

LeXue QiZhong

GaoZhong HuaXue XuanXiu San



学在七中 志在清华

# 乐学七中

高中化学选修 ③

物质结构与性质

化学工作室 主编



电子科技大学出版社

LeXue QiZhong

GaoZhong HuaXue XuanXiu San

# 乐学七中

## 高中化学选修3

· 物质结构与性质 ·

化学工作室 主编



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

乐学七中. 高中化学选修3(物质结构与性质) / 化学

工作室主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2014. 5

ISBN 978-7-5647-2045-2

I. ①乐… II. ①化… III. ①中学化学课—高中—

教学参考资料 IV. ①G634

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第277177号

## 乐学七中. 高中化学选修3

(物质结构与性质)

主编 化学工作室

---

出版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 罗雅

责任编辑: 罗雅

主页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发行: 新华书店经销

印刷: 成都市火炬印务有限公司

成品尺寸: 205mm×282 印张 10.25 字数 360千字

版次: 2014年5月第一版

印次: 2014年5月第一次印刷

书号: ISBN 978-7-5647-2045-2

定价: 45.00元

---

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

# 目 录

→ → → → → → → → → → → → → → →

## 第一章 原子结构与性质

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 1.1 原子结构               | ( 1 )  |
| 1.1.1 能层、能级、构造原理       | ( 1 )  |
| 1.1.2 能量最低原理、泡利原理、洪特规则 | ( 7 )  |
| 1.2 结构与元素的性质           | ( 14 ) |
| 1.2.1 原子结构与元素周期表       | ( 14 ) |
| 1.2.2 元素周期表            | ( 20 ) |
| 章末归纳                   | ( 28 ) |
| 综合检测题                  | ( 31 ) |

## 第二章 分子结构与性质

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 2.1 共价键               | ( 35 ) |
| 2.1.1 共价键             | ( 35 ) |
| 2.1.2 键参数 等电子体        | ( 41 ) |
| 2.2 分子的立体结构           | ( 47 ) |
| 2.2.1 价层电子对互斥理论       | ( 47 ) |
| 2.2.2 杂化轨道理论          | ( 53 ) |
| 2.2.3 配合物理论简介         | ( 58 ) |
| 2.3 分子的性质             | ( 65 ) |
| 2.3.1 极性分子和非极性分子      | ( 65 ) |
| 2.3.2 范德华力 氢键         | ( 68 ) |
| 2.3.3 相似相溶 手性分子 无机含氧酸 | ( 74 ) |
| 章末归纳                  | ( 78 ) |

|       |        |
|-------|--------|
| 综合检测题 | ( 82 ) |
|-------|--------|

## 第三章 晶体结构与性质

|                   |         |
|-------------------|---------|
| 3.1 晶体常识          | ( 85 )  |
| 3.1.1 晶体与非晶体      | ( 85 )  |
| 3.1.2 晶胞          | ( 89 )  |
| 3.2 分子晶体与原子晶体     | ( 93 )  |
| 3.2.1 分子晶体        | ( 93 )  |
| 3.2.2 原子晶体        | ( 97 )  |
| 3.2.3 综合练习        | ( 103 ) |
| 3.3 金属晶体          | ( 103 ) |
| 3.3.1 金属键         | ( 107 ) |
| 3.3.2 金属晶体的原子堆积模型 | ( 112 ) |
| 3.4 离子晶体          | ( 112 ) |
| 3.4.1 离子键 离子晶体    | ( 115 ) |
| 3.4.2 晶格能         | ( 119 ) |
| 章末归纳              | ( 121 ) |
| 综合检测题             | ( 125 ) |

## 成都七中 高二上期

|              |         |
|--------------|---------|
| 半期考试 化学试卷(1) | ( 127 ) |
| 半期考试 化学试卷(2) | ( 132 ) |
| 参考答案         | ( 138 ) |



# 第一章



## 原子结构与性质

### 学习目标

1. 了解原子结构的构造原理,知道原子核外电子的能级分布,能用电子排布式表示常见元素(1~36号)原子核外电子的排布。
2. 了解能量最低原理,知道基态与激发态,知道原子核外电子在一定条件下会发生跃迁产生原子光谱。
3. 了解原子核外电子的运动状态,知道电子云和原子轨道。
4. 认识原子结构与元素周期系的关系,了解元素周期系的应用价值。
5. 能说出元素电离能、电负性的含义,能应用元素的电离能说明元素的某些性质。
6. 从科学家探索物质构成奥秘的史实中体会科学探究的过程和方法,在抽象思维、理论分析的过程中逐步形成科学的价值观。

### 知识分析

本章是在学生已有原子结构知识的基础上,进一步深入地研究原子的结构,从构造原理和能量最低原理介绍了原子的核外电子排布以及原子光谱等,并图文并茂地描述了电子云和原子轨道;在原子结构知识的基础上,介绍了元素周期系、元素周期表及元素周期律。总之,本章按照课程标准要求比较系统而深入地介绍了原子结构与元素的性质,为后续章节内容的学习奠定基础。尽管本章内容比较抽象,是学习难点,但作为本书的第一章,教科书从内容和形式上都比较注意激发和保持学生的学习兴趣,重视培养学生的科学素养,有利于增强学生学习化学的兴趣。

通过本章的学习,学生能够比较系统地掌握原子结构的知识,在原子水平上认识物质构成的规律,并能运用原子结构知识解释一些化学现象。

## ❖ 1.1 原子结构 ❖

### 1.1.1 能层、能级、构造原理

#### ☑ 预习目标

1. 能层、能级的概念以及原子结构的构造原理。
2. 原子核外电子的能级分布,电子排布式的书写。

#### ☑ 预习学案

##### 一、开天辟地——原子的诞生

1. 现代大爆炸宇宙学理论认为,我们所在的宇宙诞生于一次\_\_\_\_\_。
2. 大爆炸后约两小时诞生了大量的\_\_\_\_\_,少量的\_\_\_\_\_以及极少量的\_\_\_\_\_。其后,经过或长或短的发展过程,氢、氦等发生原子核的\_\_\_\_\_反应,分期分批地合成其他元素。
3. \_\_\_\_\_元素是宇宙中最丰富的元素,地球上的元素绝大多数是\_\_\_\_\_,非金属(包括稀有气体)仅



种。

## 二、能层与能级

### 1. 能层

(1)概念:多电子原子的核外电子的\_\_\_\_\_是不同的,按电子的\_\_\_\_\_差异可以将核外电子分成不同的能层。

(2)能层的表示方法及各能层所容纳的最多电子数:

| 能层    | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 | 六 | 七 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| 符号    |   |   |   |   |   |   |   |
| 最多电子数 |   |   |   |   |   |   |   |

(3)每个能层最多可容纳的电子数与能层的序数( $n$ )间存在的关系是\_\_\_\_\_。

### 2. 能级

(1)概念:

多电子原子中,同一能层的电子,\_\_\_\_\_也可能不同,还可以把它们分成能级。

(2)能级的表示方法和所能容纳的最多电子数:

| 能层    | K | L |   | M |   |    | N |   |    |    | O   |
|-------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|----|-----|
| 能级    |   |   |   |   |   |    |   |   |    |    | ... |
| 最多电子数 | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | ... |

(3)每个能层的能级数与\_\_\_\_\_相等。

## 三、构造原理与电子排布式

### 1. 构造原理

随着原子\_\_\_\_\_的递增,绝大多数元素的原子核外电子将遵循以下顺序填充到各能级中:1s、2s、2p、3s、3p、4s、\_\_\_\_\_、4p、5s、\_\_\_\_\_、5p、6s、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、6p、7s……这个排列顺序被称为构造原理。

### 2. 电子排布式

(1)元素原子的电子排布式中能级符号右上角的数字是该能级上\_\_\_\_\_。钾原子的电子排布式为\_\_\_\_\_。

(2)为了书写方便,通常还会将电子排布式进行简化,用稀有气体结构代替已经充满的电子层。

示例:Fe  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ ,简化电子排布式是\_\_\_\_\_。

(3)写出 Na、Cl、Ca 的电子排布式:

Na:\_\_\_\_\_ 简写为:\_\_\_\_\_

Cl:\_\_\_\_\_ 简写为:\_\_\_\_\_

Ca:\_\_\_\_\_ 简写为:\_\_\_\_\_

## 随堂自测

1. 下列能级符号正确的是 ( )

①5s ②2d ③3f ④6p

A. ①④

B. ②③

C. ③④

D. ①②

2. 下列各能层不包含 d 能级的是 ( )

A. N

B. M

C. Q

D. K

3. 下列各原子或离子的电子排布式错误的是 ( )

A.  $K^+$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

B. F:  $1s^2 2s^2 2p^5$

C.  $S^{2-}$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$

D. Ar:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

4. 比较下列能级的排布顺序(前者先于后者填“>”,后者先于前者“<”):



(1) 2s \_\_\_\_\_ 4s      (2) 3p \_\_\_\_\_ 3d      (3) 3d \_\_\_\_\_ 4s  
 (4) 4d \_\_\_\_\_ 5d      (5) 2p \_\_\_\_\_ 3s      (6) 4d \_\_\_\_\_ 5f

5. 写出下列原子或离子的电子排布式:

Mg \_\_\_\_\_  $\text{Al}^{3+}$  \_\_\_\_\_  $\text{F}^-$  \_\_\_\_\_

## 知识精析

### 一、原子结构理论发展

1. 从古代希腊哲学家留基伯和德谟克利特的朴素原子说到现代量子力学模型,原子结构模型经过了多次演变。

2. 现代大爆炸宇宙学理论认为,我们所在的宇宙诞生于一次大爆炸。大爆炸后约两小时,诞生了大量的氢、少量的氦以及极少量的锂。其后,经过或长或短的发展过程,氢、氦等发生原子核的融合反应,分期分批地合成其他元素。

3. 原子核外电子排布的一般规律:

(1) 核外电子总是尽量先排布在能量较低的电子层,然后由里向外,依次排布在能量逐步升高的电子层(能量最低原理)。

(2) 原子核外各电子层最多容纳  $2n^2$  个电子。

(3) 原子最外层电子数目不能超过 8 个(K 层为最外层时不能超过 2 个),次外层电子数目不能超过 18 个(K 层为次外层时不能超过 2 个),倒数第三层电子数目不能超过 32 个。

注意:以上规律是互相联系的,不能孤立地理解。

例如:当 M 层是最外层时,最多可排 8 个电子;当 M 层不是最外层时,最多可排 18 个电子。

### 二、能层与能级

1. 多电子原子的核外电子的能量是不同的,由内而外可以分为:

能层(符号)  $\xrightarrow[\text{能量由低到高}]{\text{K、L、M、N、O、P、Q}\cdots}$

例如:钠原子有 11 个电子,分布在三个不同的能层上,第一层 2 个电子,第二层 8 个电子,第三层 1 个电子。由于原子中的电子是处在原子核的引力场中,电子总是尽可能先从内层排起,当一层充满后再填充下一层。

理论研究证明,原子核外每一层所能容纳的最多电子数如下:

| 能层    | 一 | 二 | 三  | 四  | 五     | 六 | 七... |
|-------|---|---|----|----|-------|---|------|
| 符号    | K | L | M  | N  | O     | P | Q... |
| 最多电子数 | 2 | 8 | 18 | 32 | 50... |   |      |

即每层所容纳的最多电子数是:  $2n^2$  ( $n$ : 能层的序数)

2. 但是同一个能层的电子,能量也可能不同,还可以把它们分成能级(s、p、d、f...),就好比能层是楼层,能级是楼梯的阶数。各能层上的能级是不一样的。

能级的符号和所能容纳的最多电子数如下:

| 能层     | K  | L     | M        | N           | O...  |
|--------|----|-------|----------|-------------|-------|
| 能级     | 1s | 2s 2p | 3s 3p 3d | 4s 4p 4d 4f | ...   |
| 最多电子数  | 2  | 2 6   | 2 6 10   | 2 6 10 14   | ...   |
| 各能层电子数 | 2  | 8     | 18       | 32          | 50... |

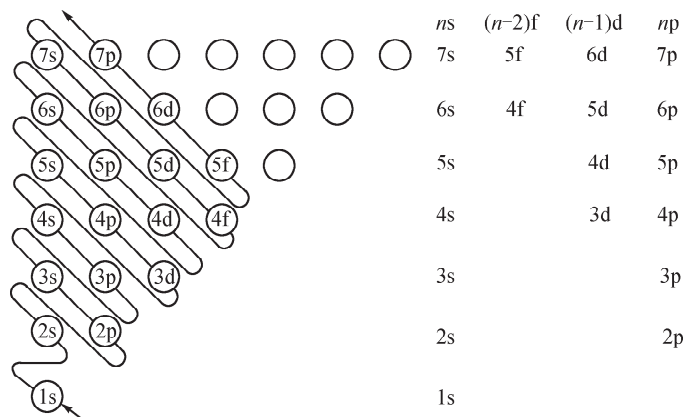
(1) 每个能层中,能级符号的顺序是  $ns, np, nd, nf, \cdots$

(2) 任一能层,能级数=能层序数

(3) s、p、d、f...可容纳的电子数依次是 1、3、5、7...的两倍

### 三、构造原理

核外电子按能级顺序依次填充,这种规律称为构造原理。



1. 电子所排的能级顺序:  $1s \ 2s \ 2p \ 3s \ 3p \ 4s \ 3d \ 4p \ 5s \ 4d \ 5p \ 6s \ 4f \ 5d \ 6p \ 7s \dots$

2. 根据构造原理,只要我们知道原子序数,就可以写出几乎所有元素原子的电子排布。

元素原子的电子排布:(1~36号)

氢 H  $1s^1$

.....

钠 Na  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  [Ne] $3s^1$

.....

钾 K  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$  [Ar] $4s^1$

.....

3. 有少数元素的基态原子的电子排布对于构造原理有一个电子的偏差,

如:铬 $_{24}\text{Cr}$  [Ar] $3d^5 4s^1$  铜 $_{29}\text{Cu}$  [Ar] $3d^{10} 4s^1$  (此为洪特规则特例,后面再学习。)

### 例题精析

**例1** 下列说法中正确的是

( )

- A. 同一原子中,  $1s, 2s, 3s$  电子的能量逐渐减小
- B. 同一原子中,  $2p, 3p, 4p$  能级的轨道数依次增多
- C. 能量高的电子在离核近的区域运动, 能量低的电子在离核远的区域运动
- D. 各能层含有的能级数为  $n$  ( $n$  为能层序数)

**【解析】** 同一原子中能层序数越大, 能量越高, 离核越远, A、C 项均错误; 在同一能级中, 其轨道数是一定的, 不论其在哪一能层中, B 项错误; D 项正确。

**【答案】** D

**例2** 下列说法中正确的是

( )

- A.  $1s^2 2s^1 2p^1$  表示的是激发态原子的电子排布
- B.  $3p^2$  表示  $3p$  能级有两个轨道
- C. 同一原子中,  $3d$  轨道的能量小于  $4s$  轨道的能量
- D. 同一原子中,  $2p, 3p, 4p$  电子的能量逐渐减小

**【解析】** A 项中 1 个  $2s$  电子被激发到  $2p$  能级上, 表示的是激发态原子, 正确; B 项中  $3p^2$  表示  $3p$  能级上填充 2 个电子, 错误; C 项中由于能级交错,  $3d$  轨道的能量大于  $4s$  轨道的能量, 错误; D 项, 同一原子中电子层数越大, 能量也就越高, 离核越远, 故  $2p, 3p, 4p$  电子的能量增大, 错误; 故选 A。

**【答案】** A

**例3** 比较下列多电子原子的能级的排布顺序(前者先于后者填“>”、后者先于前者填“<”)

(1)  $2s$  \_\_\_\_\_  $3s$       (2)  $2s$  \_\_\_\_\_  $3d$       (3)  $3p$  \_\_\_\_\_  $3s$       (4)  $4f$  \_\_\_\_\_  $6f$

**【解析】** 根据构造原理:  $ns < np < nd < nf$ , 不同能层上符号相同的能级的能量高低:  $1s < 2s < 3s < 4s \dots$



[答案] (1)< (2)< (3)> (4)<

**例4** 主族元素原子失去最外层电子形成阳离子,主族元素的原子得到电子填充在最外层形成阴离子。

下列各原子或离子的电子排布式错误的是 ( )

A.  $\text{Ca}^{2+}$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

B.  $\text{O}^{2-}$ :  $1s^2 2s^2 2p^4$

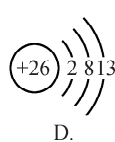
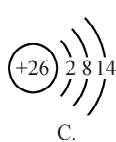
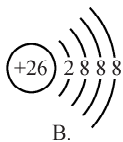
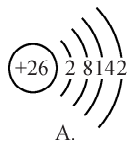
C.  $\text{Cl}^-$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

D. Ar:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

[解析] 本题主要考查根据构造原理来书写电子排布式,已知氧原子的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^4$ ,故  $\text{O}^{2-}$  的电子排布式应为  $1s^2 2s^2 2p^6$ ,B 错,A、C、D 均正确。

[答案] B

**例5** 铁是常见金属,它在元素周期表中位于第四周期Ⅷ族,原子序数为 26,则  $\text{Fe}^{2+}$  的结构示意图为 ( )



[解析] 根据轨道能量顺序图,电子首先进入能量低的原子轨道,铁原子中的电子在填满 K 层和 L 层及 3s、3p 原子轨道后,接着在 4s 原子轨道上填 2 个电子,然后在 3d 原子轨道上填 6 个电子,则铁元素的基态原子

的核外电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ ,即铁原子的结构示意图是

从  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ,Fe 原子首先失去的是最外层 4s 原子轨道上的电子,而不是失去 3d 原子轨道上的电子。所以, $\text{Fe}^{2+}$  的电子排布式为

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6$ , $\text{Fe}^{2+}$  的结构示意图为

“最外层不超过 8 个电子,次外层不超过 18 个电子,倒数第三层不超过 32 个电子”是针对原子而言的,不适用于离子。故选 C。

[答案] C

### 过手训练

- 道尔顿的原子学说曾经起了很大作用,他的学说中,包含有下述三个论点:①原子是不能再分的粒子,②同种元素原子的各种性质和质量都相同,③原子是微小的实心球体。从现代的观点来看,你认为这三个论点中,不确切的是 ( )  
A. 只有③ B. 只有①③ C. 只有②③ D. ①②③
- 下列说法错误的是 ( )  
A. 氢是宇宙中最丰富的元素 B. 所有恒星,包括太阳,都在不断地合成元素  
C. 思辨性推测就是科学假设 D. 不同的能层是根据电子的能量差异划分的
- 支撑“宇宙大爆炸”理论的重要事实之一是 ( )  
A. 宇宙原子总数的 88.6% 是氢 B. 地球上的元素绝大多数是金属  
C. 普鲁特“氢是元素之母”的预言 D. 宇宙中存在少量稀有气体分子
- 大爆炸理论认为:天然元素源于氢氦等发生的原子核的融合反应。这与一百多年前普鲁特运用思辨性推测作出“氢是所有元素之母”的预言一致。下列说法正确的是 ( )  
A. 科学研究中若能以思辨性推测为核心,就能加快科学的进程  
B. 普鲁特“既然氢最轻,它就是其他一切元素之母”的推理是符合逻辑的  
C. “一致”是巧合,普鲁特的预言没有科学事实和理论支撑,只是一种猜测  
D. “现代大爆炸理论”是解释宇宙诞生的唯一正确的理论
- 某元素只存在两种天然同位素,且在自然界它们的含量相近,其相对原子质量为 152.0,原子核外的电子数



- 为 63。下列叙述中错误的是 ( )
- A. 它是副族元素 B. 它是第六周期元素
- C. 它的原子核内有 63 个质子 D. 它的一种同位素的核内有 89 个中子
6. X 元素的阳离子和 Y 元素的阴离子具有相同的电子层结构, 下列叙述正确的是 ( )
- A. 原子序数:  $X < Y$  B. 原子半径:  $X < Y$
- C. 离子半径:  $X > Y$  D. 原子的电子排布不同
7.  $^{16}\text{O}$  和  $^{18}\text{O}$  是氧元素的两种核素。下列说法正确的是 ( )
- A.  $^{16}\text{O}_2$  和  $^{18}\text{O}_2$  互为同分异构体
- B.  $^{16}\text{O}$  和  $^{18}\text{O}$  核外电子排布不同
- C. 通过化学变化可以实现  $^{16}\text{O}$  和  $^{18}\text{O}$  间的相互转化
- D. 标准状况下,  $1.12\text{L}^{16}\text{O}_2$  和  $1.12\text{L}^{18}\text{O}_2$  均含  $0.1N_A$  个氧原子
8. 有 A、B 两种原子, A 原子的 M 能层比 B 原子的 M 能层少 3 个电子, B 原子的 L 能层电子数恰好为 A 原子 L 能层电子数的 2 倍。A 和 B 分别是 ( )
- A. Si 和 Na B. B 和 He C. Cl 和 O D. C 和 Al
9. 以 s、p、d、f……的排序, 各能级可容纳的电子数依次为 ( )
- A. 1、3、5、7… B. 2、6、10、14… C. 1、2、3、4… D. 2、4、6、8…
10. 下列各组微粒中, 各能层电子数均达到  $2n^2$  个的是 ( )
- A. Ne 和 Ar B. H 和  $\text{Na}^+$  C. Ne 和  $\text{Cl}^-$  D. F 和  $\text{S}^{2-}$
11. 具有下列电子排布式的原子中, 半径最大的是 ( )
- A.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$  B.  $1s^2 2s^2 2p^3$
- C.  $1s^2 2s^2 2p^2$  D.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
12. (双选) X、Y、Z 分别代表 3 种不同周期元素, X 元素原子的最外层电子排布为  $ns^1$ , Y 元素原子的 M 电子层中有 6 个电子, Z 元素原子的 L 电子层的 p 亚层中有 4 个电子, 由这三种元素组成的化合物的分子式可能为 ( )
- A.  $\text{X}_3\text{YZ}_4$  B.  $\text{X}_2\text{YZ}_3$  C.  $\text{XYZ}_2$  D.  $\text{X}_2\text{YZ}_4$
13. 某元素的最常见的化合价为 -2 价, 则该元素的原子最外电子层排列式是 ( )
- A.  $ns^2$  B.  $ns^2 np^2$  C.  $ns^2 np^4$  D.  $ns^2 np^6$
14. 一个电子排布为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$  的元素最可能的价态是 ( )
- A. +1 B. +2 C. +3 D. -1
15. 四种短周期元素的性质或结构信息如下表, 请根据信息回答下列问题:

| 元素 | 性质或结构信息                                    |
|----|--------------------------------------------|
| A  | 室温下单质呈粉末状固体, 加热易熔化。单质在氧气中燃烧, 发出明亮的蓝紫色火焰    |
| B  | 单质常温常压下是气体, 能溶于水。原子的 M 层上有 1 个未成对的 p 电子    |
| C  | 单质质软, 因白色固体, 导电性强。单质在空气中燃烧, 发出黄色火焰         |
| D  | 原子最外电子层上 s 电子数等于 p 电子数。单质为空间网状晶体, 具有很高的熔沸点 |

- (1) B 元素在周期表中的位置是 \_\_\_\_\_, 写出 A 原子的电子排布式 \_\_\_\_\_。
- (2) 写出 C 单质与水反应的化学方程式 \_\_\_\_\_。
- (3) D 元素最高价氧化物晶体的硬度 \_\_\_\_\_ (填“大”、“小”), 其理由是 \_\_\_\_\_。
- (4) A、B 两元素非金属性较强的是 (元素符号) \_\_\_\_\_。写出能证明这一结论的一个实验事实 \_\_\_\_\_。

## 预习目标

-  **预习学案** 

### 1. 能量最低原理

## 2. 基态和激发态

(3)基态、激发态与能量转化的关系:

### 3. 光谱和光谱分析

### (1) 光谱

## (2) 光谱分析

现代化学中,常利用原子光谱上的 来鉴定元素,称为光谱分析。

## 二、电子云与原子轨道

### 1. 电子运动的特点

## 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\_\_\_\_\_分布的形象化描述,小黑点越密,表示概率密度越大。由于核外电子的\_\_\_\_\_分布看起来像是一片云雾,因而被形象地称作电子云。

### 3. 原子轨道

### (1) 定义

称为原子轨道。

## (2) 原子轨道的形状

s 电子原子轨道是 形的, p 电子原子轨道是 形的。

### 三、泡利原理和洪特规则

## 1. 泡利原理

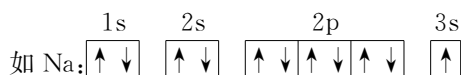
在一个原子轨道里最多只能容纳\_\_\_\_\_个电子,而且它们的自旋状态\_\_\_\_\_,这个原理称为泡利原理。

## 2. 洪特规则

当电子排布在\_\_\_\_\_能级的\_\_\_\_\_轨道时,基态原子中的电子总是优先\_\_\_\_\_,而且自旋状态\_\_\_\_\_,这个规则称为洪特规则。

#### 四、电子排布图

用方框代表一个原子轨道,用箭头表示一个电子,这样的式子称为电子排布图。

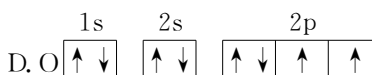
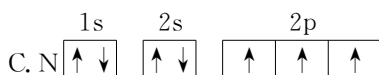
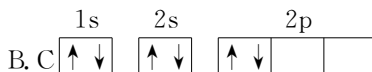
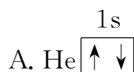


N: \_\_\_\_\_

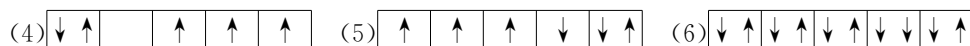
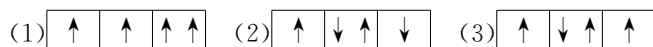
O: \_\_\_\_\_

### 随堂自测

- 下列能级中,轨道数为7的是 ( )  
A. s 能级 B. p 能级 C. d 能级 D. f 能级
- 下面是一些原子的电子排布式,其中不是激发态原子的是 ( )  
A.  $1s^2 2s^2 2p^6$  B.  $1s^2 2s^1 3s^1$   
C.  $1s^2 2s^2 4d^1$  D.  $1s^2 2s^2 2p^2 3s^1$
- 下列说法中正确的是 ( )  
A. 电子云通常是用小黑点来表示电子的多少  
B. 能量高的电子在离核近的区域运动,能量低的电子在离核远的区域运动  
C. 处于最低能量的原子叫基态原子  
D. 电子仅在激发态跃迁到基态时才会产生原子光谱
- 下列各原子基态电子排布图错误的是 ( )



- 以下列出的是一些原子的 2p 能级和 3d 能级中电子排布的情况。试判断,哪些违反了泡利原理,哪些违反了洪特规则。



违反泡利原理的有 \_\_\_\_\_,违反洪特规则的有 \_\_\_\_\_。

### 知识精析

理论研究证明,在多电子原子中,电子的排布分成不同的能层,同一能层的电子,还可以分成不同的能级。能层和能级的符号及所能容纳的最多电子数如下:

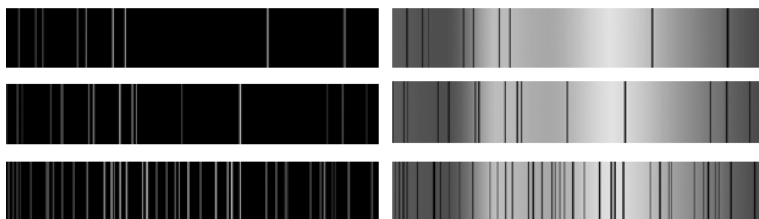
| 能层    | K  | L  |    | M  |    |    | N  |    |    |    | O  |        |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|
| 能级    | 1s | 2s | 2p | 3s | 3p | 3d | 4s | 4p | 4d | 4f | 5s | 5p ... |
| 最多电子数 | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6 ...  |

#### 一、能量最低原理、基态、激发态、光谱

- 原子的电子排布遵循构造原理能使整个原子的能量处于最低状态,简称能量最低原理。
- 处于最低能量的原子叫做基态原子。
- 激发态 基态原子的电子吸收能量后,电子会跃迁到较高的能级,此时原子的能量较基态高,叫激发态。

基态和激发态间、不同激发态间能量是不连续的,像楼梯的台阶一样。

- 电子的跃迁 电子由较高能量的激发态(可有多态)跃迁到较低能量的激发态或基态时,会放出能量,发光是释放能量的主要形式之一。反之,电子由较低能量的基态或激发态跃迁到激发态或能量较高的激发态时,会吸收能量,吸收光是吸收能量的形式之一。



锂、氮、汞的发射光谱(线状光谱)

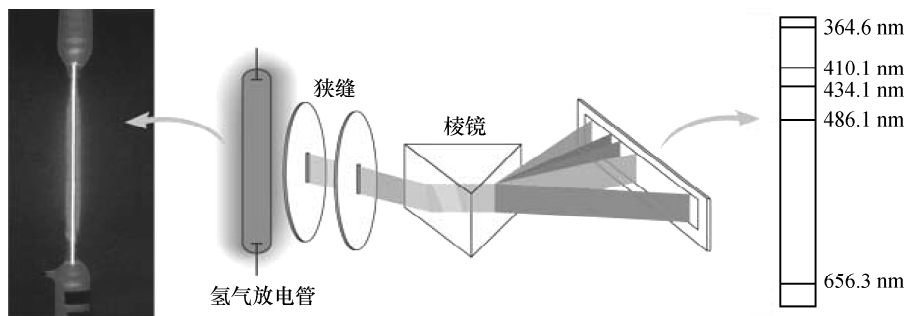
锂、氮、汞的吸收光谱

锂、氮、汞的发射光谱(线状光谱)

锂、氮、汞的吸收光谱

5. 原子光谱 不同元素原子的电子发生跃迁时,会吸收或释放不同波长的光,可以用光谱仪来记录、鉴别,称之为原子光谱。氢的原子光谱是最简单的。

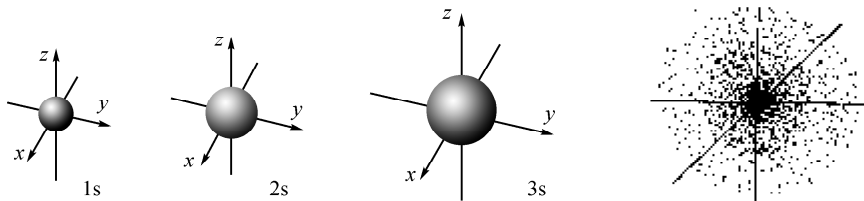
在现代化学中,利用不同元素的原子光谱上的特征谱线来鉴定元素,称为光谱分析。下图是光谱仪示意图:



## 二、电子云和原子轨道

1. 电子运动的特点:(1)质量极小;(2)运动空间极小;(3)极高速运动。

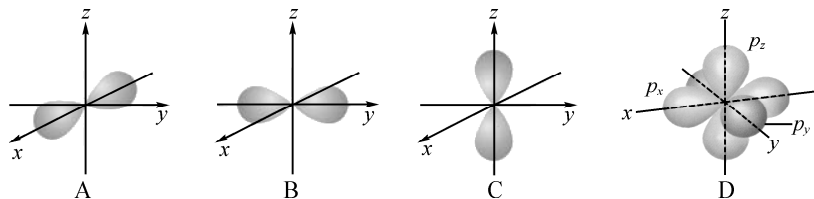
2. 电子云:电子在原子核外高速运动,像带负电的“云雾”笼罩在原子核的周围,人们形象地把它叫做电子云。电子云实际上是对电子在原子核外空间某处出现的概率多少的形象化描述,图中的小黑点不表示电子的个数,而是表示电子在该空间出现的机会多少。参见下图第四个图形“氢原子基态电子云图”。



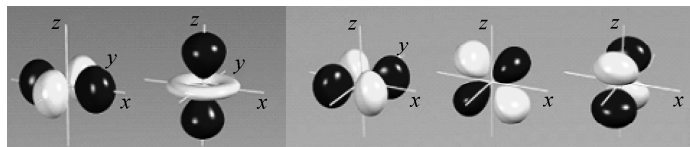
3. 常把电子出现的概率约为 90% 的空间圈出来,人们把这种电子云轮廓图称为原子轨道。

s 原子轨道都是球形;能层序数越大,原子轨道的半径越大。

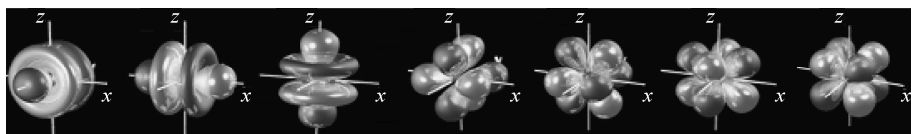
p 原子轨道是哑铃形分别以  $p_x$ 、 $p_y$ 、 $p_z$  为符号。与 s 原子轨道一样,能层序数越大,原子轨道的半径越大。



d 原子轨道是花瓣形的。



f 原子轨道如图所示。



### 三、泡利原理和洪特规则

1. 泡利原理 基态多电子原子中,一个轨道里最多只能容纳两个电子,且电旋方向相反(用“ $\uparrow\downarrow$ ”表示),这个原理称为泡利(Pauli)原理,又称泡利不相容原理。

2. 洪特规则 当电子排布在同一能级的不同轨道(能量相同)时,总是优先单独占据一个轨道,而且自旋方向相同,这个规则叫洪特(Hund)规则。

如  $p^3$  的电子排布图为  $\boxed{\uparrow}\boxed{\uparrow}\boxed{\uparrow}$  或  $\boxed{\downarrow}\boxed{\downarrow}\boxed{\downarrow}$ , 而不是  $\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow}\boxed{\phantom{\uparrow\downarrow}}$ 。

洪特规则特例 当 p、d、f 轨道填充的电子数为全空、半充满或全充满时,原子处于较稳定的状态。即  $p^0$ 、 $d^0$ 、 $f^0$ 、 $p^3$ 、 $d^5$ 、 $f^7$ 、 $p^6$ 、 $d^{10}$ 、 $f^{14}$  时,是较稳定状态。

前 36 号元素中,

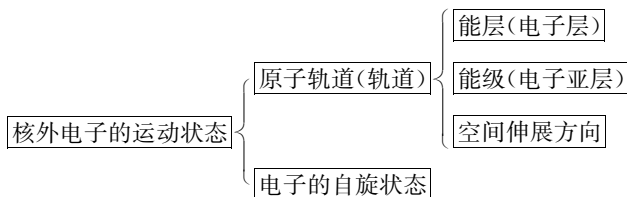
全空的有:  ${}_4\text{Be}(2s^2 2p^0)$   ${}_{12}\text{Mg}(3s^2 3p^0)$   ${}_{20}\text{Ca}(3d^0 4s^2)$

半充满的有:  ${}_7\text{N}(2s^2 2p^3)$   ${}_{15}\text{P}(3s^2 3p^3)$   ${}_{24}\text{Cr}(3d^5 4s^1)$   ${}_{25}\text{Mn}(3d^5 4s^2)$   ${}_{33}\text{As}(4s^2 4p^3)$

全充满的有:  ${}_{10}\text{Ne}(2s^2 2p^6)$   ${}_{18}\text{Ar}(3s^2 3p^6)$   ${}_{29}\text{Cu}(3d^{10} 4s^1)$   ${}_{30}\text{Zn}(3d^{10} 4s^2)$   ${}_{36}\text{Kr}(4s^2 4p^6)$

3. 根据“构造原理”、“泡利原理”、“洪特规则”和“洪特规则特例”可以解决多电子原子核外电子排布问题。

4. 核外电子运动状态的具体化描述:



### 四、基态原子核外电子排布式、电子排布图

(1) 电子排布式

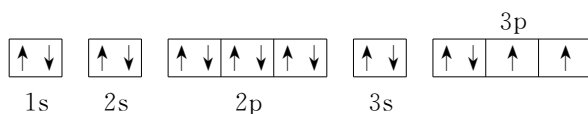
① 用数字在能级符号的右上角表明该能级上排布的电子数,这就是电子排布式,例如 K:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ 。

② 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元素原子结构的部分以相应稀有气体的元素符号外加方括号表示,例如 K:  $[\text{Ar}]4s^1$ 。

(2) 电子排布图(轨道表示式)

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。

如基态硫原子的轨道表示式为:



注意:基态原子

电子排布式(简写电子排布式)、价层电子(外围电子)排布式、电子排布图、原子电子式和原子结构示意图的区别。



### 例题精析

**例1** 以下电子排布式是基态原子的电子排布的是

( )

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

A. ①②

B. ①③

C. ②③

D. ③④

**[解析]** 根据构造原理,核外电子的排布总是首先占据能量较低的轨道,当能量较低轨道填满后再进入



能量较高的轨道,此时整个原子能量最低,处于基态。①中 1s 轨道未填满就进入 2s 轨道属于激发态,②中 2s 轨道未填满就进入 2p 轨道也属于激发态。只有③④属于基态原子的电子排布。

**例2** 下列粒子中,电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$  的有 ( )

- A.  $Sc^{3+}$                       B.  $Mg^{2+}$                       C.  $Cl^-$                       D.  $Br^-$

**[答案]** AC

**例3** 当镁原子由  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3p^2$  时,以下说法正确的是 ( )

- A. 镁原子由基态转化成激发态,这一过程中吸收能量  
B. 镁原子由激发态转化成基态,这一过程中释放能量  
C. 镁原子由基态转化成激发态,这一过程中释放能量  
D. 镁原子由激发态转化成基态,这一过程中吸收能量

**[答案]** A

**例4** 下列有关电子云和原子轨道的说法中正确的是 ( )

- A. 原子核外的电子像云雾一样笼罩在原子核周围,故称电子云  
B. s 能级原子轨道呈球形,处于该轨道上的电子只能在球壳内运动  
C. p 能级原子轨道呈哑铃状,随着能层的增加,p 能级原子轨道也在增多  
D. p 能级原子轨道与 s 能级原子轨道的平均半径都随能层序数的增大而增大

**[解析]** 电子云表示电子在核外某一区域出现的概率,故 A 项错误;原子轨道是电子出现概率为 90% 的电子云空间,只是表明电子在这一空间区域内出现的机会大,在此空间区域外出现的机会少,故 B 项错误;无论能层序数  $n$  如何变化,每个 p 能级都有 3 个原子轨道且相互垂直,故 C 项错误;电子的能量越高,电子在离核更远的区域出现的机会越大,电子云将向更大的空间扩展,原子轨道半径会逐渐增大。

**[答案]** D

**例5** X 元素原子的最外层电子排布式为  $ns^n np^{n+1}$ ,试回答下列问题:

(1)电子排布式中的  $n=$  \_\_\_\_\_;原子中能量最高的是 \_\_\_\_\_ 电子,其电子云在空间有 \_\_\_\_\_ 方向,呈现 \_\_\_\_\_ 形。

(2)X 元素的名称是 \_\_\_\_\_;它的氢化物的电子式是 \_\_\_\_\_。

**[解析]** (1)根据构造原理,先填满  $ns$  能级,而 s 能级只有 1 个原子轨道,故最多只能容纳 2 个电子,即  $n=2$ ,所以 X 元素原子的最外层电子排布式为  $2s^2 2p^3$ ,由此可知 X 是氮元素;根据电子排布的能量最低原理,可知氮原子的核外电子中的 2p 能级能量最高,p 电子云呈现哑铃形,在空间伸展为三种互相垂直的方向。

(2)X 是氮元素,则其氢化物的分子式为  $NH_3$ ,所以其电子式是  $H \times \overset{\cdot \cdot}{\underset{\cdot \cdot}{N}} \times H$

**[答案]** (1)2 2p(写成  $np$  也可以) 三种互相垂直的 哑铃 (2)氮  $H \times \overset{\cdot \cdot}{\underset{\cdot \cdot}{N}} \times H$

**例6** 短周期的三种主族元素 A、B、C,原子序数依次减小。A 元素的 2p 能级上有 3 个未成对电子;B 元素原子的最外电子层上的电子数是其电子层数的 2 倍;A、B、C 三原子的核外电子层数之和是 5。请回答:

(1)三种元素的元素符号分别为:A \_\_\_\_\_,B \_\_\_\_\_,C \_\_\_\_\_。

(2)A 与 C 形成的化合物的分子式是 \_\_\_\_\_,写出该化合物与 A 的最高价氧化物对应水化物发生反应的化学方程式 \_\_\_\_\_。

**[解析]** A 元素原子的 2p 能级上有 3 个未成对电子,即 A 的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^3$ ,是氮元素;B 元素原子的最外电子层上的电子数是其电子层数的 2 倍,可得出该元素为碳元素,核外电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^2$ ;由三种元素原子核外电子层数之和为 5,可以推出 C 元素只有一个电子层,且为主族元素,所以 C 只能为氢元素。

**[答案]** (1)N C H (2) $NH_3$   $NH_3 + HNO_3 = NH_4NO_3$

**例7** 有 A、B、C、D、E 5 种元素,它们的核电荷数依次增大,且都小于 20。其中 A 为非金属元素,A 和 E 属同一族,它们原子的最外层电子排布式为  $ns^1$ 。B 和 D 也属同一族,它们原子最外层的 p 能级电子数是 s 能



级电子数的两倍,C原子最外层上电子数等于D原子最外层上电子数的一半。请回答下列问题:

(1)A是\_\_\_\_\_,B是\_\_\_\_\_,C是\_\_\_\_\_,D是\_\_\_\_\_,E是\_\_\_\_\_。

(2)由这5种元素组成的一种化合物是(写化学式)\_\_\_\_\_。

写出该物质的一种主要用途:\_\_\_\_\_。

(3)写出C元素基态原子的电子排布式:\_\_\_\_\_。

(4)用电子排布图表示D元素原子的最外层电子排布:\_\_\_\_\_。

**[解析]** B和D属同一族,它们原子最外层的p能级电子数是s能级电子数的两倍,所以可得B、D的最外层电子排布式为 $ns^2np^4$ ,所以B为氧元素、D为硫元素;而A和E属同一族,它们原子的最外层电子排布式为 $ns^1$ ,所以A为氢元素、E为钾元素;C原子最外层上电子数等于D原子最外层上电子数的一半,所以C的最外层电子排布式为 $ns^2np^1$ ,即C为铝元素。

**[答案]** (1)H O Al S K(写元素名称也可)

(2) $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  净水剂

(3) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$  (4)

|                                                                                                          |                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3s                                                                                                       | 3p                                                                                                         |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>↑↓</div> <div></div> <div></div> </div> | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>↑↓</div> <div>↑</div> <div>↑</div> </div> |

**例8** 已知X、Y和Z三种元素的原子序数之和等于42。X元素原子的4p轨道上有3个未成对电子,Y元素原子的最外层2p轨道上有2个未成对电子。X跟Y可形成化合物 $X_2Y_3$ ,Z元素可以形成负一价离子。请回答下列问题:

(1)X元素原子基态时的电子排布式为,该元素的符号是。

(2)Y元素原子的价层电子的电子排布图为,该元素的名称是。

(3)已知化合物 $X_2Y_3$ 在稀硫酸溶液中可被金属锌还原为 $XZ_3$ ,产物还有 $ZnSO_4$ 和 $H_2O$ ,该反应的化学方程式是\_\_\_\_\_。

**[解析]** (1)X元素原子的4p轨道上有3个未成对电子,则X是第四周期第V A族元素,即X为As,其电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$ 。(2)Y元素原子的最外层2p轨道上有2个未成对电子,且As跟Y可形成化合物 $As_2Y_3$ ,可推知Y为O;又因为X、Y和Z三种元素的原子序数之和等于42,可得到Z为H。(3) $X_2Y_3$ 为 $As_2O_3$ , $XZ_3$ 为 $AsH_3$ ,则 $As_2O_3$ 与稀硫酸和Zn反应的化学方程式为 $As_2O_3 + 6Zn + 6H_2SO_4 = 2AsH_3 \uparrow + 6ZnSO_4 + 3H_2O$ 。

**[答案]** (1) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$  As (2)

|                                                                                                          |                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2s                                                                                                       | 2p                                                                                                         |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>↑↓</div> <div></div> <div></div> </div> | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>↑↓</div> <div>↑</div> <div>↑</div> </div> |

 氧 (3) $As_2O_3 + 6Zn + 6H_2SO_4 = 2AsH_3 \uparrow + 6ZnSO_4 + 3H_2O$ 


## 过手训练

1. 构造原理揭示的电子排布能级顺序,实质是各能级能量高低。若以 $E(nl)$ 表示某能级的能量,以下各式中正确的是 ( )

- A.  $E(4s) > E(3s) > E(2s) > E(1s)$       B.  $E(3d) > E(4s) > E(3p) > E(3s)$   
C.  $E(5s) > E(4f) > E(4s) > E(3d)$       D.  $E(5s) > E(4s) > E(4f) > E(3d)$

2. 生活中的下列现象与原子核外电子发生跃迁有关的是 ( )

- A. 钢铁长期使用后生锈      B. 节日里燃放的焰火  
C. 金属导线可以导电      D. 卫生丸久置后消失

3. 若某基态原子的外围电子排布为 $4d^1 5s^2$ ,则下列说法正确的是 ( )

- A. 该元素基态原子中共有3个电子      B. 该元素原子核外有5个电子层  
C. 该元素原子最外层共有3个电子      D. 该元素原子M能层共有8个电子

4. 下列各原子或离子的电子排布式错误的是 ( )

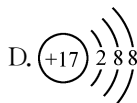
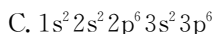
- A. Al:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$       B.  $O^{2-}$ :  $1s^2 2s^2 2p^6$   
C.  $Na^+$ :  $1s^2 2s^2 2p^6$       D. Si:  $1s^2 2s^2 2p^2$



5. 元素 X 和 Y 在周期表中的相对位置如图所示。已知 Y 原子最外层上电子排布为  $ns^{n-1}np^{n+1}$ , 则 X 的原子序数是 ( )

|  |   |   |
|--|---|---|
|  |   | X |
|  | Y |   |
|  |   |   |

- A. 8                      B. 9                      C. 10                      D. 16
6. X、Y、Z 三种元素的原子, 其最外层电子排布分别为  $ns^1$ 、 $3s^2 3p^1$  和  $2s^2 2p^4$ , 由这三种元素组成的化合物的化学式可能是 ( )
- A.  $XYZ_2$                       B.  $X_2YZ_3$                       C.  $X_2YZ_2$                       D.  $XYZ_3$
7. 下列化学用语, 不能表示氯离子的是 ( )



8. 由下列微粒的最外层电子排布, 能确定形成该微粒的元素在周期表中的位置的是 ( )
- A.  $1s^2$                       B.  $3s^2 3p^1$                       C.  $2s^2 2p^6$                       D.  $ns^2 np^3$
9. (双选) A、B 属于短周期中不同主族的元素, A、B 原子的最外层电子中, 成对电子和未成对电子占据的轨道数相等, 若 A 元素的原子序数为 a, B 元素原子序数为 b,  $a > b$ , 则 b 可能为 ( )
- A.  $a-8$                       B.  $a-3$                       C.  $a-5$                       D.  $a-4$
10. 第四周期元素原子中未成对的电子数最多可达 ( )
- A. 4 个                      B. 5 个                      C. 6 个                      D. 7 个
11. 下列说法正确的是 ( )

- A. 原子核外电子排布式为  $1s^2$  的原子与原子核外电子排布式为  $1s^2 2s^2$  的原子化学性质相似
- B.  $Fe^{3+}$  的最外层电子排布式为:  $3s^2 3p^6 3d^5$
- C. 基态铜原子电子排布图
- D. 基态碳原子电子排布图

12. A 元素原子的 M 电子层比次外层少 2 个电子。B 元素原子核外 L 层电子数比最外层多 7 个电子。

(1) A 元素原子有 \_\_\_\_\_ 个能层, 分别为 \_\_\_\_\_。

(2) B 元素原子有 \_\_\_\_\_ 个能级, 分别为 \_\_\_\_\_。

(3) A、B 两元素形成化合物的化学式 \_\_\_\_\_。

13. X、Y、Z、W、R 五种短周期元素, 其原子序数依次增大。X 是周期表中原子半径最小的元素, Y 最外层电子数是次外层电子数的 3 倍, Z、W、R 处于同一周期, R 与 Y 处于同一族, Z、W 原子的核外电子数之和与 Y、R 原子的核外电子数之和相等。

(1) X、Y、W 的离子半径大小顺序为 \_\_\_\_\_;

(2) Z 原子中的能层有 \_\_\_\_\_;

(3) R 原子中能级能量大小顺序为 \_\_\_\_\_。

14. 按所示格式填写下表:

| 原子序数 | 电子排布式            | 价层电子排布      | 周期 | 族    |
|------|------------------|-------------|----|------|
| 32   |                  |             |    |      |
|      | $1s^2 2s^2 2p^6$ |             |    |      |
|      |                  | $3d^5 4s^1$ |    |      |
|      |                  |             | 5  | II B |

15. A、B 两元素在周期表中位于同一周期, 核电荷数均小于 36, 最外层均为一个电子, A 的次外层为 8 个电子, 则 A 的元素符号为 \_\_\_\_\_, 位于周期表第 \_\_\_\_\_ 周期, \_\_\_\_\_ 族, 电子排布式为 \_\_\_\_\_。B 的电