | Cu | 30 | Zn | 31 | Ga | 32 | Ge | 33 | As | 34 | Se | 35 | Br | 36 | Kr | 4 |
| 37                                                                    | Rb | 38 | Sr | 39 | Y  | 40 | Zr | 41 | Nb | 42 | Mo | 43 | Tc | 44 | Ru | 45 | Rh | 46 | Pd | 47 | Ag | 48 | Cd | 49 | In | 50 | Sn | 51 | Sb | 52 | Te | 53 | I  | 54 | Xe | 5 |
| 55                                                                    | Cs | 56 | Ba | 57 | La | 72 | Hf | 73 | Ta | 74 | W  | 75 | Re | 76 | Os | 77 | Ir | 78 | Pt | 79 | Au | 80 | Hg | 81 | Tl | 82 | Pb | 83 | Bi | 84 | Po | 85 | At | 86 | Rn | 6 |
| 87                                                                    | Fr | 88 | Ra | 89 | Ac |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 7 |
| LANTANOWCE                                                            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 58Ce 59Pr 60Nd 61Pm 62Sm 63Eu 64Gd 65Tb 66Dy 67Ho 68Er 69Tm 70Yb 71Lu |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| AKTYNOWCE                                                             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 90Th 91Pa 92U                                                         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |

Dwie wersje tablicy Mendelejewa różniące się tylko sposobem rozmieszczenia lantanowców i aktynowców. Różnica ta nie ma żadnego znaczenia chemicznego. Obie tablice zawierają tylko pierwiastki występujące na Ziemi, ale pozostawiono puste klatki dla otrzymywanych sztucznie transuranowców.

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 68Er | 67Ho | 66Dy | 65Tb | 64Gd | 63Eu | 62Sm | 61Pm | 60Nd | 59Pr | 58Ce | 57La | 56Ba | 55Cs | 54Xe | 53I | 52Te |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|

**Wartościowość maksymalna** pierwiastków grup głównych jest równa cyfrze stojącej na miejscu jednostek w numerze grupy (np. pierwiastek z grupy 15. – azot – ma wartościowość maksymalną V i jego najwyższy tlenek ma skład  $N_2O_5$ ).

**Wartościowość względem wodoru i metali:**

- dla pierwiastków grup głównych 1., 2. oraz 13. i 14. jest równa wartościowości maksymalnej (np. pierwiastek z grupy 14. – węgiel – ma wartościowość IV i tworzy wodorek  $CH_4$  oraz związek z metalem – węglik glinu –  $Al_4C_3$ );
- dla pierwiastków pozostałych grup głównych (czyli od 15. do 18.) można ją obliczyć ze wzoru  $W = 8 - C$ , gdzie  $C$  jest cyfrą znajdującą się na miejscu jednostek w numerze grupy (np. pierwiastek grupy 15. – azot – ma wartościowość  $W = 8 - 5 = 3$  i tworzy wodorek  $NH_3$  oraz związek z metalem – azotek magnezu –  $Mg_3N_2$ ).

**Metale** – patrz p. 1.4

**Niemetale** – patrz p. 1.4

**Półmetale** – pierwiastki o właściwościach pośrednich między metalami i niemetalami. Do półmetali zalicza się: bor, krzem, german, arsen, antymon, tellur i astat.

**Alotropia** – zjawisko występowania pierwiastka chemicznego w dwóch lub więcej odmianach, różniących się liczbą atomów w cząsteczce (jak  $O_2$  i  $O_3$ ) lub sposobem ułożenia cząsteczek w kryształach (jak siarka rombowa i jednoskośna) albo sposobem

Tablica Mendelejewa ułatwia uczenie się chemii, pozwala bowiem na odczytanie licznych właściwości pierwiastków. Między innymi można z niej odczytać wartościowość, posługując się następującymi regułami:

- Największa wartościowość** pierwiastków **grup głównych** (czyli grup 1., 2. i od 13. do 18.) jest równa cyfrze stojącej na miejscu jednostek w numerze grupy:

| Numer grupy              | 1 | 2  | 13  | 14 | 15 | 16 | 17  | 18   |
|--------------------------|---|----|-----|----|----|----|-----|------|
| Wartościowość maksymalna | I | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII |

Pierwiastki wykazują wartościowość maksymalną tylko w niektórych związkach, na przykład w tlenkach.

- Wartościowość pierwiastków grup głównych w związkach z wodorem i metalami** ilustruje diagram:

| Numer grupy                            | 1 | 2  | 13  | 14 | 15  | 16 | 17 | 18 |
|----------------------------------------|---|----|-----|----|-----|----|----|----|
| Wartościowość względem wodoru i metali | I | II | III | IV | III | II | I  | 0  |

Z powyższego zestawienia wynika, że w grupach 1., 2., oraz 13. i 14. wartościowość względem wodoru i metali jest taka sama, jak wartościowość maksymalna, czyli równa cyfrze znajdującej się na miejscu jednostek w numerze grupy. W dalszych grupach, od 15. wzwyż, można ją obliczyć ze wzoru:  $W = 8 - C$ , w którym  $C$  oznacza cyfrę znajdującą się na miejscu jednostek w numerze grupy.

Pierwiastki **grup pobocznych** (czyli od 3. do 12.) wykazują zmienną wartościowość w szerokich granicach, np. mangan: II, III, IV, V, VI i VII.

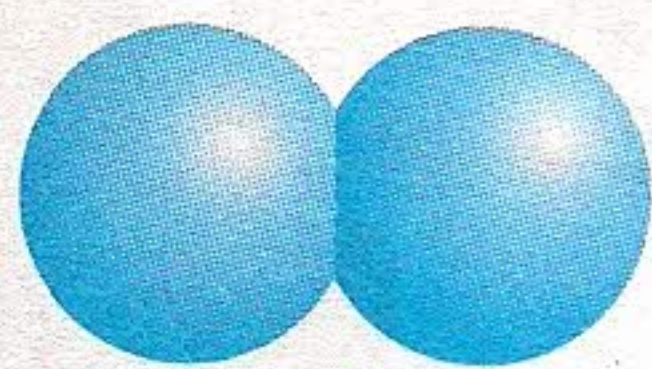
Wśród pierwiastków można wyróżnić dwa ich rodzaje: **metale** i **niemetale**. Każdy z tych rodzajów ma określony zespół właściwości fizycznych i chemicznych przypomnianych w p. 1.4. Podział na metale i niemetale znajduje odzwierciedlenie w tablicy Mendelejewa. W grupach pobocznych znajdują się wyłącznie metale. W grupach głównych granica metale – niemetale przesuwana się w prawo ze wzrostem numeru okresu, dzieląc tablicę na dwa trójkąty:

|    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Li | Be | B  | C  | N  | O  | F  | Ne |
| Na | Mg | Al | Si | P  | S  | Cl | Ar |
| K  | Ca | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb | Sr | In | Sn | Sb | Te | I  | Xe |
| Cs | Ba | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |

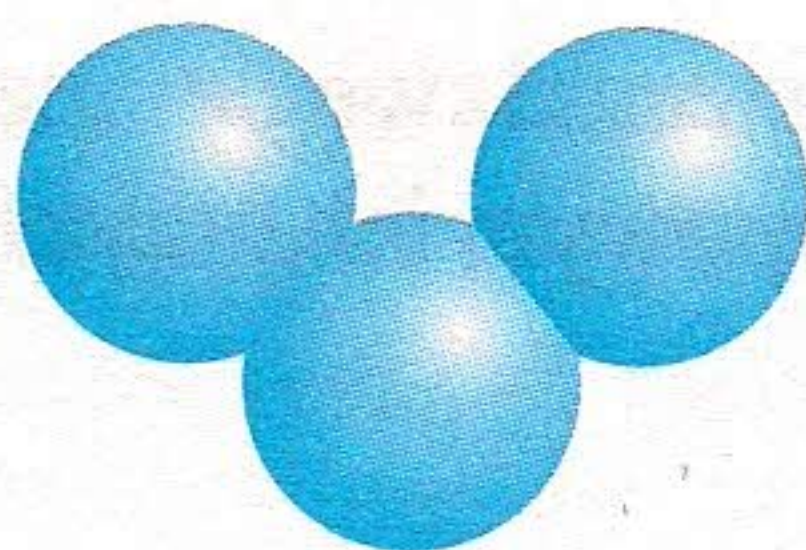
Niektóre pierwiastki leżące przy linii rozgraniczającej (B, Si, Ge, As, Sb, Te, At) są często nazywane **półmetalami**, ponieważ wykazują częściowo cechy metali, a częściowo cechy niemetalii.

**ALOTROPIA PIERWIASTKÓW.** Niektóre pierwiastki, najczęściej niemetale, występują w kilku postaciach, zwanych odmianami alotropowymi. To zjawisko jest nazywane **alotropią**. Poszczególne alotropy mogą różnić się:

- liczbą atomów w cząsteczce, na przykład  $O_2$  – ditlen i  $O_3$  – tritlen (zwany ozonem):

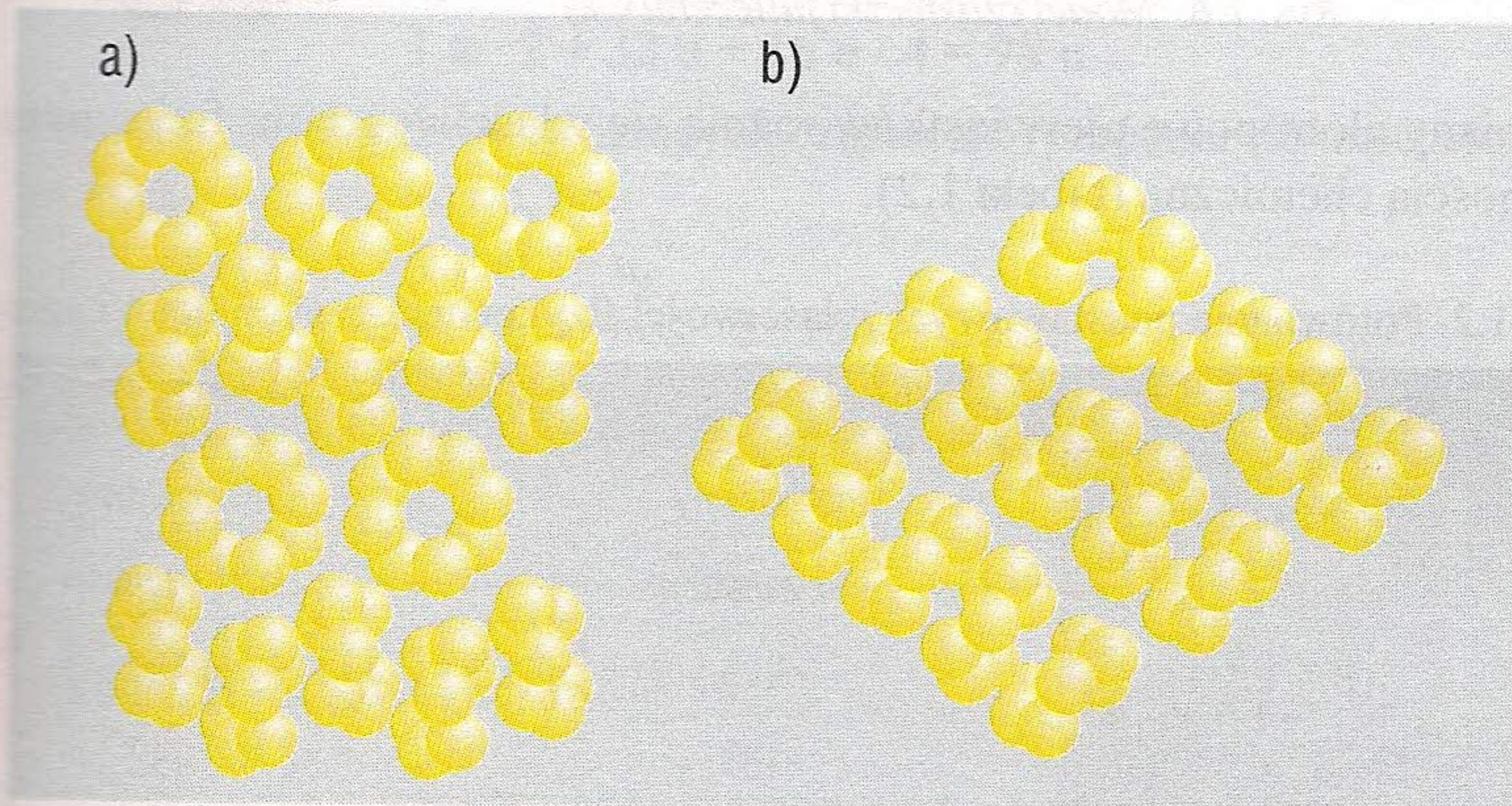


$O_2$



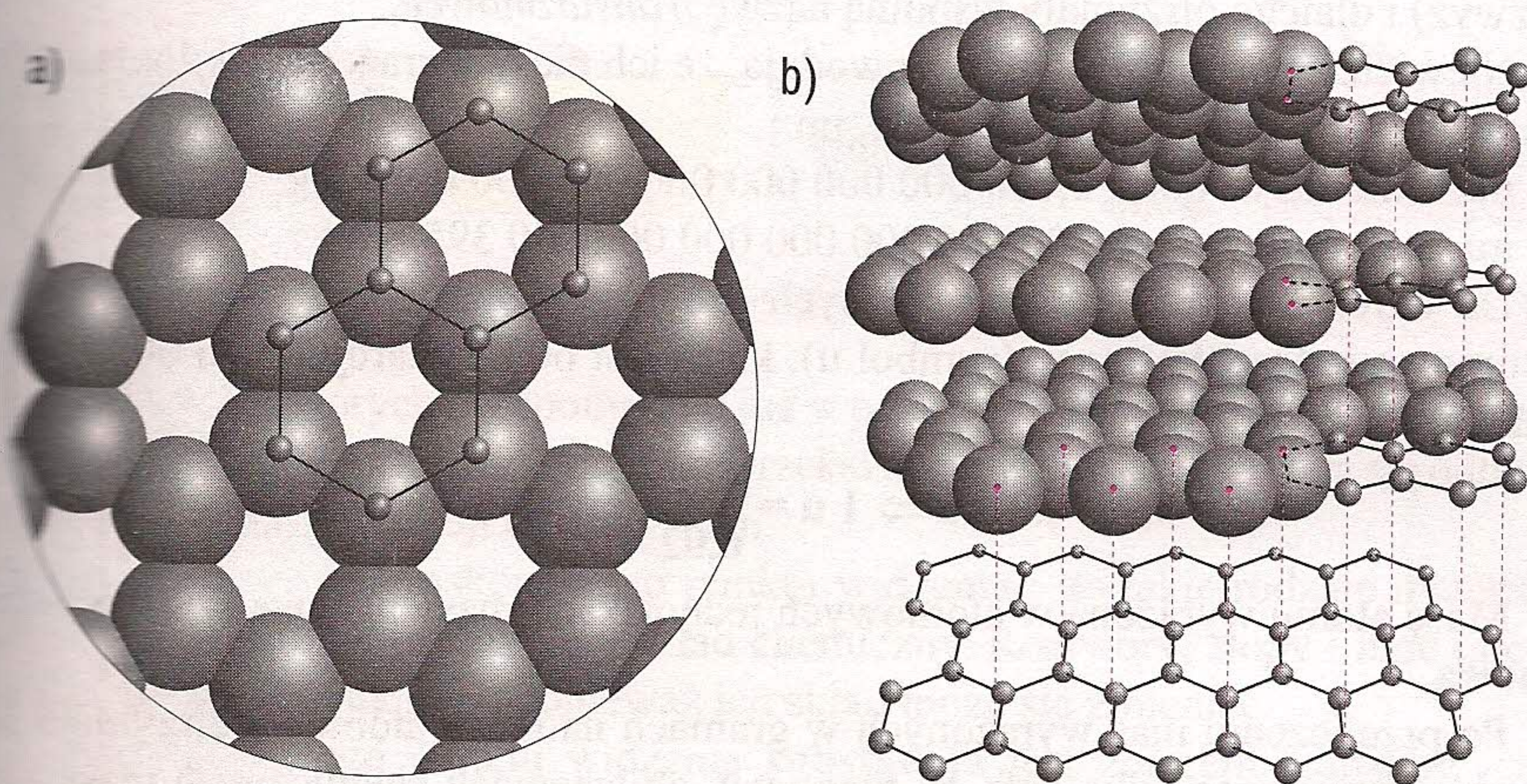
$O_3$

- 2) sposobem ułożenia cząsteczek w kryształach, na przykład siarka rombowa i jednoskośna, z których każda stanowi zbiór cząsteczek  $S_8$  (w kształcie pierścienia), ale inaczej uporządkowanych (rys. 1.3).



Rys. 1.3. Ułożenie cząsteczek siarki  $S_8$  w kryształach: a) siarki rombowej, b) siarki jednoskośnej

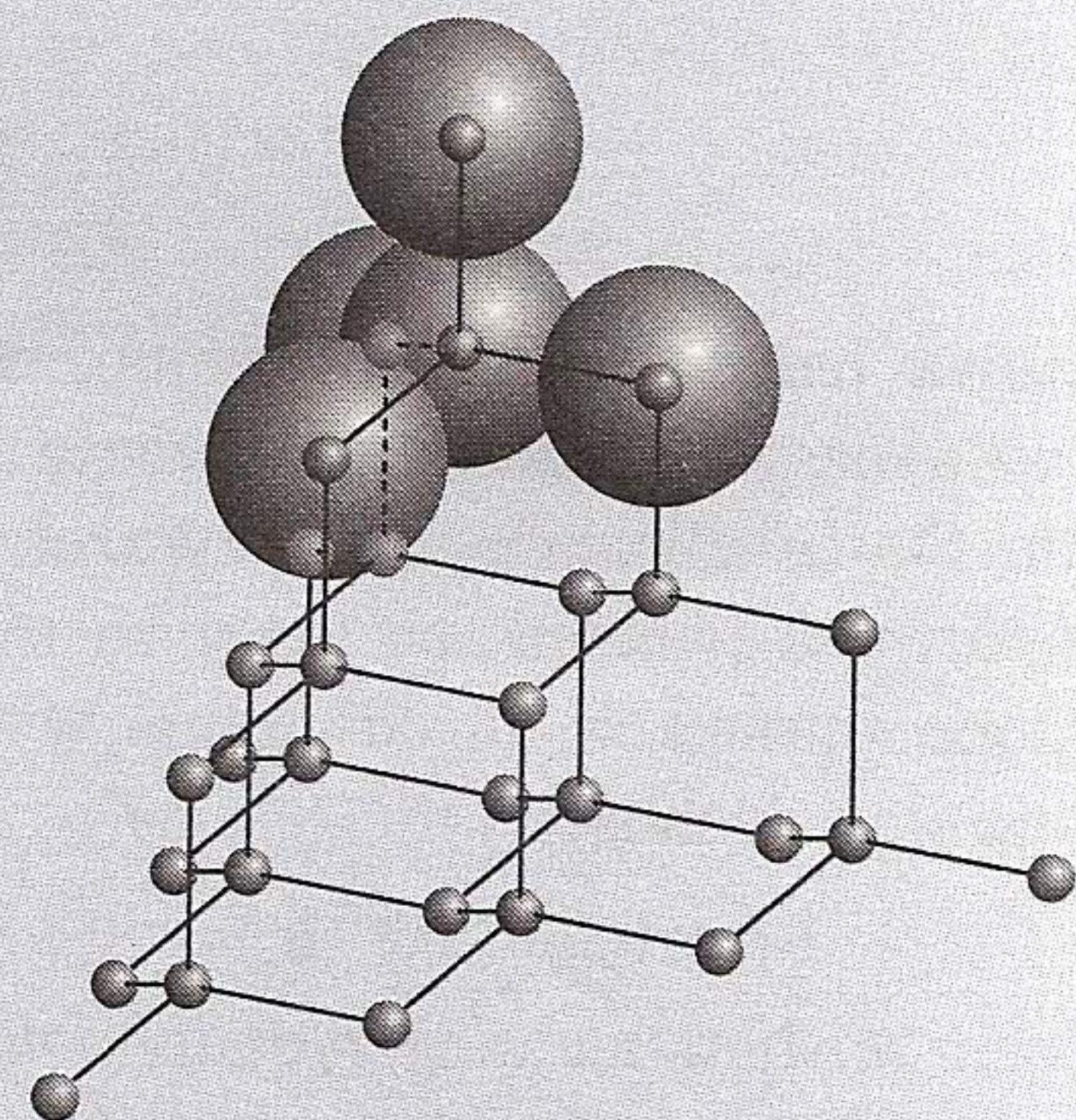
- 3) sposobem połączenia atomów w kryształach kowalencyjnych (cząsteczkogigancie, patrz p. 2.7), na przykład węgiel w postaci diamentu (rys. 1.4) i grafitu (rys. 1.5). W kryształach diamentu każdy atom węgla jest otoczony czterema atomami w taki sposób, że ich środki stanowią naroża ostrosłupa prawidłowego, czyli tetraedru. W kryształach grafitu każdy atom węgla jest otoczony trzema atomami (rys. 1.5 a). Środki tych atomów leżą w jednej płaszczyźnie. Uporządkowane w ten sposób atomy tworzą warstwę przypominającą pszczeli plaster. Kolejne warstwy w kryształach grafitu są ułożone równoległe (rys. 1.5 b).



Rys. 1.5. Rozmieszczenie atomów węgla w kryształach grafitu: a) widok z góry na warstwę atomów, b) widok z boku na sąsiadujące, równoległe warstwy atomów

połączenia atomów w kryształach kowalencyjnych (jak diament i grafit).

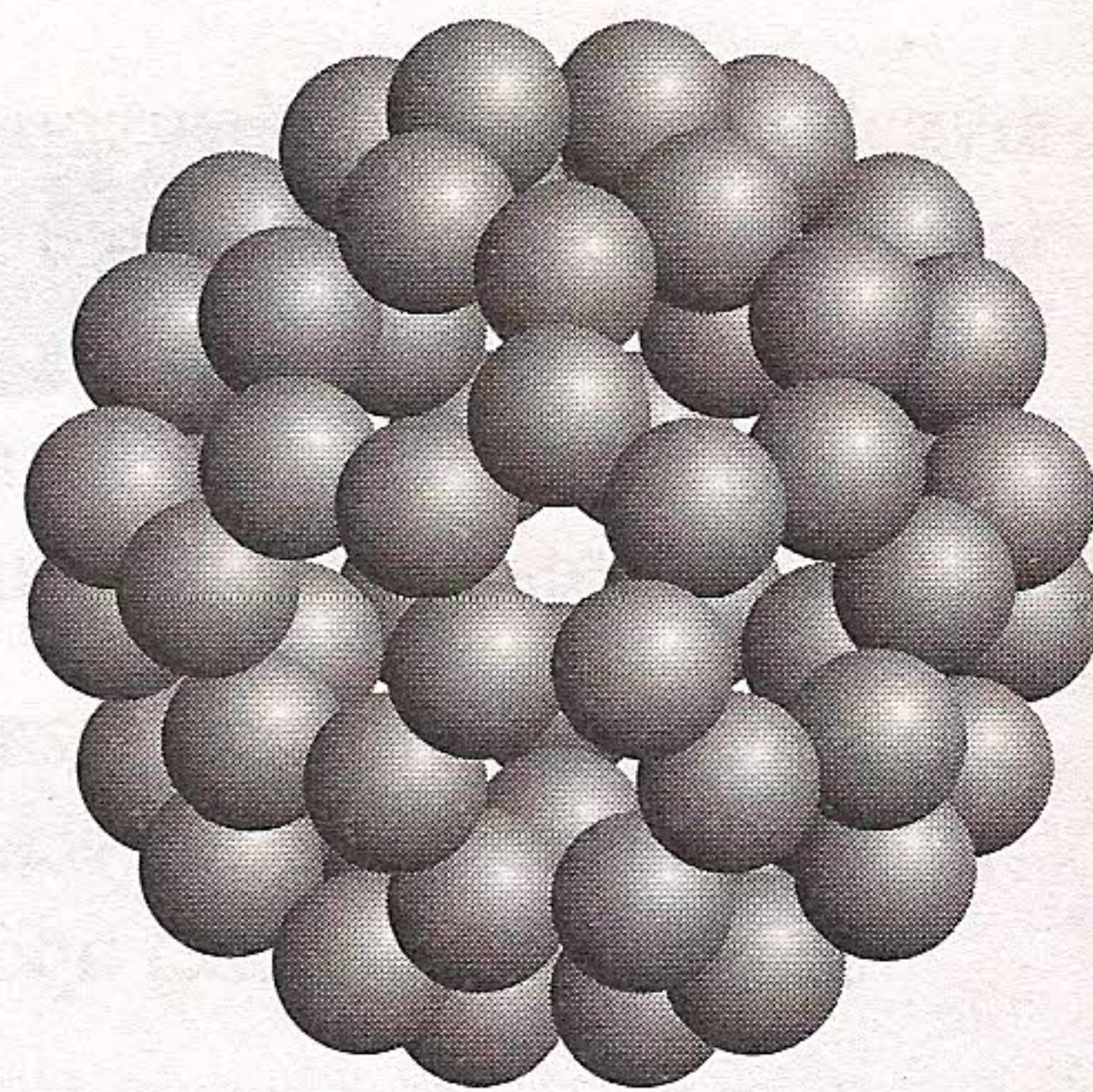
Odmiany alotropowe pierwiastków różnią się właściwościami fizycznymi i reaktywnością chemiczną.



Rys. 1.4. Rozmieszczenie atomów węgla w kryształach diamentu

Węgiel jako pierwiastek występuje w przyrodzie głównie pod postaciami diamentu i grafitu. W warunkach laboratoryjnych otrzymano niedawno inne alotropy, nazywane fullerenami, a następnie znaleziono ich ślady również w przyrodzie.

W fullerenach cząsteczki węgla mają po kilkadziesiąt atomów. Typowym ich przykładem jest C<sub>60</sub> (rys. 1.6).



Rys. 1.6. Model cząsteczki fullerenu C<sub>60</sub>

Odmiany alotropowe pierwiastków różnią się właściwościami fizycznymi i reaktywnością chemiczną (tabela 1.2).

Tabela 1.2. Porównanie podstawowych właściwości fizykochemicznych tlenu i ozonu

| Właściwości                                                                                     | Tlen        | Ozon         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|
| Barwa                                                                                           | bezbarwny   | niebieskawy  |
| Zapach                                                                                          | bez zapachu | ostry zapach |
| $T_f$ [°C]                                                                                      | -219        | -193         |
| $T_w$ [°C]                                                                                      | -183        | -112         |
| $d_0^{20}$ [g/dm <sup>3</sup> ]                                                                 | 1,429       | 2,144        |
| Rozp. w H <sub>2</sub> O w temp. 0°C<br>[cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O] | 4,9         | 49,0         |

**Atomowa jednostka masy** (symbol u) – jednostka masy używana do wyrażania mas drobin. Do przeliczenia mas wyrażonych w atomowych jednostkach masy na masy wyrażone w gramach, lub odwrotnie, wykorzystuje się zależność:

$$1 \text{ g} \approx 6,02 \cdot 10^{23} \text{ u}$$

W ujęciu ścisłym, ale nieprzydatnym w typowych obliczeniach, atomowa jednostka masy to 1/12 masy atomu węgla-12 (czyli izotopu <sup>12</sup>C).

**Masa atomowa** – masa atomu wyrażona w atomowych jednostkach masy.

**MASY ATOMOWE I CZĄSTECZKOWE.** Atomy poszczególnych pierwiastków różnią się masą. Wśród pierwiastków występujących na Ziemi najmniejszą masę ma atom wodoru, a największą – atom uranu. We wnętrzu gwiazd występują pierwiastki, których atomy mają masy jeszcze większe niż uran. Niewielkie ilości takich pierwiastków udało się wytworzyć w ziemskich warunkach (patrz p. 3.1). Pierwiastki te są umieszczone w układzie okresowym za uranem (od Z = 93 wzwyż) i dlatego otrzymały wspólną nazwę *transuranowce*.

Niewielkie rozmiary atomów powodują, że ich masy wyrażone w kilogramach, a nawet w gramach, są bardzo małe, np.:

masa atomu wodoru: 0,000 000 000 000 000 000 000 001 66 g

masa atomu uranu: 0,000 000 000 000 000 000 000 395 g

Do określania mas atomów i innych drobin wprowadzono jednostkę zwaną **atomową jednostką masy** (symbol u), która jest 602 tryliardy (czyli  $602 \cdot 10^{21}$ ) razy mniejsza od grama:

$$1 \text{ g} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ u} \Rightarrow 1 \text{ u} = \frac{1 \text{ g}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

Masę atomu wyrażoną w atomowych jednostkach masy nazywa się **masą atomową**.

Po przeliczeniu mas wyrażonych w gramach na masy atomowe otrzymuje się liczby zawierające kilka cyfr. W typowych obliczeniach chemicznych masy atomowe zaokrągla się do liczb całkowitych, np.:

masa atomowa wodoru: 1,008 u  $\approx$  1 u

masa atomowa węgla: 12,01 u  $\approx$  12 u

masa atomowa tlenu: 15,99 u  $\approx$  16 u

masa atomowa żelaza: 55,85 u  $\approx$  56 u

masa atomowa uranu: 238,03 u  $\approx$  238 u