

全品



教辅图书



功能学具



学生之家

基础教育行业专研品牌

30<sup>+</sup>年创始人专注教育行业

# 全品学练考

AI智慧升级版

主编 肖德好

导学案

高中化学

选择性必修2 RJ

本书为智慧教辅升级版

“讲课智能体”支持学生聊着学，扫码后哪里不会选哪里；随时随地想聊就聊，想问就问。



长江出版传媒  
崇文书局

# CONTENTS

## 目录 | 导学案

### 01 第一章 原子结构与性质

PART ONE

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 第一节 原子结构                            | 083 |
| 第 1 课时 能层与能级、基态与激发态 原子光谱、构造原理与电子排布式 | 083 |
| 第 2 课时 电子云与原子轨道、泡利原理、洪特规则、能量最低原理    | 087 |
| 整合突破 1 核外电子排布                       | 092 |
| 第二节 原子结构与元素的性质                      | 094 |
| 第 1 课时 原子结构与元素周期表                   | 094 |
| 第 2 课时 元素周期律                        | 097 |
| 整合突破 2 电负性与电离能的考查                   | 102 |
| 本章素养提升                              | 104 |

### 02 第二章 分子结构与性质

PART TWO

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 第一节 共价键                            | 106 |
| 第 1 课时 共价键                         | 106 |
| 第 2 课时 键参数——键能、键长与键角               | 110 |
| 第二节 分子的空间结构                        | 112 |
| 第 1 课时 分子结构的测定 多样的分子空间结构 价层电子对互斥模型 | 112 |
| 第 2 课时 杂化轨道理论简介                    | 116 |
| 整合突破 3 原子的杂化类型与粒子的空间结构             | 119 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| <b>整合突破 4 分子中共价键的键角大小比较</b>                                    | 120 |
| <b>第三节 分子结构与物质的性质</b>                                          | 121 |
| 第 1 课时 共价键的极性                                                  | 121 |
| 第 2 课时 分子间的作用力                                                 | 124 |
| 第 3 课时 分子的手性                                                   | 128 |
| <b>整合突破 5 大 <math>\pi</math> 键的形成和 <math>\pi</math> 电子数的计算</b> | 130 |
| <b>本章素养提升</b>                                                  | 132 |

## 03

## 第三章 晶体结构与性质

PART THREE

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第一节 物质的聚集状态与晶体的常识</b>   | 135 |
| <b>第二节 分子晶体与共价晶体</b>       | 140 |
| 第 1 课时 分子晶体                | 140 |
| 第 2 课时 共价晶体                | 144 |
| <b>第三节 金属晶体与离子晶体</b>       | 148 |
| 第 1 课时 金属键与金属晶体            | 148 |
| 第 2 课时 离子晶体 过渡晶体与混合型晶体     | 151 |
| <b>整合突破 6 有关晶胞的常见计算</b>    | 154 |
| <b>整合突破 7 晶体坐标参数与投影图分析</b> | 155 |
| <b>第四节 配合物与超分子</b>         | 158 |
| <b>整合突破 8 配合物、配位键和配位数</b>  | 161 |
| <b>本章素养提升</b>              | 162 |

|               |     |
|---------------|-----|
| <b>◆ 参考答案</b> | 167 |
|---------------|-----|

# 第一章 原子结构与性质

## 第一节 原子结构

### 第1课时 能层与能级、基态与激发态

#### 原子光谱、构造原理与电子排布式

##### 新课探究

知识导学 素养初识

##### ◆ 学习任务一 能层与能级

【课前自主预习】

##### 1. 能层及能量关系

(1)含义

核外电子按\_\_\_\_\_不同分成能层(电子层)。

(2)能层序数及能量关系

能层序数 1、2、3、4、5、6、7 分别用\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、  
\_\_\_\_\_、N、O、P、Q 表示。能层越高,电子的能量  
\_\_\_\_\_,能量的高低顺序为  $E(K)$  \_\_\_\_\_  $E(L)$   
\_\_\_\_\_  $E(M)$  \_\_\_\_\_  $E(N) < E(O) < E(P) <$   
 $E(Q)$ 。

##### 2. 能级

(1)含义

同一能层的电子,根据\_\_\_\_\_的差异,又可分成不同能级。

(2)表示方法

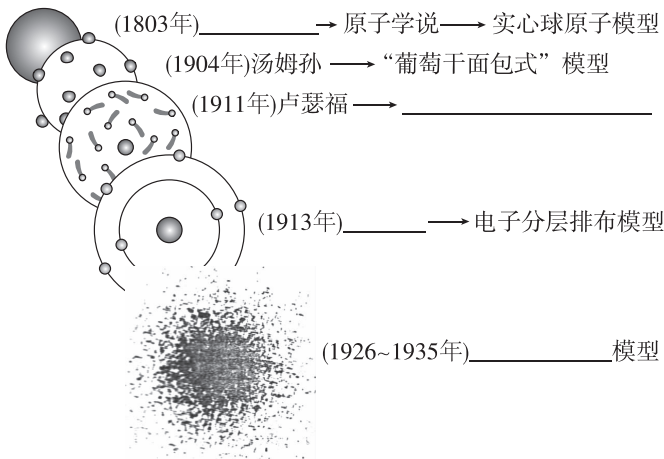
①任一能层的能级总是从\_\_\_\_\_能级开始,能级数等于该\_\_\_\_\_,即第一能层只有\_\_\_\_\_个能级(1s),第二能层有\_\_\_\_\_个能级(2s 和 2p),第三能层有\_\_\_\_\_个能级(3s、3p 和 3d),依次类推。

②能级的字母代号总是按\_\_\_\_\_……排序的,字母前的数字是它们所处的能层序数,它们可容纳的最多电子数依次为自然数中的奇数序列\_\_\_\_\_…的 2 倍。

(3)多电子原子中,同一能层各能级的能量关系:

$E(ns)$  \_\_\_\_\_  $E(np)$  \_\_\_\_\_  $E(nd)$  \_\_\_\_\_  
 $E(nf)$ ……

##### 3. 原子结构模型的发展史



##### 【问题思考】

(1)能层和能级的关系与生活中的大楼结构中的什么相似?

(2)以 s 能级为例,不同能层的 s 能级间的能量有何关系? 同一能层不同能级间的能量有何关系?

(3)一个能层的能级数与能层序数( $n$ )间存在什么关系? 一个能层最多可容纳的电子数与能层序数( $n$ )间存在什么关系?

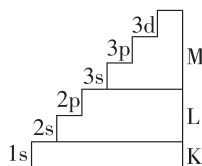
### 【核心知识讲解】

#### 1. 能层与能级的关系

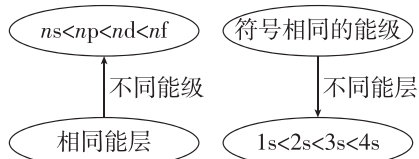
- (1)任何能层总是从 s 能级开始,任何能层均含有 s 能级,但并不是任何能层都含有 p、d、f 能级。
- (2)能层就是电子层,各能层具有的能级数等于能层序数。如 K 层只有 1s 能级,L 层有 2s、2p 两个能级,M 层有 3s、3p、3d 三个能级。
- (3)每一能层中最多容纳的电子数为  $2n^2$  ( $n$  代表能层序数)。
- (4)不同能层中符号相同的能级所容纳的最多电子数相同。

#### 2. 能层中各能级之间能量高低关系

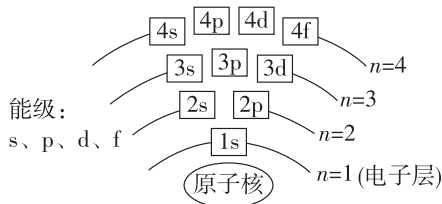
- (1)能层与能级的关系类似楼层与阶梯之间的关系,在每一个能层中,能级符号顺序是  $ns$ 、 $np$ 、 $nd$ 、 $nf$ ……(如图所示):



- (2)能层或能级的能量关系:



- (3)原子核外电子排布与能层、能级的关系:



#### 3. 理清能层、能级与最多容纳的电子数、能量之间的相互关系

| 能层( $n$ ) | 一    | 二     | 三        | 四           | 五      | 六   | 七   | ... |
|-----------|------|-------|----------|-------------|--------|-----|-----|-----|
| 符号        | K    | L     | M        | N           | O      | P   | Q   | ... |
| 能级        | 1s   | 2s 2p | 3s 3p 3d | 4s 4p 4d 4f | 5s ... | ... | ... | ... |
| 最多容纳电子数   | 2    | 2 6   | 2 6 10   | 2 6 10 14   | 2 ...  | ... | ... | ... |
| 离核远近      | 由近到远 |       |          |             |        |     |     |     |
| 不同能层能量    | 逐渐升高 |       |          |             |        |     |     |     |

### 【知识迁移应用】

**例 1** 下列有关原子结构的说法不正确的是 ( )

- 第五能层有 5 个能级,最多能容纳 50 个电子
- 同一原子中,不同能层均含有的能级是 s 能级
- 不同原子中,3d 能级实际容纳的电子数一定为 10 个
- 能层和能级的划分,均以电子的能量高低为依据

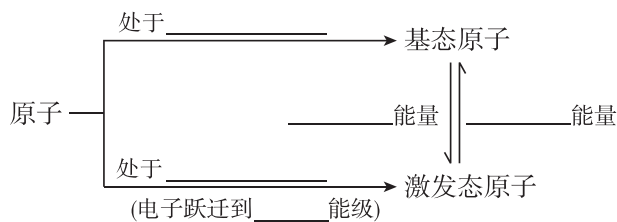
**例 2** 下列关于能层与能级的说法正确的是 ( )

- 处于同一能层的电子能量相同
- 同是 p 能级,在不同的能层中所能容纳的最多电子数是相同的
- N 能层有 s、p 2 个能级,最多容纳 8 个电子
- 能级能量: $4s > 4d$

### ◆ 学习任务二 基态与激发态 原子光谱

#### 【课前自主预习】

#### 1. 基态原子与激发态原子

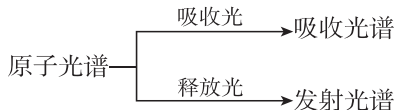


#### 2. 电子跃迁的能量变化与可见光

激发态原子不稳定,电子从较高能量的激发态跃迁到较低能量的激发态乃至基态时,将释放能量。\_\_\_\_是电子跃迁释放能量的重要形式。焰火、霓虹灯光、激光、萤光、LED 灯光等可见光都与原子核外电子跃迁释放能量有关。

### 3. 原子光谱

不同元素原子的电子发生\_\_\_\_\_时会吸收或释放不同的光,可以用光谱仪摄取各种元素原子的\_\_\_\_\_光谱或\_\_\_\_\_光谱,总称原子光谱。



### 4. 光谱分析

在现代化学中,常利用\_\_\_\_\_上的特征谱线来鉴定元素,称为光谱分析。

#### [问题思考]

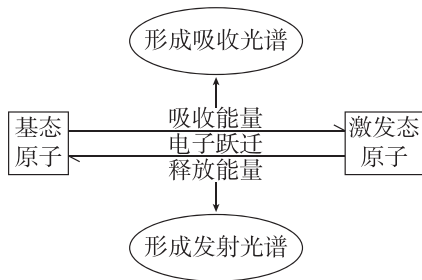
(1)我们经常燃放焰火来庆祝节日,焰火产生的原因是什么?

(2)原子光谱是怎么产生的,有什么应用?

(3)钠在空气中加热燃烧发出黄色火焰,是因为钠被氧气氧化失去电子吗?金属的焰色试验是物理变化,还是化学变化?

#### 【核心知识讲解】

#### 1. 光谱的成因与分类



#### 2. 焰色试验与电子跃迁

焰色试验中观察到的特殊焰色是电子跃迁的结果,故焰色试验是物理变化而不是化学变化。发生的过程:基态原子 $\xrightarrow{\text{吸收能量}}$ 激发态原子 $\xrightarrow{\text{释放能量}}$ 较低能量的激发态或基态原子。

(1)电子的跃迁是物理变化(未发生电子转移),而原子得失电子时发生的是化学变化。

(2)一般在能量相近的能级间发生电子跃迁,如基态碳原子 2s 能级上的一个电子可激发到 2p 能级上,得到不稳定的激发态碳原子。

(3)可见光包括红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫,其中紫色光的波长最短、红光的波长最长。

#### 3. 可以用光谱分析法鉴定元素的原因

一种元素有一种原子光谱,一种原子光谱对应着一种元素,不同元素的原子光谱都是特定的。可以用光谱仪摄取各种元素原子的吸收光谱或发射光谱(总称原子光谱),所以可以用光谱分析法鉴定元素。

#### 【知识迁移应用】

**例 3** 下列关于同一种原子中基态和激发态的说法中正确的是 ( )

- A. 基态时的能量比激发态时高
- B. 激发态时比较稳定
- C. 由基态转化为激发态过程中吸收能量
- D. 电子仅在由激发态跃迁到基态时才会产生原子光谱

**例 4** 下列关于原子光谱的说法不正确的是 ( )

- A. 霓虹灯光、LED 灯光与原子核外电子跃迁释放能量有关
- B. 焰色试验是利用元素的吸收光谱鉴别某些元素
- C. 玻尔提出了核外电子的能量是量子化的,因此可以解释离散的谱线
- D. 利用光谱仪只能测得原子的发射光谱

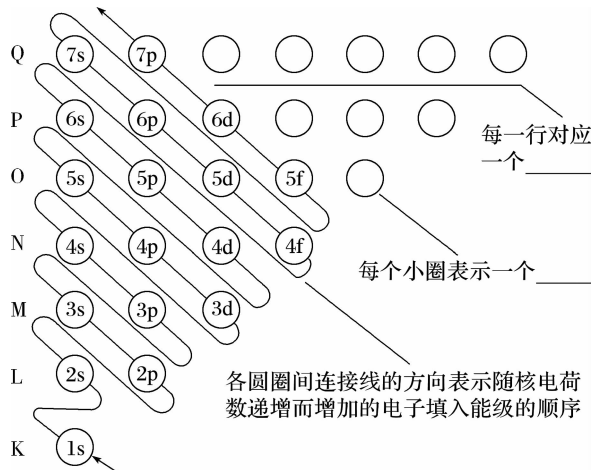
#### ◆ 学习任务三 构造原理与电子排布式

##### 【课前自主预习】

#### 1. 构造原理

(1)以\_\_\_\_\_事实为基础,从氢开始,随核电荷数递增,新增电子填入能级的顺序称为\_\_\_\_\_。

(2)示意图如下:

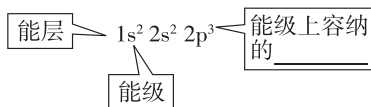


#### 2. 电子排布式

(1)含义:将能级上所容纳的电子数标在该能级符号右上角,并按照能层序数从小到大的顺序排列的式子,称为电子排布式。

(2)表示方法:按照构造原理,元素的核电荷数每递增一个,同时增加一个核电荷和一个\_\_\_\_\_,就得到一个\_\_\_\_\_的电子排布。电子填满了一个\_\_\_\_\_,开始填入下一个\_\_\_\_\_,由此构建了元素周期系中各元素的基态原子的电子排布。电子排布式中,能级符号右上角的数字表示该能级的\_\_\_\_\_。

(3)示例:基态氮原子的电子排布式为



## [问题思考]

(1)为什么 K 原子的原子结构示意图不是  $\textcircled{+19} 2 8 9$  ,

而是  $\textcircled{+19} 2 8 8 1$  ?

(2)从元素周期表给出的信息可知,基态 Cr 原子和基态 Cu 原子的电子排布式分别为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$  和  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ ,这样的电子排布符合构造原理吗?是根据什么确定其电子排布的?

## 【核心知识讲解】

### 1. 能级交错现象

由构造原理可知,从第三能层开始,不同能层的能级出现能级交错现象:随核电荷数的递增,电子并不总是填满一个能层后再开始填入下一个能层的。电子是按  $3p \rightarrow 4s \rightarrow 3d$  的顺序而不是按  $3p \rightarrow 3d \rightarrow 4s$  的顺序填充的。

### 2. 电子排布式的书写

(1)书写方法

先按构造原理中  
能级顺序填充电子

再将同一能层的能级按  
s、p、d、f……顺序排列

如 $_{22}\text{Ti}$ :先排列为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^2$ ,然后将同一能层的能级排列到一起,即该基态原子的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$ 。

(2)注意事项

①在书写电子排布式时,一般情况下,能层低的能级要写在左边,而不是按构造原理顺序写。

电子填充顺序(构造原理): $1s、2s、2p、3s、3p、4s、3d、4p、5s……$

书写顺序: $1s、2s、2p、3s、3p、3d、4s、4p、4d、4f、5s……$

如:基态 Fe 原子的电子排布式是  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ 。

②基态原子的能量最低,故基态原子的电子排布式是能量最低的状态;基态氢原子不存在  $1s^1 2s^1$  的状态,但氢处于激发态时可能会存在  $1s^1 2s^1$  的状态。

### 3. 简化电子排布式

为了避免电子排布式过于烦琐,我们可以把内层电子达到稀有气体结构的部分,以相应稀有气体元素符号外加方括号来表示。如 Na 的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ ,其中第一、二能层与  $\text{Ne}(1s^2 2s^2 2p^6)$  的电子排布式结构相同,所以其电子排布式可简化为  $[\text{Ne}]3s^1$ 。

### 4. 简单离子的电子排布式

对于主族元素的原子来说,一般只失去最外层电子,而过渡元素的原子可能还会进一步失去内层电子;原子得到电子时,一般总是填充到最外层未填满的能级上。如基态 Fe 原子的简化电子排布式为  $[\text{Ar}]3d^6 4s^2$ ;其原子在失去电子时,仍遵循先失去最外层电子,后失去次外层电子的顺序,即 Fe 失去电子时先失去 4s 能级上的 2 个电子,转化为  $\text{Fe}^{2+}$ ,再失去 3d 能级上的 1 个电子转化为  $\text{Fe}^{3+}$ 。基态  $\text{Fe}^{2+}$  的简化电子排布式为  $[\text{Ar}]3d^6$ ,基态  $\text{Fe}^{3+}$  的简化电子排布式为  $[\text{Ar}]3d^5$ 。

### 5. 价层电子排布

为突出化合价与电子排布的关系,将在化学反应中可能发生电子变动的能级称为价电子层(简称价层)。该能级的电子排布式称为价层电子排布。如 Cl 的简化电子排布式为  $[\text{Ne}]3s^2 3p^5$ ,则其价层电子排布为  $3s^2 3p^5$ 。对于过渡元素而言,价电子包含最外层电子和部分内层电子,如 Fe 的价层电子排布为  $3d^6 4s^2$ ,通常元素周期表只给出价层电子排布。

## 【知识迁移应用】

例 5 下列粒子基态时电子排布式错误的是 ( )

- A.  $\text{Ne}: 1s^2 2s^2 2p^6$       B.  $\text{S}^{2-}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$   
C.  $\text{Ca}^{2+}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$       D.  $\text{F}: 1s^2 2s^1 2p^6$

例 6 下列说法中正确的是 ( )

- A. 某原子的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$ , 则该元素原子核外有 4 个能级填有电子  
B. 原子核电荷数为 33,其基态原子的简化电子排布式为  $[\text{Ar}]4s^2 4p^3$   
C. 根据构造原理可知同一原子的各能级能量高低为  $4f > 4d > 3d > 3p$   
D.  $\text{Fe}^{2+}$  与 Cr 原子的核外电子数相同,因此电子排布式相同

## 课堂评价

知识巩固 素养形成

1. 判断正误(正确的打“√”,错误的打“×”)。

- (1)能层就是电子层 ( )  
(2)不同能层的 p 能级能量高低相同 ( )  
(3)高能层的所有能级的能量都比低能层能级的能量高 ( )  
(4)Mg 的简化电子排布式为  $[\text{Ne}]3s^2$  ( )  
(5)原子核外每一能层最多可容纳  $n^2$  个电子 ( )  
(6)3d 能级最多容纳 5 个电子 ( )  
(7)任一能层的 s 能级最多容纳的电子数均为 2 ( )  
(8)同一原子中,2p、3p、4p 电子的能量逐渐升高 ( )

2. 下列关于能层与能级的说法中正确的是 ( )
- A. 同一能层中不同能级的能量高低相同
- B. 任一能层的能级总是从 s 能级开始, 而且能级数等于该能层序数
- C. 同是 s 能级, 在不同的能层中所能容纳的最多电子数是不相同的
- D. 能级能量:  $5s > 5d$
3. 下列说法中不正确的是 ( )
- A. 处于最低能量状态的原子叫作基态原子
- B.  $3p^2$  表示 3p 能级有两个电子
- C.  $K^+$  的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
- D. 同一原子中, 2p、3p、4p 能级最多可容纳电子数依次增多
4. 吸收光谱和发射光谱统称为原子光谱。下列说法错误的是 ( )
- A. 同一种元素原子的吸收光谱和发射光谱的特征谱线相同
- B. 焰色试验是利用元素的特征可见原子光谱鉴别某些元素
- C. 光谱仪可以摄取元素原子的吸收光谱和发射光谱
- D. 目前发现的元素都是通过原子光谱发现的
5. 若某基态原子的价层电子排布为  $4d^1 5s^2$ , 则下列说法正确的是 ( )
- A. 该原子中共有 36 个电子

- B. 该原子核外有 5 个电子层
- C. 该原子最外层共有 3 个电子
- D. 该原子 M 能层共有 8 个电子

6. 按要求填空。

(1) 基态 Cu 原子的核外电子排布式为\_\_\_\_\_。

(2) 基态 O 原子的电子排布式为\_\_\_\_\_。

(3) 基态 Si 原子中, 电子占据的最高能层符号为\_\_\_\_, 该能层电子数为\_\_\_\_\_。

(4) 基态  $Ni^{2+}$  的价层电子排布为\_\_\_\_\_。

(5) Br 的原子序数为\_\_\_\_\_, 其基态原子核外 M 层电子的排布式为\_\_\_\_\_。

7. 有几种元素的粒子, 其原子核外电子排布式均为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ , 其中:

(1) 某电中性粒子一般不和其他元素的原子反应, 这种粒子的符号是\_\_\_\_\_。

(2) 某粒子的盐溶液能使溴水褪色, 并出现浑浊, 这种粒子的符号是\_\_\_\_\_。

(3) 某粒子的氧化性很弱, 但得到电子后还原性很强, 且这种粒子的原子有一个单电子, 这种粒子的符号是\_\_\_\_\_。

(4) 某粒子的还原性虽弱, 但失去电子后氧化性强, 且这种粒子的原子得到一个电子即达稳定结构, 这种粒子的符号是\_\_\_\_\_。

## 第2课时 电子云与原子轨道、泡利原理、洪特规则、能量最低原理

### 新课探究

知识导学 素养初识

#### ◆ 学习任务一 电子云与原子轨道

【课前自主预习】

##### 1. 电子云

(1) 概率密度分布

量子力学指出, 一定空间运动状态的电子在核外空间各处都可能出现, 但出现的概率不同。

$\rho = \frac{P}{V}$  ( $\rho$  表示\_\_\_\_\_,  $P$  表示电子在某处出现的\_\_\_\_\_,  $V$  表示该处的\_\_\_\_\_ )。

(2) 电子云

① 电子运动的特点

电子质量小, 运动速度快, 无规则, 故无法确定核外电子在某个时刻处于原子核外空间的何处。只能确定它在原子核外空间各处出现的\_\_\_\_\_。

② 电子云

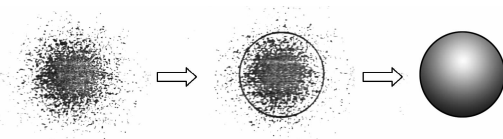
电子云是处于一定空间运动状态的电子在原子核外

空间的\_\_\_\_\_的形象化描述。

③ 电子云轮廓图

绘制电子云轮廓图的目的是表示\_\_\_\_\_的形状, 对核外电子的\_\_\_\_\_有一个形象化的简便描述。绘制电子云轮廓图时, 把电子在原子核外空间出现概率  $P = \text{_____}$  的空间圈出来, 即电子云轮廓图。电子云图很难绘制, 使用不方便, 故常使用电子云轮廓图。

如 1s 电子云轮廓图的绘制:



##### 2. 原子轨道

(1) 定义: 量子力学把电子在原子核外的一个\_\_\_\_\_称为一个原子轨道。

(2) 形状: s 电子的原子轨道呈\_\_\_\_\_形, p 电子的原子轨道呈\_\_\_\_\_状。

(3)原子轨道数目与能级符号的关系

|        |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|
| 能级符号   | $ns$ | $np$ | $nd$ | $nf$ |
| 原子轨道数目 | 1    | 3    | 5    | 7    |

(4)不同能层中的原子轨道

| 能层 | 能级    | 原子轨道数 | 原子轨道名称             | 原子轨道的形状和取向 |       |
|----|-------|-------|--------------------|------------|-------|
|    |       |       |                    | 形状         | 取向    |
| K  | 1s    | 1     | 1s                 | 球形         | —     |
|    | 2s    | 1     | 2s                 | 球形         | —     |
| L  | 2p    | 3     | $2p_x, 2p_y, 2p_z$ | 哑铃形        | 相互垂直  |
|    | 3s    | 1     | 3s                 | 球形         | —     |
| M  | 3p    | 3     | $3p_x, 3p_y, 3p_z$ | 哑铃形        | 相互垂直  |
|    | 3d    | 5     | .....              | .....      | ..... |
| N  | ..... | ..... | .....              | .....      | ..... |

[问题思考]

(1)电子云图中的独立小点是否有意义？电子云图中的小点的含义是什么？

(2)电子在原子核外出现的概率有什么规律？

(3)不同能层中的 s 电子和 p 电子的电子云轮廓图分别相同吗？能量分别相同吗？

【核心知识讲解】

1. 正确认识电子云

(1)电子云表示电子在原子核外空间某处出现的概率，不代表电子的运动轨迹。电子云中的小点是电子在原子核外出现的概率密度的形象化描述，小点越密，表明概率密度越大。常把电子在原子核外空间出现的概率  $P=90\%$  的空间圈起来，即电子云轮廓图。

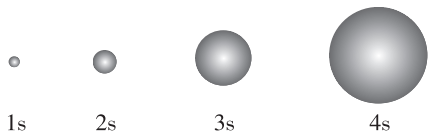
(2)电子云图中的小点并不代表电子，小点的数目也不代表电子真实出现的次数。

(3)由氢原子的 1s 电子在原子核外出现的概率密度分布图可知，电子在离原子核越近的空间出现的概率越大；电子云的外围形状具有不规则性。



2. 原子轨道与能层序数的关系

(1)不同能层的同种能级的原子轨道形状相同，半径不同。能层序数  $n$  越大，原子轨道的半径越大。如：同一原子中 s 电子的电子云轮廓图都是一个球形，只是球的半径不同，如图所示。



(2) $ns$  能级只有一个原子轨道， $np$  能级有 3 个能量相同的原子轨道，它们相互垂直，分别以  $p_x$ 、 $p_y$ 、 $p_z$  表示。 $nd$  能级有 5 个能量相同的原子轨道， $nf$  能级有 7 个能量相同的原子轨道。

(3)同一能层中，不同能级的原子轨道的能量及空间伸展方向不同，但同一能级的几个原子轨道的能量相同，如  $2p_x$ 、 $2p_y$ 、 $2p_z$  的能量相同。

(4)各能层中原子轨道数与能层序数( $n$ )的关系：某能层中原子轨道数目=该能层序数的平方(即  $n^2$ )。

3. s 能级和 p 能级原子轨道的比较

| 能级      | s                                                     | p       |
|---------|-------------------------------------------------------|---------|
| 轨道图形    |                                                       |         |
| 轨道形状    | 球形                                                    | 哑铃形     |
| 轨道数目    | 1                                                     | 3(相互垂直) |
| 最多容纳电子数 | 2                                                     | 6       |
| 相同点     | ①均以原子核为对称中心<br>②原子轨道的平均半径分别随能层数增大而增大，且同种能级符号的原子轨道形状相似 |         |

【知识迁移应用】

例 1 下列对核外电子运动状态的描述正确的是 ( )

- A. 电子的运动与行星的运动相似，围绕原子核在固定的轨道上高速旋转
- B. 能层数为 3 时，有  $3s$ 、 $3p$ 、 $3d$ 、 $3f$  四个轨道
- C. 氢原子中只有一个电子，故氢原子只有一个轨道
- D. 在同一能层上运动的电子，其空间运动状态可能不同

例 2 下列说法正确的是 ( )

- A. 1s 电子云呈球形，表示电子绕原子核做圆周运动
- B.  $ns$  能级的电子云轮廓图可表示为
- C.  $3d^3$  表示 3d 能级有 3 个轨道
- D. 电子云图中的小点密度大，说明该原子核外空间电子数目多

## ◆ 学习任务二 泡利原理、洪特规则、能量最低原理

### 【课前自主预习】

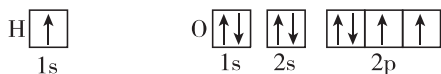
#### 1. 电子自旋与泡利原理

(1) 自旋相反: 电子自旋在空间有 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 两种取向, 简称自旋相反, 常用上下箭头(↑和↓)表示自旋相反的电子。

(2) 泡利原理: 在一个原子轨道里, 最多只能容纳 \_\_\_\_\_ 个电子, 它们的自旋 \_\_\_\_\_。(也称泡利不相容原理)

#### 2. 电子排布的轨道表示式

(1) 轨道表示式(又称电子排布图)是表述电子排布的一种图式, 如氢和氧的基态原子的轨道表示式如下:



在轨道表示式中, 用方框(也可用圆圈)表示 \_\_\_\_\_, 能量相同的原子轨道(简并轨道)的方框 \_\_\_\_\_。

(2) 箭头表示一种自旋状态的电子, “↑↓”称 \_\_\_\_\_, “↑”或“↓”称 \_\_\_\_\_(或称 \_\_\_\_\_)。

如基态氧原子有 \_\_\_\_\_ 个未成对电子。

(3) 箭头同向的单电子称 \_\_\_\_\_, 如基态氧原子有 \_\_\_\_\_ 个自旋平行的 2p 电子。

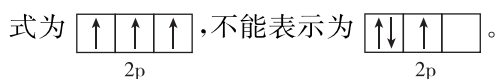
(4) 通常应在方框下方或上方标记 \_\_\_\_\_。有时画出的能级上下错落, 以表达 \_\_\_\_\_ 高低不同。

#### 3. 洪特规则

(1) 基态原子中, 填入 \_\_\_\_\_ 的电子总是先 \_\_\_\_\_, 且 \_\_\_\_\_, 称为洪特规则。

它不仅适用于基态原子, 也适用于 \_\_\_\_\_。

洪特规则是针对电子填入简并轨道而言的, 并不适用于电子填入能量不同的轨道。如  $2p^3$  的轨道表示式为



(2) 特例: 当同一能级上的电子排布为全充满( $p^6$ 、 $d^{10}$ 、 $f^{14}$ )、半充满( $p^3$ 、 $d^5$ 、 $f^7$ )或全空状态( $p^0$ 、 $d^0$ 、 $f^0$ )时, 具有较低的能量和较强的稳定性。如根据构造原理, 基态 Cr、Cu 的核外电子排布式应为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$ 、 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^9 4s^2$ , 此状态时 Cr、Cu 的能量较高、不稳定, 而基态 Cr、Cu 的电子排布式实际是 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_。

#### 4. 能量最低原理

(1) 能量最低原理: 在构建基态(能量最低的状态)原子时, 电子将尽可能地占据能量 \_\_\_\_\_ 的原

子轨道, 使整个原子的能量 \_\_\_\_\_, 这就是能量最低原理。

(2) 整个原子的能量由 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 三个因素共同决定, 相邻能级能量相差很 \_\_\_\_\_ 时, 电子填入能量 \_\_\_\_\_ 的能级即可使整个原子能量最低(如所有主族元素的基态原子); 相邻能级能量相差不太大时, 有 1~2 个电子占据能量稍 \_\_\_\_\_ 的能级可能反而降低了电子排斥能而使整个原子能量最低(如所有副族元素的基态原子)。

#### 【问题思考】

(1) 常见原子失去电子变为离子时, 优先失去最外层电子还是能量最高的电子?

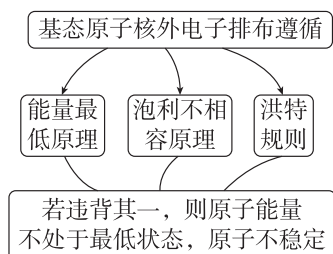
(2) 什么是原子核外电子的运动状态?

(3) 写出基态钠原子的原子结构示意图、电子排布式、轨道表示式和电子式。

### 【核心知识讲解】

#### 1. 基态原子核外电子排布

(1) 基态原子核外电子排布的规律

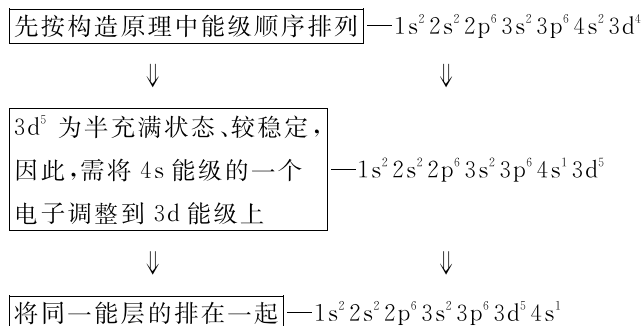


这三个原则并不是孤立的, 而是相互联系、相互制约的, 也就是说核外电子在原子轨道上的排布要同时遵循这三个原则。

(2) 特殊原子核外电子排布

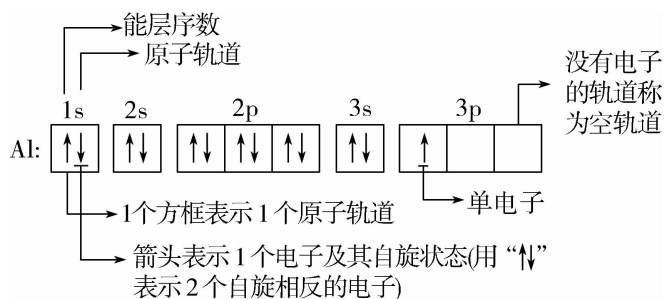
当 p、d、f 能级处于全空、全充满或半充满状态时, 能量相对较低, 原子结构较稳定。

如  $_{24}\text{Cr}$  的电子排布:



## 2. 轨道表示式

(1) 轨道表示式中各符号、数字的含义(以基态 Al 原子为例)



### (2) 书写原子轨道表示式的“五项要求”

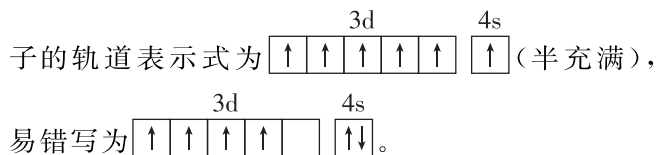
①一个方框( $\square$ )表示一个原子轨道,一个“箭头”表示一个电子,其中,s 轨道为  $\square$ ,p 轨道为  $\square \square \square$ ,d 轨道为  $\square \square \square \square \square$ 。

②不同能级中的方框(□)要相互分开,同一能级中的方框(□)要相互连接。

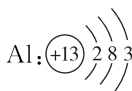
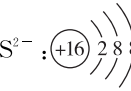
③整个原子的轨道表示式中各能级的排列顺序与相应的电子排布式一致。

④ 当一个方框(□)中有 2 个电子时,它们的自旋相反;当同一能级中的不同原子轨道有多个单电子时,电子要分占不同的原子轨道且自旋平行。

⑤根据洪特规则的特例,如基态 $_{24}\text{Cr}$ 原子价层电



### 3. 核外电子排布的表示方法

|                    |           |                                                                                                                                                                                               |
|--------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>原子(离子)结构示意图</b> | <b>含义</b> | 将每个能层上的电子总数表示在原子核外的式子                                                                                                                                                                         |
|                    | <b>实例</b> | Al:  S <sup>2-</sup> :  |
| <b>电子排布式</b>       | <b>含义</b> | 用数字在能级符号右上角标明该能级上排布的电子数                                                                                                                                                                       |
|                    | <b>实例</b> | K:1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 4s <sup>1</sup>                                                                                             |
| <b>简化电子排布式</b>     | <b>含义</b> | 为了避免电子排布式书写过于烦琐,把内层电子达到稀有气体原子结构的部分以相应稀有气体元素符号外加方括号表示                                                                                                                                          |
|                    | <b>实例</b> | K:[Ar]4s <sup>1</sup>                                                                                                                                                                         |

(续表)

|              |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 价层电子排布       | 含义 | 在化学反应中可能发生电子变动的能级中的电子排布式,主族元素的价层电子排布即最外层电子排布式                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|              | 实例 | $\text{Al}:3s^2 3p^1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 轨道表示式(电子排布图) | 含义 | 每个方框(或圆圈)代表一个原子轨道,每个箭头代表一个电子                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|              | 实例 | $\text{Al}: \begin{array}{ccccccc} 1s & 2s & 2p & 3s & 3p \\ \boxed{\uparrow\downarrow} & \boxed{\uparrow\downarrow} & \boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\downarrow} & \boxed{\uparrow\downarrow} & \boxed{\uparrow}\boxed{\phantom{\uparrow\downarrow}}\boxed{\phantom{\uparrow\downarrow}} \end{array}$ |
| 电子式          | 含义 | 化学中常在元素符号周围用“·”或“×”来表示元素原子的最外层电子,相应的式子叫电子式                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|              | 实例 | $\cdot \ddot{\text{P}} \cdot \cdot \text{K} \cdot \cdot \cdot \ddot{\text{S}} \cdot$                                                                                                                                                                                                                                                       |

### 〔名师小结〕 前四周期元素核外电子排布的特殊性

(1)最外层只有 1 个未成对电子的元素

I A 族( $ns^1$ :H、Li、Na、K); III A 族( $ns^2np^1$ :B、Al、Ga);

VII A 族( $ns^2 np^5$ ; F、Cl、Br); Cr( $3d^5 4s^1$ )、Cu( $3d^{10} 4s^1$ )

(2)最外层有 2 个未成对电子的元素

IVA 族( $ns^2np^2$ ; C、Si、Ge); VIA 族( $ns^2np^4$ ; O、S、Se)。

(3)最外层有 3 个未成对电子的元素

VA 族( $ns^2np^3$ ; N、P、As)。

(4)核外电子排布中,未成对电子数最多的元素

Cr( $3d^5 4s^1$ , 共有 6 个未成对电子)。

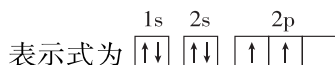
### 【知识迁移应用】

**例 3** 某基态原子的最外层电子排布式为  $3s^2 3p^2$ , 下列对其核外电子运动的说法错误的是 ( )

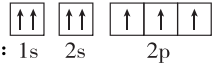
- A. 有 4 种不同的伸展方向  
B. 有 5 种不同能量的电子  
C. 有 5 种不同的空间运动状态  
D. 有 14 种不同运动状态的电子

**例 4** 下列说法正确的是 ( )

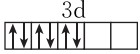
- A. 多电子原子不同能级能量高低的比较中: $3p>4s$
- B. 某元素基态原子的最外层电子数是次外层电子数的 1.5 倍,则该元素基态原子的核外电子排布式为  $1s^22s^22p^1$
- C. 基态 K 原子的核外电子的空间运动状态共有 19 种
- D. 根据洪特规则可知  $1s^22s^22p^2$  的价层电子的轨道



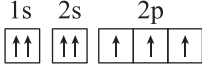
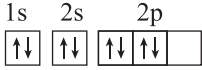
**例 5** 下列对基态原子的电子排布式或轨道表示式的评价错误的是 ( )

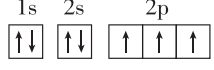
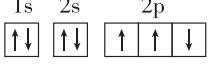
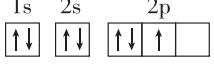
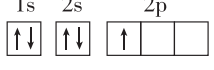
| 选项 | 电子排布式或轨道表示式                                                                             | 评价     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| A  | C 原子: $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^0 2p_z^0$                                                  | 违背洪特规则 |
| B  | Cr 原子: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$                                             | 书写正确   |
| C  | N 原子:  | 违背泡利原理 |
| D  | Ar 原子: $1s^2 2s^2 2p^4 3s^2 3p^6 3d^2$                                                  | 书写正确   |

**课堂评价** 知识巩固 素养形成

- 判断正误(正确的打“√”,错误的打“×”)。
  - 同一原子中 2p、3p、4p 能级轨道数依次增多 ( )
  - 因为 s 轨道的形状是球形的,所以 s 电子做的是圆周运动 ( )
  - 在一个基态多电子原子中,可以有两个运动状态完全相同的电子存在 ( )
  - $3p^2$  表示 3p 能级有两个轨道 ( )
  - 核外电子排布的表示方法中,轨道表示式最能反映电子的排布情况 ( )
  - $2p_x^3$  违背了洪特规则 ( )
  - $3d^6$  的轨道表示式为  ( )
  - 在电子层、原子轨道、原子轨道伸展方向都确定时,就能准确表示电子的运动状态 ( )
- 下列关于电子云示意图的叙述正确的是 ( )
  - 电子云表示电子的运动轨迹
  - 小点的多少表示电子个数的多少
  - 处于 1s 轨道上的电子在空间出现的概率分布呈球形对称,而且电子在原子核附近出现的概率小,离核越远电子出现的概率越大
  - 处在  $2p_x$  轨道的电子主要在 xy 平面的上、下方出现
- 下列说法不正确的是 ( )
  - 原子核外电子排布,先排满 K 层再排 L 层、先排满 M 层再排 N 层
  - 从空间角度看,3s 电子的电子云半径比 2s 电子的大
  - 2p、3p、4p 的轨道形状均为哑铃形
  - 各能层含有的原子轨道数为  $n^2$  (n 为能层序数)

4. 下列对各基态原子的电子排布式或轨道表示式书写的评价正确的是 ( )

| 选项 | 电子排布式或轨道表示式                                                                                       | 评价           |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| A  | N 原子的轨道表示式:<br> | 错误;违反洪特规则    |
| B  | O 原子的轨道表示式:<br> | 错误;违反泡利不相容原理 |
| C  | K 原子的电子排布式:<br>$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1$                                                    | 错误;违反能量最低原理  |
| D  | Br <sup>-</sup> 的电子排布式:<br>$[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^6$                                                | 错误;违反能量最低原理  |

- 聚氮化硫(SN)<sub>x</sub> 是重要的超导材料,目前已成为全球材料行业研究的热点。
  - 下列轨道表示式能表示氮原子的最低能量状态的是\_\_\_\_\_。
    - 
    - 
    - 
    - 
  - 基态 S 原子的原子核外有\_\_\_\_\_种空间运动状态不同的电子,其能量最高的电子的电子云轮廓图为\_\_\_\_\_形。
- 回答下列问题:
  - 某元素的激发态(不稳定状态)原子的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^3 3d^2$ ,则该元素基态原子的电子排布式为\_\_\_\_\_;其最高价氧化物对应水化物的化学式是\_\_\_\_\_。
  - s 电子的原子轨道呈\_\_\_\_\_形,每个 s 能级有\_\_\_\_\_个原子轨道;p 电子的原子轨道呈\_\_\_\_\_形,每个 p 能级有\_\_\_\_\_个原子轨道。
  - 元素 X 的基态原子最外层电子排布式为  $ns^n np^{n+1}$ ,其 p 电子云在空间有 3 个相互\_\_\_\_\_ (填“垂直”或“平行”)的伸展方向;元素 X 的名称为\_\_\_\_\_,它的最低价氢化物的电子式是\_\_\_\_\_。
  - 元素 Y 的基态原子电子排布式为  $ns^{n-1} np^{n+2}$ ,则 Y 的元素符号为\_\_\_\_\_。

**考情分析**

核外电子排布是高考必考基础题,从考查形式看既有选择题,也有非选择题。选择题侧重从符合

某类特点的元素类别,以及与元素推断相联系,考查元素周期律;非选择题考查书写指定元素的各类电子排布,以及解释元素的性质等。重点考查宏观辨识与微观探析、证据推理与模型认知的科学素养。

**解题策略**

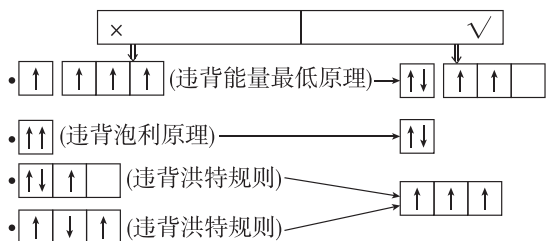
**类型一 原子核外电子排布表示方法及书写时的常见错误**

**1. 原子核外电子排布表示方法**

| 表示方法(以硫原子为例)                      | 书写方法及注意问题                                                                                                            |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 原子结构示意图:                          | (1)每个电子层最多容纳的电子数为 $2n^2$ 个<br>(2)最外层电子数不超过 8 个(若最外层为 K 层则不超过 2 个);次外层电子数不超过 18 个(若次外层为 L 层则不超过 8 个);倒数第三层电子数不超过 32 个 |
| 电子排布式: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ | 按电子排入各电子层中各能级的先后顺序,用能级符号依次写出各能级中的电子数,同时注意洪特规则特例                                                                      |
| 简化电子排布式: $[\text{Ne}]3s^2 3p^4$   | 用“[稀有气体]+价层电子”的形式表示                                                                                                  |
| 价层电子排布: $3s^2 3p^4$               | 价层电子排布能反映基态原子的能层数和参与成键的电子数以及最外层电子数                                                                                   |
| 轨道表示式:<br>                        | 用方框表示原子轨道,用“↑”或“↓”表示一种自旋状态的电子,按排入各电子层中各能级的先后顺序和在轨道中的排布情况书写                                                           |

**2. 核外电子排布书写时的常见错误**

(1)在写基态原子的轨道表示式时,常出现以下错误:



(2)洪特规则特例

如  $\begin{cases} \text{Cr}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2 (\times) \\ \text{Cr}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1 (\checkmark) \\ \text{Cu}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^9 4s^2 (\times) \\ \text{Cu}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1 (\checkmark) \end{cases}$

(3)当出现 d 轨道时,虽然电子按  $ns, (n-1)d, np$  的顺序填充,但在书写电子排布式时,仍把  $(n-1)d$  放在  $ns$  前,如  $\text{Fe}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ ,而失电子时,却先失  $4s$  轨道上的电子,如  $\text{Fe}^{3+}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$ 。

(4)注意比较原子核外电子排布式、简化电子排布式、价层电子排布的区别与联系。如 Cu 的电子排布式:

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ ;简化电子排布式: $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$ ;价层电子排布: $3d^{10} 4s^1$ 。

**例 1** (1)[2024·甘肃卷节选]  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Cl}^-$  的最外层电子排布图均为\_\_\_\_\_。

(2)[2023·北京卷节选] 基态 S 原子价层电子排布式是\_\_\_\_\_。

(3)[2023·广东卷节选] 基态  $\text{Fe}^{2+}$  的 3d 电子轨道表示式为\_\_\_\_\_。

(4)[2022·广东卷节选] Se 与 S 同族,基态硒原子价电子排布式为\_\_\_\_\_。

(5)[2022·海南卷节选] 基态 O 原子的电子排布式:\_\_\_\_\_,其中未成对电子有\_\_\_\_\_个。

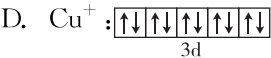
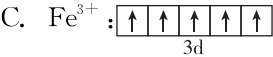
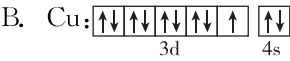
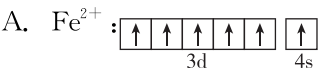
**例 2** (1)Al 在元素周期表中的位置:\_\_\_\_\_。基态 Zn 原子的价层电子排布:\_\_\_\_\_。

(2)Mn 位于元素周期表中第四周期第\_\_\_\_\_族,基态 Mn 原子核外未成对电子有\_\_\_\_\_个。

(3)基态 Cu 原子核外电子排布式为\_\_\_\_\_。

(4)基态 Cl 原子中,电子占据最高能级的电子云轮廓图为\_\_\_\_\_形。

(5)下列基态原子或离子的价层电子的轨道表示式正确的是\_\_\_\_\_ (填标号)。



## 类型二 核外电子的空间运动状态和运动状态的 区别

### 1. 相关概念

- (1)简并轨道:能量相同的原子轨道。  
(2)电子对:同一原子轨道中,自旋相反的一对电子,用“ $\uparrow\downarrow$ ”表示。  
(3)单电子:一个原子轨道中若只有一个电子,则该电子称为单电子,用“ $\uparrow$ ”或“ $\downarrow$ ”表示,又称未成对电子。  
(4)自旋平行:箭头同向的单电子称为自旋平行。  
(5)运动状态:原子中一个电子是一种运动状态,有几个电子,则有几种运动状态。

### 2. 常见问题表述及示例

|              |                                                                           |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------|
|              | 基态硫原子的电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$                                   |
| ①运动状态等于电子数   | S原子核外有16个电子,则有16种不同运动状态的电子                                                |
| ②空间运动状态等于轨道数 | S原子的电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ ,其轨道数为 $1+1+3+1+3=9$ ,则有9种不同的空间运动状态 |
| ③伸展方向看轨道类型   | S原子的s轨道为球形,只有1种伸展方向,p轨道有3种伸展方向,则共有4种不同的伸展方向                               |
| ④不同能量的电子看能级数 | S原子的电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ ,有5种不同能量的电子                         |

**例3** 基态P原子核外电子的空间运动状态有 ( )

- A. 4种 B. 7种 C. 8种 D. 9种

**例4** 回答下列问题。

(1)对于基态Cr原子,下列叙述正确的是\_\_\_\_\_ (填标号)。

- A. 轨道处于半充满时体系总能量低,核外电子排布式应为  $[\text{Ar}]3d^5 4s^1$   
B. 4s电子能量较高,总是在比3s电子离核更远的地方运动

(2)原子中运动的电子有两种相反的自旋状态,若一

种自旋状态用  $+\frac{1}{2}$  表示,则与之相反的用  $-\frac{1}{2}$  表示,

称为电子的自旋磁量子数。对于基态的磷原子,其价电子自旋磁量子数的代数和为\_\_\_\_\_。

(3)镁元素基态原子核外M层电子的自旋\_\_\_\_\_ (填“平行”或“相反”)。

(4)基态S原子的核外电子占据最高能级的电子云轮廓图为\_\_\_\_\_形。

(5)铝原子的核外电子云有\_\_\_\_\_种不同的伸展方向,有\_\_\_\_\_种不同运动状态的电子。

## 类型三 未成对电子数目

### 基态原子的未成对电子数目规律

| 族序数    | I A           | II A         | III A      | IV A         | V A           | VI A                 | VII A       | 0            |
|--------|---------------|--------------|------------|--------------|---------------|----------------------|-------------|--------------|
| 未成对电子数 | 1             | 0            | 1          | 2            | 3             | 2                    | 1           | 0            |
| 族序数    | III B<br>(Sc) | IV B<br>(Ti) | V B<br>(V) | VI B<br>(Cr) | VII B<br>(Mn) | VIII<br>(Fe, Co, Ni) | I B<br>(Cu) | II B<br>(Zn) |
| 未成对电子数 | 1             | 2            | 3          | 6            | 5             | 4, 3, 2              | 1           | 0            |

**例5** 下列微粒中,未成对电子数最多的是 ( )

- A.  $\text{O}: 1s^2 2s^2 2p^4$   
B.  $\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$   
C.  $\text{Fe}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$   
D.  $\text{Mn}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$

**例6** 判断原子中未成对电子数目,按要求填空:

(1)基态  $\text{Ti}^{3+}$  中未成对电子数有\_\_\_\_\_个;与Ti同族且相邻的元素Zr的基态原子价层电子排布为\_\_\_\_\_;与钛同周期元素的基态原子中,未成对电子数与钛相同的元素有\_\_\_\_\_种。

(2)血红蛋白中的  $\text{Fe}^{2+}$  处于基态时,其最高能级中的单电子数为\_\_\_\_\_。

(3)Cr与Ni的基态原子核外未成对电子数之比为\_\_\_\_\_。

(4)第四周期中未成对电子数最多的基态原子的价层电子轨道表示式为\_\_\_\_\_。

(5)基态Cu原子的价层电子轨道表示式为\_\_\_\_\_,基态Cu原子有\_\_\_\_\_个未成对电子。

(6)某元素的原子最外层电子排布式为  $ns^n np^{n+2}$ ,则  $n=$ \_\_\_\_\_;原子中能量最高的是\_\_\_\_\_电子,价层电子轨道表示式为\_\_\_\_\_。



(3)能否根据原子的价层电子排布判断元素在周期表中的位置？

【核心知识讲解】

1. 核外电子排布与周期的划分

(1)每一周期元素原子的价层电子排布与元素种类

| 周期 | 价层电子排布          |                                 |            | 各周期增加的能级    | 元素种类 |
|----|-----------------|---------------------------------|------------|-------------|------|
|    | 第ⅠA族            | 0族                              | 最外层最多容纳电子数 |             |      |
| 一  | 1s <sup>1</sup> | 1s <sup>2</sup>                 | 2          | 1s          | 2    |
| 二  | 2s <sup>1</sup> | 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> | 8          | 2s、2p       | 8    |
| 三  | 3s <sup>1</sup> | 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> | 8          | 3s、3p       | 8    |
| 四  | 4s <sup>1</sup> | 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> | 8          | 4s、3d、4p    | 18   |
| 五  | 5s <sup>1</sup> | 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> | 8          | 5s、4d、5p    | 18   |
| 六  | 6s <sup>1</sup> | 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup> | 8          | 6s、4f、5d、6p | 32   |
| 七  | 7s <sup>1</sup> | 7s <sup>2</sup> 7p <sup>6</sup> | 8          | 7s、5f、6d、7p | 32   |

(2)核外电子排布与周期划分的关系

- ①根据构造原理,将能量相近的能级分为一组,按能量由低到高可分为7个能级组,同一能级组内,各能级能量相差较小,各能级组之间能量相差较大。
- ②每一个能级组对应一个周期,且该能级组中最高的能级对应的能层数等于元素的周期序数。
- ③能级组容纳的最多电子数等于该周期元素种数。

2. 核外电子排布与族的划分

(1)主族元素原子的价层电子排布

| 主族序数   | ⅠA              | ⅡA              | ⅢA                              | ⅣA                              | ⅤA                              | ⅥA                              | ⅦA                              |
|--------|-----------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 价层电子排布 | ns <sup>1</sup> | ns <sup>2</sup> | ns <sup>2</sup> np <sup>1</sup> | ns <sup>2</sup> np <sup>2</sup> | ns <sup>2</sup> np <sup>3</sup> | ns <sup>2</sup> np <sup>4</sup> | ns <sup>2</sup> np <sup>5</sup> |

- ①主族元素的族序数=价电子总数=最高正价(O、F除外)。
- ②同主族元素原子的价层电子排布相同,价电子全部排在ns或ns和np轨道上。
- (2)稀有气体原子的价层电子排布为1s<sup>2</sup>或ns<sup>2</sup>np<sup>6</sup>。
- (3)过渡元素(以第四周期为例)原子的价层电子排布

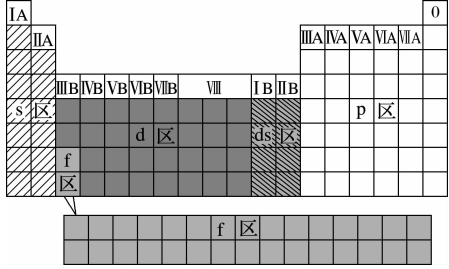
| 族序数 | 价层电子排布                            |
|-----|-----------------------------------|
| ⅢB  | 3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup>   |
| ⅣB  | 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>   |
| ⅤB  | 3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup>   |
| ⅥB  | 3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup>   |
| ⅦB  | 3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>   |
| Ⅷ   | 3d <sup>6~8</sup> 4s <sup>2</sup> |
| ⅠB  | 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>  |
| ⅡB  | 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>  |

- ①第ⅢB族→第ⅦB族:族序数=价电子数=原子最外层ns电子数+次外层(n-1)d电子数=最高正价(镧系、锕系除外)。
- ②第Ⅷ族:原子最外层ns电子数与次外层(n-1)d电子数之和分别为8、9、10。
- ③第ⅠB族和第ⅡB族的族序数=原子最外层电子数。

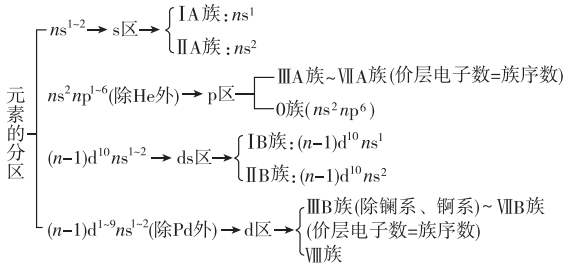
3. 元素周期表的分区

(1)按电子排布分区

①一般按核外电子排布式中最后填入电子的能级符号可将元素周期表(第ⅠB族、第ⅡB族除外)分为s、p、d、f 4个区,而第ⅠB族、第ⅡB族这2个纵列元素原子的核外电子可理解为先填充满(n-1)d能级后再填充ns能级而得名ds区。

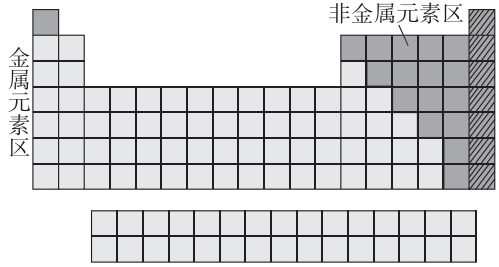


②元素的分区与核外电子排布:



(2)按金属元素与非金属元素分区

①金属、非金属元素在元素周期表中的位置  
沿着周期表中硼、硅、砷、碲、砹与铝、锗、铋、钋之间画一条线,线的左边是金属元素(氢除外),线的右边是非金属元素(稀有气体元素除外)。非金属元素主要集中在元素周期表右上角的三角区内(如图所示)。



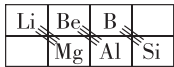
②金属与非金属分界线附近元素的性质特点  
在元素周期表中位于金属和非金属分界线附近的元素兼有金属和非金属的性质,位于此处的元素(如硼、硅、锗、砷、锑等)常被称为半金属或类金属(一般可用作半导体材料)。

[方法技巧] 元素周期表结构巧记口诀

横行叫周期,现有一至七,四长三个短,全部已填满。  
纵列称为族,共有十六族,一八依次现<sup>①</sup>,一零再一遍<sup>②</sup>。  
一纵一个族,Ⅷ族搞特殊,三纵算一族,占去 8、9、10。  
镧系与锕系,蜗居不如意,十五挤着住,都属ⅢB 族。  
说明:①指ⅠA 族、ⅡA 族、ⅢB 族、ⅣB 族、ⅤB 族、ⅥB 族、ⅦB 族、Ⅷ族;  
②指ⅠB 族、ⅡB 族、ⅢA 族、ⅣA 族、ⅤA 族、ⅥA 族、ⅦA 族、0 族。

4. 对角线规则

(1)对角线规则:在元素周期表中,某些主族元素与右下方的主族元素的有些性质是相似的,这种相似性被称为对角线规则。如:



(2)对角线规则示例  
锂与镁:锂和钠虽位于同一主族,但与钠的性质相差较远,而锂的化学性质与镁更相似。如:  
①锂和镁在 O<sub>2</sub> 中燃烧,并不生成过氧化物,都只生成氧化物(Li<sub>2</sub>O、MgO)。  
②锂和镁都能直接与 N<sub>2</sub> 反应生成氮化物(Li<sub>3</sub>N、Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub>)。  
③锂和镁的氢氧化物在加热时都可分解生成氧化物(Li<sub>2</sub>O、MgO)和 H<sub>2</sub>O。  
④锂和镁的碳酸盐均不稳定,受热均能分解生成相应氧化物和 CO<sub>2</sub>。  
⑤含锂和镁的某些盐,如碳酸盐、磷酸盐等均难溶于水。  
(3)对角线规则是从相关元素及其化合物的许多性质中总结出来的经验规则。  
如铍、铝两元素的性质相似性:

|      | 与酸反应                                                                                                                                                                                             | 与碱反应                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 单质   | $2\text{Al} + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2 \uparrow$<br>$\text{Be} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Be}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$                        | $2\text{Al} + 2\text{OH}^- + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + 3\text{H}_2 \uparrow$<br>$\text{Be} + 2\text{OH}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-} + \text{H}_2 \uparrow$ |
| 氧化物  | $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$<br>$\text{BeO} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Be}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$              | $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{OH}^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$<br>$\text{BeO} + 2\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-}$                                   |
| 氢氧化物 | $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$<br>$\text{Be}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Be}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ | $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$<br>$\text{Be}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-}$                                                                   |

[易错提醒] 对角线规则是从相关元素及其化合物的许多性质中总结出来的经验规则,不是定理。这种对角线规则是一种经验规则,也就是说从理论上来说它并不是很严谨,所以它在实用方面有一定的局限性,应慎重使用。

【知识迁移应用】

例 1 下列说法错误的是 ( )

- A. 元素周期表中 1~18 号元素都属于短周期元素
- B. 元素周期表从左向右数第十二纵列为第ⅡB 族
- C. 最高正价与最低负价代数数和等于 4 的短周期元素为硫元素
- D. 短周期元素形成的简单离子最外层都有 8 个电子

例 2 若某元素原子处于能量最低状态时,原子的最外层电子数为 2,价层电子数为 4,下列关于该元素的叙述正确的是 ( )

- A. 该元素基态原子的 M 层有 10 个电子
- B. 该元素处于元素周期表中第ⅣA 族
- C. 该元素位于元素周期表的 d 区或 p 区
- D. 该元素基态原子的价层电子排布为  $(n-1)d^2ns^2$

例 3 某化学学习小组在学习元素周期表和周期的划分时提出了以下观点:

- ①周期表的形成是由原子的结构决定的
- ②元素周期表中第ⅠA 族元素统称为碱金属元素
- ③每一周期元素原子的价层电子排布均是从  $ns^1$  开始至  $ns^2np^6$  结束
- ④元素周期表中每一周期元素的种类数均相等
- ⑤基态原子核外电子排布式为  $1s^22s^22p^3$  和  $1s^22s^22p^63s^23p^3$  的两种元素位于同一周期
- ⑥周期数越大,该周期所含金属元素一般越多

其中正确的是 ( )

- A. ①⑥
- B. ①②③⑤⑥
- C. ①④⑥
- D. ②③⑤

课堂评价

知识巩固 素养形成

- 1. 判断正误(正确的打“√”,错误的打“×”)。
  - (1)除 0 族外,短周期元素的最高化合价在数值上都等于该元素所属的族序数 ( )
  - (2)s 区均为金属元素 ( )
  - (3)同一族元素的价层电子数一定相同 ( )
  - (4)基态原子的 N 层上只有一个电子的元素,一定是第ⅠA 族元素 ( )

(5)基态原子价层电子排布为  $3d^2 4s^2$  的元素位于元素周期表第四周期第ⅣB族 ( )

(6)正三价阳离子的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$  的元素在周期表中位于第Ⅷ族 ( )

(7)元素周期表 5 个区中都有金属元素 ( )

(8)基态原子的价层电子排布为  $(n-1)d^{6\sim 8} ns^2$  的元素一定是过渡元素 ( )

(9)基态原子的价层电子排布为  $(n-1)d^x ns^y$  的元素的族序数一定为  $x+y$  ( )

2. 下列说法正确的是 ( )

A. d 区、ds 区、s 区元素全部是金属元素

B. 在周期表中,假设第八周期按照现有规则填满,则 115 号元素正下方将是 147 号元素

C. 第四周期元素中,未成对电子数最多的主族元素位于钾元素后面第五位

D. 气态  $Mn^{2+}$  再失去一个电子比气态  $Fe^{2+}$  再失去一个电子更难

3. 下列关于基态原子核外电子排布与元素在元素周期表中位置关系的表述正确的是 ( )

A. 原子的价层电子排布为  $ns^2 np^{1\sim 6}$  的元素一定是主族元素

B. 基态原子的 p 能级上有 5 个电子的元素一定是第ⅦA 族元素

C. 原子的价层电子排布为  $(n-1)d^{6\sim 8} ns^2$  的元素一定位于第ⅢB 族~第ⅧB 族

D. 基态原子的 N 层上只有 1 个电子的元素一定是主族元素

4. “铼”被称为“航空金属”,它在提升大飞机发动机涡轮叶片高温力学性能方面发挥着不可替代的作用。元素周期表中铼元素的数据如图所示。下列说法错误的是 ( )

75 Re  
铼  
 $5d^5 6s^2$   
186.2

A. 铼元素位于第六周期第ⅦB 族

B. 铼元素位于周期表中的 d 区

C. 基态铼原子核外有 5 个未成对电子

D. 铼的最高价氧化物的化学式为  $ReO_3$

5. 下列物质性质相似与“对角线”规则无关的是 ( )

A.  $Al(OH)_3$  能与  $NaOH$  溶液反应, $Be(OH)_2$  也能与  $NaOH$  溶液反应

B.  $MgCO_3$  微溶于水, $Li_2CO_3$  也微溶于水

C. 单质硼的熔点高,晶体硅的熔点也高

D. 氯气能与水反应,氟气也能与水反应

6. I. 我国科学家在铁基高温超导体的研究上取得重大突破,发现了该超导体通常是由 Fe、Ba、As 三种元素组成的,这为进一步理解超导配对机理及其与电荷密度波的关系提供了重要实验证据。回答下列问题:

(1)As 元素属于元素周期表的\_\_\_\_\_区元素,其基态原子的价层电子排布是\_\_\_\_\_。

(2)基态 Fe 原子的核外电子排布式为\_\_\_\_\_。

II. 某元素基态原子的最外电子层只有一个电子,该电子的电子层数  $n=4$ 。请回答下列问题:

(3)符合上述条件的元素共有\_\_\_\_\_种。

(4)在符合上述条件的元素中,原子序数最小的在元素周期表中的\_\_\_\_\_区,原子序数最大的在周期表的第\_\_\_\_\_周期第\_\_\_\_\_族。

(5)过渡元素的金属离子与水分子形成的化合物是否有颜色,与其 d 轨道电子排布有关。一般而言,为  $d^0$  或  $d^{10}$  排布时,无颜色;为  $d^1 \sim d^9$  排布时,有颜色。如  $[Co(H_2O)_6]^{2+}$  显粉红色。据此判断, $[Mn(H_2O)_6]^{2+}$  \_\_\_\_\_(填“无”或“有”)颜色。

## 第 2 课时 元素周期律

### 新课探究

知识导学 素养初识

#### ◆ 学习任务一 原子半径

##### 【课前自主预习】

##### 1. 影响因素

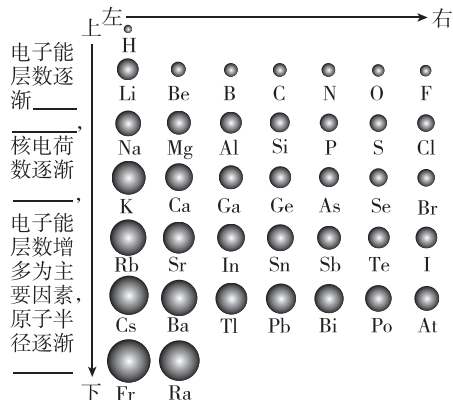
(1)电子的能层数:电子的能层越多,电子之间的排斥作用将使原子的半径\_\_\_\_\_。

(2)核电荷数:核电荷数越大,原子核对电子的吸引作用也越大,将使原子的半径\_\_\_\_\_。

(3)核外电子数:电子层数和核电荷数都相同时,核外电子数越多,将使粒子的半径\_\_\_\_\_。

##### 2. 变化规律

电子能层数\_\_\_\_\_,随着核电荷数增大,原子核对电子的引力\_\_\_\_\_,原子半径逐渐\_\_\_\_\_。



除 Li 外,第三周期主族元素原子半径大于第二周期主族元素原子半径[ $r(\text{Mg}) > r(\text{Li}) > r(\text{Al})$ ]。

【问题思考】

(1)电子能层数多的元素的原子半径一定比电子能层数少的元素的原子半径大吗?

(2)比较 Na 与  $\text{Na}^+$ 、Cl 与  $\text{Cl}^-$  的半径大小,并说明理由。

(3)具有相同电子层结构的离子,如  $\text{O}^{2-}$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  的半径大小关系如何?为什么?

【核心知识讲解】

比较粒子半径大小的方法

(1)快速判断简单粒子半径大小的方法

“一看”电子层数:

最外层电子数相同(同族)时,电子层数越多,半径越大。

“二看”核电荷数:

当电子层数相同时,核电荷数越大,半径越小。

“三看”核外电子数:

当电子层数和核电荷数均相同时,核外电子数越多,半径越大。

(2)离子半径的大小比较

①电子层结构相同的离子,核电荷数越大,半径越小,例如, $r(\text{O}^{2-}) > r(\text{F}^-) > r(\text{Na}^+) > r(\text{Mg}^{2+}) > r(\text{Al}^{3+})$ 。

②同主族带相同电荷的离子,电子层数越多,半径越大,例如, $r(\text{Li}^+) < r(\text{Na}^+) < r(\text{K}^+) < r(\text{Rb}^+) < r(\text{Cs}^+)$ , $r(\text{O}^{2-}) < r(\text{S}^{2-}) < r(\text{Se}^{2-}) < r(\text{Te}^{2-})$ 。

③同种元素的离子半径:阴离子半径大于原子半径,低价阳离子半径大于高价阳离子半径,例如, $r(\text{Cl}^-) > r(\text{Cl})$ , $r(\text{Fe}) > r(\text{Fe}^{2+}) > r(\text{Fe}^{3+})$ 。

④核电荷数、电子层数均不相同的离子可选一种离子作参照进行比较,例如,比较  $r(\text{K}^+)$  与  $r(\text{Mg}^{2+})$  可选  $r(\text{Na}^+)$  为参照, $r(\text{K}^+) > r(\text{Na}^+) > r(\text{Mg}^{2+})$ 。

【知识迁移应用】

例 1 已知短周期元素的离子  ${}_a\text{A}^{2+}$ 、 ${}_b\text{B}^+$ 、 ${}_c\text{C}^{3-}$ 、 ${}_d\text{D}^-$  具有相同的电子层结构,则下列叙述正确的是 ( )

- A. 原子半径: $\text{A} > \text{B} > \text{D} > \text{C}$   
B. 原子序数: $d > c > b > a$

C. 离子半径: $\text{C}^{3-} > \text{D}^- > \text{B}^+ > \text{A}^{2+}$

D. 单质的还原性: $\text{A} > \text{B} > \text{D} > \text{C}$

例 2 下列有关粒子半径的变化规律,不正确的是 ( )

- A. 当电子层数相同时,核电荷数越大,原子半径越大  
B. 当最外层电子数相同时,质子数越多,主族元素的原子半径越大  
C.  $r(\text{K}^+) > r(\text{Na}^+) > r(\text{Mg}^{2+}) > r(\text{Al}^{3+})$   
D.  $r(\text{O}^{2-}) < r(\text{S}^{2-}) < r(\text{Se}^{2-}) < r(\text{Te}^{2-})$

例 3 下列关于粒子半径的比较不正确的是 ( )

- ①  $r(\text{Li}^+) < r(\text{Na}^+) < r(\text{K}^+) < r(\text{Rb}^+) < r(\text{Cs}^+)$   
②  $r(\text{F}^-) < r(\text{Cl}^-) < r(\text{Br}^-) < r(\text{I}^-)$   
③  $r(\text{Na}^+) < r(\text{Mg}^{2+}) < r(\text{Al}^{3+}) < r(\text{F}^-) < r(\text{O}^{2-})$   
④  $r(\text{Fe}^{3+}) > r(\text{Fe}^{2+}) > r(\text{Fe})$

- A. ②③④                      B. ①④  
C. ③④                        D. ①②③

◆ 学习任务二 电离能

【课前自主预习】

1. 第一电离能的概念

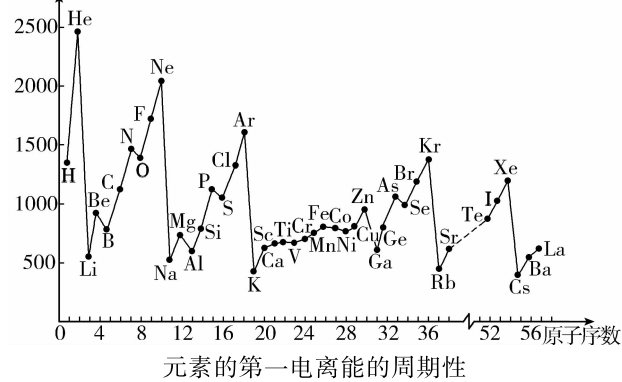
\_\_\_\_\_ 基态原子失去 \_\_\_\_\_ 电子转化为气态基态正离子所需要的 \_\_\_\_\_ 叫作第一电离能。  
元素第一电离能符号: \_\_\_\_\_。

即  $\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{A}^+(\text{g}) + \text{e}^- \quad I_1$

基态          基态  
原子          正离子

2. 第一电离能递变规律

第一电离能/( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )



(1)每个周期的第一种元素(氢和碱金属)的第一电离能 \_\_\_\_\_,最后一种元素(稀有气体)的第一电离能 \_\_\_\_\_,即一般来说,同一周期,随着核电荷数的递增,元素的第一电离能呈 \_\_\_\_\_ 趋势。第 III A 族如 B 和 Al 的第一电离能较小的原因:失去的是  $n\text{p}$  能级上的电子,该能级电子的能量比同周期第 II A 族 Be 和 Mg 失去的  $ns$  能级电子的能量 \_\_\_\_\_。

第ⅥA族如O、S的第一电离能较小的原因:第ⅤA族的N和P的电子排布是\_\_\_\_\_状态,比较稳定,电离能\_\_\_\_\_。

(2)同一主族元素,从上到下第一电离能逐渐\_\_\_\_\_。

3. 电离能的意义

衡量元素的原子失去电子的难易程度。第一电离能越\_\_\_\_\_,原子越易失去一个电子。

[问题思考]

(1)第二周期的元素中哪种元素的第一电离能最小,哪种元素的第一电离能最大?从原子结构的角度解释为什么同一周期随着原子序数的递增,第一电离能呈增大的趋势?从电子排布的角度分析为什么B的第一电离能小于Be,O的第一电离能小于N?

(2)在元素的第一电离能的周期性图中碱金属元素有哪些?它们的第一电离能有何变化规律?碱金属元素的第一电离能与碱金属元素的活泼性之间存在什么联系?试从原子结构的角度解释为什么碱金属元素的第一电离能数值较小?

(3)阅读分析表格数据:

| 元素                                | Na     | Mg     | Al     |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|
| 各级电离能/<br>(kJ·mol <sup>-1</sup> ) | 496    | 738    | 578    |
|                                   | 4562   | 1451   | 1817   |
|                                   | 6912   | 7733   | 2745   |
|                                   | 9543   | 10 540 | 11 575 |
|                                   | 13 353 | 13 630 | 14 830 |
|                                   | 16 610 | 17 995 | 18 376 |
|                                   | 20 114 | 21 703 | 23 293 |

为什么原子的逐级电离能越来越大?这些数据与钠、镁、铝的化合价有什么关系?数据的突跃变化说明了什么?

【核心知识讲解】

1. 元素原子第一电离能的变化规律

电离能的数值大小主要取决于原子的核电荷数、原子半径以及原子的核外电子排布。

|       |    |                                                                             |
|-------|----|-----------------------------------------------------------------------------|
| 同周期元素 | 规律 | 同周期元素从左到右,第一电离能整体呈增大趋势。每个周期的第一种元素(氢和碱金属)的第一电离能最小,最后一种元素(稀有气体)的第一电离能最大       |
|       | 原因 | 同周期元素原子的电子层数相同,但随着核电荷数增大,原子核对外层电子的吸引作用增强,失去电子的能力逐渐减弱,所以元素的第一电离能整体呈增大趋势      |
| 同主族元素 | 规律 | 同主族元素自上而下,第一电离能逐渐减小                                                         |
|       | 原因 | 同主族元素原子的价层电子数相同,但自上而下,原子半径逐渐增大,原子核对外层电子的吸引作用逐渐减弱,失去电子的能力逐渐增强,所以元素的第一电离能逐渐减小 |
| 过渡元素  | 规律 | 过渡元素的第一电离能的变化不太规则,同周期过渡元素中随着元素原子核电荷数的增加,第一电离能略有增加                           |
|       | 原因 | 对过渡元素原子来说,增加的电子大部分排布在(n-1)d或(n-2)f轨道上,原子核对外层电子的吸引作用变化不是太大                   |

[易错提醒] (1)第一电离能的变化与元素原子的核外电子排布有关。通常情况下,当原子核外电子排布在能量相等的轨道上形成全空(p<sup>0</sup>、d<sup>0</sup>、f<sup>0</sup>)、半充满(p<sup>3</sup>、d<sup>5</sup>、f<sup>7</sup>)或全充满(p<sup>6</sup>、d<sup>10</sup>、f<sup>14</sup>)结构时,原子的能量较低,该元素具有较大的第一电离能。

①如稀有气体元素的第一电离能在同周期元素中最大;

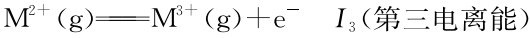
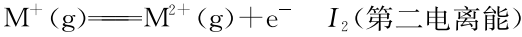
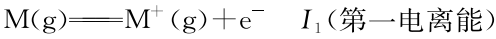
②同周期主族元素从左到右,元素的第一电离能呈增大趋势,但第ⅡA族的Be、Mg的第一电离能较同周期第ⅢA族的B、Al的第一电离能要大,这是由于第ⅢA族元素的最外层电子处于np轨道上,能量高,易失去,所以第一电离能小于第ⅡA族的Be、Mg;第ⅤA族的N、P、As的第一电离能分别较同周期第ⅥA族的O、S、Se的第一电离能要大,这是由于第ⅤA族元素的最外层电子排布式为ns<sup>2</sup>np<sup>3</sup>,p轨道为半充满状态,比第ⅥA族的ns<sup>2</sup>np<sup>4</sup>状态稳定。

(2)金属活动性顺序与元素的第一电离能大小顺序不完全一致,故不能根据金属活动性顺序判断元素第一电离能的大小,如金属活动性Na>Mg>Al,但第一电离能:Mg>Al>Na。

2. 逐级电离能

(1)含义:气态基态一价正离子再失去一个电子成为气态基态二价正离子所需的最低能量叫作第二电离能,第三电离能和第四、第五电离能以此类推。

可以表示为



(2)变化规律

①同一元素的逐级电离能是逐渐增大的,即  $I_1 < I_2 < I_3 < \dots$ ,这是由于原子失去一个电子变成+1价阳离子后,半径变小,核电荷数未变而电子数目变少,原子核对外层电子的吸引作用增强,因而失去第二个电子比失去第一个电子更难,需要的能量更多。

②原子的逐级电离能逐渐增大并且会发生突变即突然增大多倍,这是由于电子是分层排布的。如Na原子的  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  分别是 496、4562、6912(单位:  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,下同),在  $I_1$  和  $I_2$  之间发生突变;Mg原子的  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  分别是 738、1451、7733,在  $I_2$  和  $I_3$  之间发生突变,说明在化学反应中Na易失去1个电子,Mg易失去2个电子。

3. 电离能的应用

|                 |                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| 判断元素的金属性和非金属性强弱 | 一般来说, $I_1$ 越大,元素的非金属性越强; $I_1$ 越小,元素的金属性越强。注意第ⅡA族及第ⅤA族的反常现象    |
| 判断元素核外电子的分层排布情况 | 如Li: $I_1 \ll I_2 < I_3$ 表明Li原子核外的三个电子排布在两个能层(K、L)上,且最外层上只有一个电子 |
| 判断元素在化合物中的化合价   | 如K: $I_1 \ll I_2 < I_3$ 表明K原子易失去1个电子形成+1价阳离子                    |

【知识迁移应用】

例4 下列有关电离能的说法正确的是 ( )

- A. 第一电离能越大的原子失电子的能力越强
- B. 第一电离能是元素的原子失去核外一个电子需要的能量
- C. 同一周期中,主族元素原子第一电离能从左到右越来越大
- D. 可通过一种元素各级电离能的数值,判断元素可能的化合价

例5 第二周期主族元素X、Y、Z的部分逐级电离能( $I$ )数据如下表:

| $I/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$ | X       | Y       | Z       |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|
| $I_1$                                 | 1 402.3 | 1 313.9 | 1 681.0 |
| $I_2$                                 | 2856    | 3 388.3 | 3 374.2 |
| $I_3$                                 | 4 578.1 | 5 300.5 | 6 050.4 |
| $I_4$                                 | 7 475.0 | 7 469.2 | 8 407.7 |
| $I_5$                                 | 9445    | 10 990  | 11 023  |
| $I_6$                                 | 53 267  | 13 327  | 15 164  |
| $I_7$                                 | 64 360  | 71 330  | 17 868  |

下列说法一定正确的是 ( )

- A. X、Y、Z在周期表中处于相邻位置,且X的原子序数最大
- B. X位于元素周期表的第ⅤA族
- C. Y的最高正化合价为+6价
- D. 基态Z原子的原子核外最外电子层中有5个电子

◆ 学习任务三 电负性

【课前自主预习】

1. 键合电子和电负性的含义

(1)键合电子的含义  
元素相互化合时,原子中用于形成\_\_\_\_\_的电子。

(2)电负性的含义  
用来描述不同元素的原子对\_\_\_\_\_吸引力的大小。电负性越大的原子,对键合电子的吸引力\_\_\_\_\_。

2. 衡量标准

以氟的电负性为\_\_\_\_\_和锂的电负性为\_\_\_\_\_作为相对标准,得出各元素的电负性(稀有气体未计)。

3. 递变规律

(1)一般来说,同一周期元素,从左到右,元素的电负性逐渐\_\_\_\_\_。

(2)同一主族元素,从上到下,元素的电负性逐渐\_\_\_\_\_。

[问题思考]

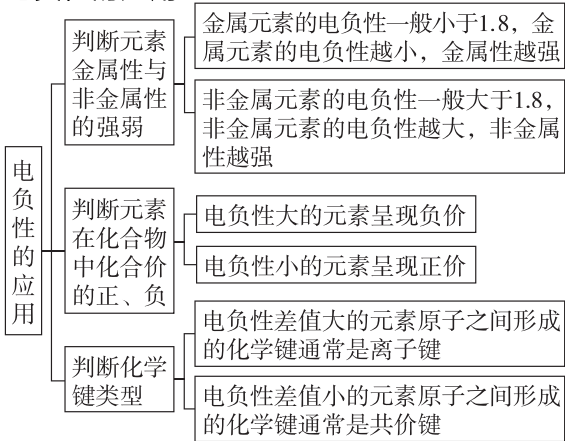
(1)元素电负性的数值大小与元素金属性、非金属性强弱有何关系? 预测元素周期表中电负性最大的元素是哪种元素? 电负性最小的元素是哪种元素(放射性元素除外)?

(2)以第三周期和碱金属元素为例,判断同周期主族元素电负性的变化规律是什么?同主族元素电负性的变化规律是什么?

(3)已知 H、O、Cl、F 的电负性分别为 2.1、3.5、3.0 和 4.0,写出 HClO 的结构式,并判断三种元素的化合价。HFO 的结构与 HClO 相同,其中元素的化合价呢?

【核心知识讲解】

1. 电负性的应用

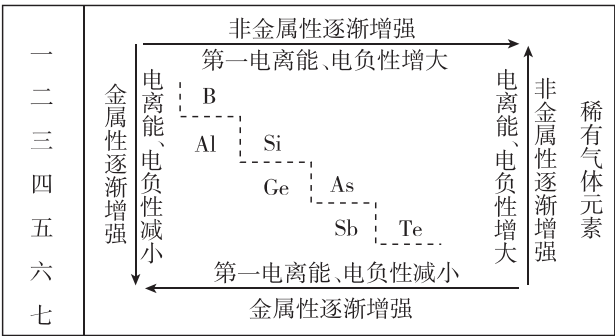


注:①电负性用于衡量原子吸引键合电子的能力,电负性大的原子吸引电子的能力强。

②不能把电负性 1.8 作为划分金属元素和非金属元素的绝对标准,如 Pb(铅)的电负性为 1.9,大于 1.8,是金属而不是非金属。

③并不是所有电负性差值大于 1.7 的两种元素原子之间都形成离子键,如 H 的电负性为 2.1,F 的电负性为 4.0,二者电负性差值为 1.9,但 HF 形成的是共价键;Na 的电负性为 0.9,与 H 的电负性之差为 1.2,但 NaH 形成的是离子键。

2. 电负性、第一电离能与金属性和非金属性的关系



注:①稀有气体元素的第一电离能在同周期中最大。

②同周期元素第一电离能:第ⅡA族>第ⅢA族,第VA族>第VIA族。

③比较电负性大小时,不考虑稀有气体元素。

【知识迁移应用】

例 6 下列说法不正确的是 ( )

- A. 第ⅠA族元素的电负性从上到下逐渐减小,而第ⅦA族元素的电负性从上到下逐渐增大
- B. 电负性的大小可以作为判断元素的金属性和非金属性强弱的依据
- C. 元素的电负性越大,表示其原子在化合物中吸引电子的能力越强
- D. NaH 的存在能支持“可将氢元素放在ⅦA族”的观点

例 7 下列有关电负性的说法正确的是 ( )

- A. 主族元素的电负性越大,元素原子的第一电离能一定越大
- B. 在元素周期表中,元素电负性从左到右越来越小
- C. 金属元素的电负性一定小于非金属元素的电负性
- D. 在形成化合物时,电负性越小的元素越容易显正价

课堂评价

知识巩固 素养形成

1. 判断正误(正确的打“√”,错误的打“×”)。
- (1)质子数相同的不同单核粒子,电子数越多半径越大 ( )
  - (2)核外电子层结构相同的单核粒子,半径相同 ( )
  - (3)同周期主族元素,从左到右,原子半径逐渐减小,简单离子半径也逐渐减小 ( )
  - (4)第三周期所含元素中钠的第一电离能最小 ( )
  - (5)铝的第一电离能比镁的第一电离能大 ( )
  - (6)第一电离能小的元素的金属性一定强 ( )
  - (7)同周期元素的第一电离能随着原子序数的增加整体上呈现增大的趋势 ( )
  - (8)核外电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^5$  的元素,电负性最大 ( )
  - (9)在形成化合物时,电负性越小的元素,越易显负价 ( )

2. 某短周期元素 R 的各级电离能数据(用  $I_1$ 、 $I_2$ ……表示,单位为  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) 如表所示。下列关于元素 R 的判断正确的是 ( )

| $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | $I_4$  | $I_5$  | $I_6$  |
|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 578   | 1817  | 2745  | 11 578 | 14 831 | 18 378 |

- A. R 元素基态原子的价层电子排布为  $ns^1$   
 B. R 的最高正价为 +3 价  
 C. R 元素的焰色为黄色  
 D. R 元素位于元素周期表中第 II A 族

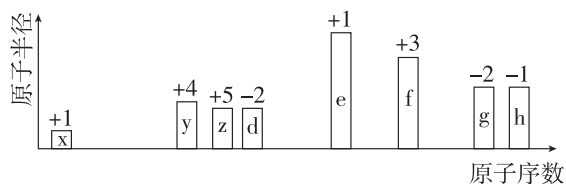
3. 现有如下四种元素基态原子的电子排布式。

- ①  $1s^2 2s^2 2p^5$     ②  $1s^2 2s^2 2p^4$   
 ③  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$     ④  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

则下列比较正确的是

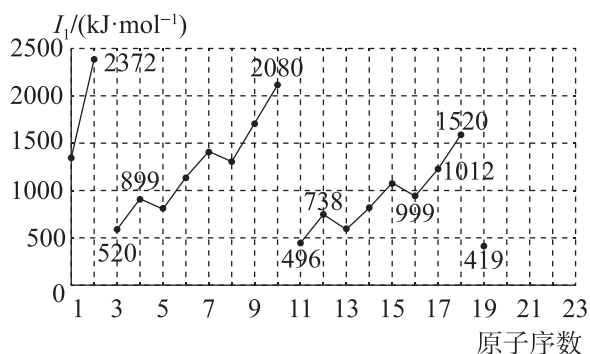
( )

- A. 第一电离能: ③ > ① > ④  
 B. 离子半径: ④ > ① > ②  
 C. 电负性: ① > ② > ④  
 D. 最高正化合价: ① = ③ > ④
4. 下列关于元素第一电离能的说法不正确的是 ( )
- A. 钾元素的第一电离能小于钠元素的第一电离能, 故钾的金属性强于钠  
 B. 因同周期主族元素的原子半径从左到右逐渐减小, 故第一电离能必依次增大  
 C. 最外层电子排布式为  $ns^2 np^6$  (若只有 K 层时为  $1s^2$ ) 的原子, 第一电离能较大  
 D. 对于同一元素而言, 原子的逐级电离能越来越大
5. 部分短周期元素原子半径的相对大小、最高正价或最低负价随原子序数的变化关系如图所示, 下列说法正确的是 ( )



- A. 简单离子半径的大小顺序:  $e > f > g > h$   
 B. y, z, d 三种元素电负性的大小:  $z > d > y$   
 C. 与 x 形成简单化合物的稳定性:  $d > z > y$   
 D. e, f, g, h 四种元素最高价氧化物对应的水化物相互之间均能发生反应
6. 不同元素的第一电离能( $I_1$ )如图所示。试根据元素在元素周期表中的位置, 分析图中曲线的变化特点, 并回答问题。

(1) 总结同主族内不同元素的  $I_1$  变化的特点: \_\_\_\_\_。



(2) 同周期内, 随原子序数增大,  $I_1$  增大。但个别元素的  $I_1$  出现反常, 试预测下列关系中正确的是 \_\_\_\_\_ (填序号)。

- ①  $I_1(\text{砷}) > I_1(\text{硒})$     ②  $I_1(\text{砷}) < I_1(\text{硒})$   
 ③  $I_1(\text{溴}) > I_1(\text{硒})$     ④  $I_1(\text{溴}) < I_1(\text{硒})$

(3) 解释 10 号元素  $I_1$  较大的原因: \_\_\_\_\_。

(4) 请估计 1 mol 气态基态 Ca 原子失去最外层一个电子所需能量  $E$  (单位:  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) 的范围: \_\_\_\_\_。

7. 光伏材料又称太阳能材料, 能将太阳能直接转化成电能。可作太阳能电池材料的有单晶硅、多晶硅、非晶硅、GaAs、GaAlAs、InP、GaS、CdTe、CuInSe 等。

(1) 元素镓(Ga)在元素周期表中的位置是 \_\_\_\_\_。

(2) P、S、Ga 三种元素的电负性从大到小的顺序为 \_\_\_\_\_。

(3) As 元素的第一电离能 \_\_\_\_\_ (填“大于”“小于”或“等于”) Se 元素的第一电离能, 原因是 \_\_\_\_\_。

(4) 写出原子序数最小的第 VIII 族元素基态原子的核外电子排布式: \_\_\_\_\_。

(5) 第四周期中 4s 轨道半充满的元素共有 \_\_\_\_\_ 种。

(6) 太阳能电池材料的很多金属元素在灼烧时会产生特殊的焰色, 产生这种现象是因为基态原子变为激发态原子后, 电子再跃迁到 \_\_\_\_\_ (填“较高”或“较低”) 能量状态时释放能量。

## 整合突破2 电负性与电离能的考查

### 考情分析

电负性和电离能是用于定量比较元素性质的依据, 也是高考的必考重点。在新高考形式下, 此类考点除了在非选择题重点考查, 也在选择题中分散考

查, 试题难度中等。从内容上看, 除了考查大小比较, 还考查如何利用电负性和第一电离能解释相关问题。从定性和定量两种角度分析解释问题, 考查宏观辨识与微观探析的核心素养。

### 类型一 电负性的考查

从相关物质的性质角度定性分析元素金属性、非金属性的强弱,运用电负性则可以定量地比较元素的金属性和非金属性,以及形成的化学键类型。电负性的变化规律是“横向右,纵向上”方向增强,掌握这个规律可以结合相关问题正确解答。

**例 1** (1)[2022·湖南卷节选] 富马酸亚铁( $\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$ )中各元素的电负性由大到小的顺序为\_\_\_\_\_。

(2)H、C、N 的电负性由大到小的顺序为\_\_\_\_\_。

(3)①H、B、N 中,原子半径最大的是\_\_\_\_\_,根据对角线规则,B 的一些化学性质与元素\_\_\_\_\_的相似。

② $\text{NH}_3\text{BH}_3$  分子中,与 N 原子相连的 H 呈正电性( $\delta^+$ ),与 B 原子相连的 H 呈负电性( $\delta^-$ ),电负性大小顺序是\_\_\_\_\_。

(4)①基态 Ti 原子的核外电子排布式为\_\_\_\_\_。

② $\text{CaTiO}_3$  组成元素的电负性大小顺序是\_\_\_\_\_。

**例 2** 电负性(用  $\chi$  表示)也是元素的一种重要性质,下表给出的是原子序数小于 20 的 16 种元素的电负性数值:

| 元素  | H   | Li  | Be  | B   | C   | N   | O   | F   |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 电负性 | 2.1 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| 元素  | Na  | Mg  | Al  | Si  | P   | S   | Cl  | K   |
| 电负性 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.5 | 3.0 | 0.8 |

回答下列有关问题:

(1)预测周期表中电负性最大的元素应为\_\_\_\_\_;  
估计钙元素的电负性的取值范围:\_\_\_\_\_  $< \chi(\text{Ca}) <$  \_\_\_\_\_。

(2)根据表中所给数据分析,同主族内的不同元素电负性的数值变化的规律是\_\_\_\_\_;  
简述元素电负性的大小与元素金属性、非金属性之间的关系:\_\_\_\_\_。

(3)经验规律告诉我们:当形成化学键的两原子相应元素的电负性差值大于 1.7 时,所形成的一般为离子键;当小于 1.7 时,一般为共价键。试推断  $\text{AlBr}_3$  中形成的化学键的类型为\_\_\_\_\_,其理由是\_\_\_\_\_。

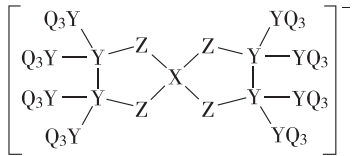
### 类型二 电离能的考查

电离能从失电子角度来比较原子核对核外电子作用力的强弱,从定量的角度进行衡量,也是判断元

素金属性和非金属性强弱的重要依据。其中第一电离能是高考考查的重点,按照元素周期表,元素第一电离能既有一定的规律性,也有“特例——能级全满或半满相对稳定”。

**例 3** (1)[2023·北京卷节选] 硫代硫酸盐是一类具有应用前景的浸金试剂。硫代硫酸根( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ )可看作是  $\text{SO}_4^{2-}$  中的一个 O 原子被 S 原子取代的产物。比较 S 原子和 O 原子的第一电离能大小,从原子结构的角度说明理由:\_\_\_\_\_。

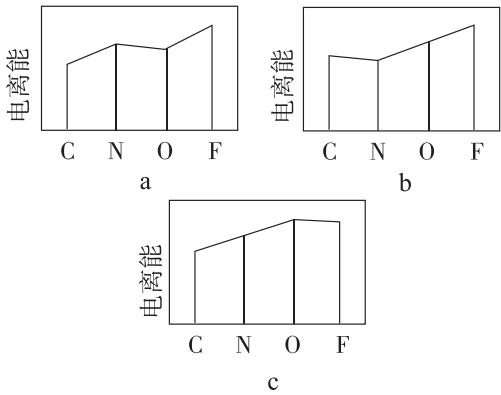
(2)[2024·福建卷节选] 某电解质阴离子的结构如图。X、Y、Z、Q 为原子序数依序增大的同周期元素,Z 的单质为空气的主要成分之一。X、Y、Z 第一电离能从小到大的顺序为\_\_\_\_\_ (填元素符号)。



(3)[2022·全国甲卷节选] ①基态 F 原子的价电子排布图(轨道表示式)为\_\_\_\_\_。

②图 a、b、c 分别表示 C、N、O 和 F 的逐级电离能  $I$  变化趋势(纵坐标的标度不同)。第一电离能的变化图是\_\_\_\_\_ (填标号),判断的根据是\_\_\_\_\_。

第三电离能的变化图是\_\_\_\_\_ (填标号)。



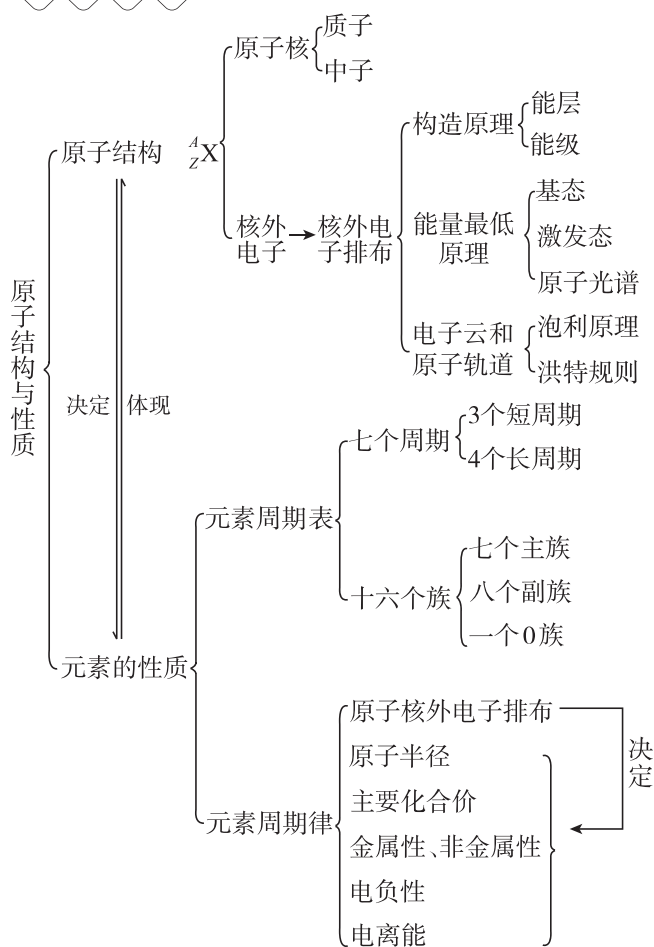
(4)[2022·河北卷节选] 含 Cu、Zn、Sn 及 S 的四元半导体化合物(简称为 CZTS),是一种低价、无污染的绿色环保型光伏材料,可应用于薄膜太阳能电池领域。回答下列问题:

①基态 S 原子的价电子中,两种自旋状态的电子数之比为\_\_\_\_\_。

②Cu 与 Zn 相比,第二电离能与第一电离能差值更大的是\_\_\_\_\_,原因是\_\_\_\_\_。

## ► 本章素养提升

## 知识网络



素养提升

### ◆ 探究点一 能层、能级和原子轨道的关系

**例 1** (1)某元素的原子序数为 33,该元素基态原子的价层电子排布为\_\_\_\_\_,该基态原子核外电子占据\_\_\_\_\_个电子层,\_\_\_\_\_个能级,\_\_\_\_\_个原子轨道。

(2) D 元素的正三价离子的 3d 能级为半充满状态, D 的元素符号为 \_\_\_\_\_, 其基态原子的电子排布式为 \_\_\_\_\_。

(3)E 元素基态原子的 M 层全充满,N 层没有成对电子,只有一个未成对电子,E 的元素符号为\_\_\_\_\_ ,其基态原子的电子排布式为\_\_\_\_\_。

### ◆ 探究点二 元素周期表中元素性质的递变规律及应用

**例 2** 元素周期表的一部分如图所示,图中所列的字母分别代表一种化学元素。

[illegible]

请回答下列问题:

(1)I 的最高化合价为\_\_\_\_\_,K 的元素名称为\_\_\_\_\_。

(2) 写出基态时 Q 元素原子的电子排布式：\_\_\_\_\_。  
J 元素基态原子的价层电子排布为\_\_\_\_\_。

(3)下列对比正确的是。

- a. 原子半径:  $H > G > B > A$   
 b. 第一电离能:  $E > D > C > B$   
 c. 电负性:  $A > H > G$   
 d. 最高价氧化物对应水化物的酸性:  $B > A > H > G$

(4) 下列关于元素在元素周期表中的位置以及基态原子的价层电子排布特点,叙述不正确的是\_\_\_\_\_。

- L 位于元素周期表中第五周期第 I A 族,属于 s 区元素
- O 位于元素周期表中第七周期第 VIII 族,属于 ds 区元素
- M 的价层电子排布为  $6s^1$ ,属于 ds 区元素
- H 所在族的元素基态原子价层电子排布为  $ns^2np^2$ ,属于 p 区元素

### 自我检测

1. 如图所示是元素周期表前四周期的一部分,下列关于五种元素的叙述中正确的是 ( )

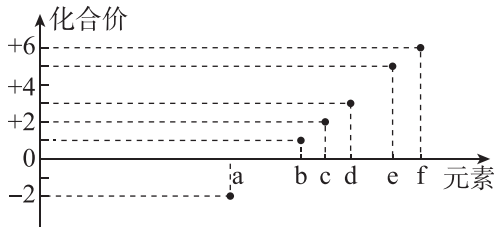
|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|   |   |   |   |
|   |   | X |   |
| W | Y |   | R |
|   |   | Z |   |

- A. Z 的基态原子最外层 p 轨道上有 2 个未成对电子  
B. 气态氢化物的稳定性:  $Y > X > Z$   
C. 原子半径:  $W > Y > X$   
D. 第一电离能:  $R > Y > W$

2. 离子键的百分数是依据电负性的差值计算出来的, 差值越大, 离子键的百分数越大, 下列几种化合物的化学键中离子键的百分数最大的是 ( )

- A. LiF      B.  $\text{AlCl}_3$       C.  $\text{MgO}$       D.  $\text{SO}_3$

3. 下图是部分短周期元素与其某种常见化合价的关系图,a、b、c、d、e、f 的原子序数依次增大,则下列说法错误的是 ( )



- A. 电负性: $a > f$   
 B. 第一电离能: $d > c$   
 C. 气态氢化物的稳定性: $f > e$   
 D. a 和 b 形成的化合物可能含有共价键
4. 下表是 A、B、C、D、E 五种短周期元素的某些性质,下列判断正确的是 ( )

| 元素    | A   | B   | C   | D   | E   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 最低化合价 | -4  | -2  | -1  | -2  | -1  |
| 电负性   | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |

- A. 元素 A 的原子最外层轨道中无自旋平行的电子  
 B. 与元素 B 同周期且第一电离能最小的元素的单质和 E 单质均能与  $H_2O$  发生置换反应  
 C. 元素 B、C 之间不可能形成化合物  
 D. C、D、E 的气态氢化物的稳定性: $E > C > D$
5. 下列有关原子结构与性质的叙述中,不正确的是 ( )

- A. 3p 和 4p 轨道形状均为哑铃形  
 B. 第三周期元素中第一电离能介于 Mg 和 S 之间的元素只有 1 种  
 C. 第四能层有 4 个能级,最多容纳 32 个电子  
 D. 主族元素处于元素周期表的 s 区和 p 区,s 区元素都是金属元素
6. 元素 Ge、As、Se 是元素周期表中第四周期主族元素,下列说法正确的是 ( )
- A. 原子半径: $r(\text{Ge}) < r(\text{As}) < r(\text{Se})$   
 B. 电负性: $\chi(\text{Ge}) < \chi(\text{As}) < \chi(\text{Se})$   
 C. 第一电离能: $I_1(\text{Ge}) < I_1(\text{As}) < I_1(\text{Se})$   
 D. 古氏试砷法的原理是  $\text{AsH}_3$  与硝酸银溶液反应生成银单质,体现了  $\text{AsH}_3$  具有极强的氧化性
7. 下表列出了某短周期元素 R 的各级电离能数据(用  $I_1, I_2, \dots$  表示,单位为  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )。下列关于元素 R

的判断一定正确的是 ( )

| $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | $I_4$  | $I_5$  | ..... |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 740   | 1500  | 7700  | 10 500 | 13 600 | ..... |

- ①R 的最高正价为 +3 价  
 ②R 元素位于元素周期表中第 II A 族  
 ③R 元素第一电离能大于同周期相邻元素  
 ④R 元素的原子最外层共有 4 个电子  
 ⑤R 元素基态原子的电子排布式为  $1s^2 2s^2$
- A. ①③  
 B. ②③  
 C. ②③④  
 D. ②③⑤

8. Ti、Na、Mg、C、N、O、Fe 等元素单质及化合物在诸多领域都有广泛的应用。回答下列问题。

(1) 钠在火焰上灼烧产生的黄光是一种 \_\_\_\_\_ (填字母,下同)。

a. 吸收光谱  
 b. 发射光谱

(2) 下列 Mg 原子的核外电子排布式中,能量最高的是 \_\_\_\_\_。

- a.  $1s^2 2s^2 2p^4 3s^1 3p_x^1 3p_y^1 3p_z^1$   
 b.  $1s^2 2s^2 2p^3 3s^2 3p_x^1 3p_y^1 3p_z^1$   
 c.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p_x^1$   
 d.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

(3) 基态 Ti 原子最高能层电子的电子云轮廓图形状为 \_\_\_\_\_。写出与 Ti 同周期的过渡元素中,所有基态原子最外层电子数与钛不同的元素原子的价层电子排布: \_\_\_\_\_。

(4) N、O、Mg 元素的前 3 级电离能如下表所示。X、Y、Z 中为 N 元素的是 \_\_\_\_\_。

| 元素 | $I_1/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$ | $I_2/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$ | $I_3/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$ |
|----|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| X  | 737.7                                   | 1 450.7                                 | 7 732.7                                 |
| Y  | 1 313.9                                 | 3 388.3                                 | 5 300.5                                 |
| Z  | 1 402.3                                 | 2 856.0                                 | 4 578.1                                 |

- (5) 琥珀酸亚铁片是用于预防和治疗缺铁性贫血的常见药物,建议服用维生素 C 促进“亚铁”的吸收,避免生成  $\text{Fe}^{3+}$ ,从结构角度看, $\text{Fe}^{2+}$  易被氧化成  $\text{Fe}^{3+}$  的原因是 \_\_\_\_\_。
- (6)  $\text{Fe}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{2+}$  的离子半径大小关系为  $\text{Fe}^{3+}$  \_\_\_\_\_ (填“>”或“<”)  $\text{Fe}^{2+}$ ,原因为 \_\_\_\_\_。