

# 第1章

# 原子结构 元素周期律

## 第1节

原子结构与元素性质

## 第2节

元素周期律和元素周期表

## 第3节

元素周期表的应用

## 微项目

海带提碘与海水提溴

——体验元素性质递变规律的实际应用

本章自我评价

## 第 1 节 原子结构与元素性质

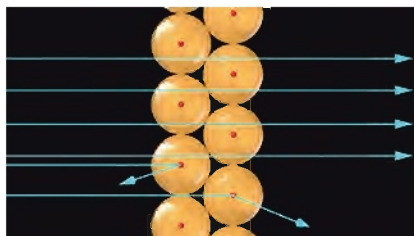
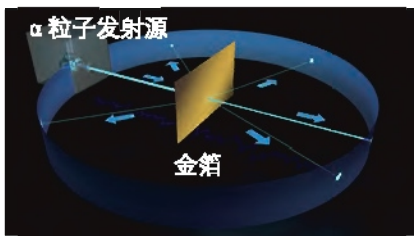
原子是构成物质的一种基本微粒，物质的组成、结构和性质都与原子结构密切相关。那么，原子的内部结构是怎样的？原子结构与元素性质又有着怎样的关系呢？

### 联想·质疑

英国物理学家卢瑟福 (E.Rutherford) 在  $\alpha$  粒子散射实验 (图 1-1-1) 的基础上，经过理论分析和计算，提出了核式原子模型：原子由原子核和核外电子构成，原子核带正电荷，位于原子的中心；电子带负电荷，在原子核周围空间做高速运动 (图 1-1-2)。



实验前，根据“葡萄干布丁”原子模型进行的预测



实验结果：绝大多数  $\alpha$  粒子通过，少数  $\alpha$  粒子偏转，个别  $\alpha$  粒子被反弹

图 1-1-1 卢瑟福实验示意图

卢瑟福通过实验和理论分析构建的核式原子模型，形象地描述了原子结构。那么，原子核的内部结构是怎样的，电子在核外空间的运动状态又是怎样的？人们对原子结构认识的不断深入，对认识元素性质有哪些帮助？

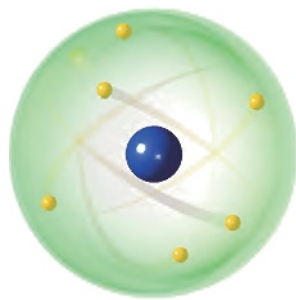


图 1-1-2 卢瑟福核式原子模型

### 一、原子结构

#### 1. 原子核 核素

原子由原子核和核外电子构成，而原子核由更小的微粒——质子和中子构成。





## 交流·研讨

根据表1-1-1中所列数据讨论：

1. 在原子中，质子数、核电荷数和核外电子数之间存在着怎样的关系？为什么？
2. 原子的质量主要由哪些微粒决定？
3. 如果忽略电子的质量，质子、中子的相对质量分别取其近似整数值，那么，原子的相对质量在数值上与原子核内的质子数和中子数有什么关系？

表1-1-1 电子、质子和中子的基本数据

微粒	电子	质子	中子
质量/kg	$9.109 \times 10^{-31}$	$1.673 \times 10^{-27}$	$1.675 \times 10^{-27}$
相对质量	0.000 548 4	1.007	1.008
电量/C	$1.602 \times 10^{-19}$	$1.602 \times 10^{-19}$	0
电荷	-1	+1	0

质子带正电荷，中子不带电，质子和中子依靠一种特殊的力——核力结合在一起。对于一个原子来说：

$$\text{核电荷数} = \text{质子数} = \text{核外电子数}$$

电子的质量很小，相对于质子和中子的质量，可以忽略不计，因此原子的质量几乎全部集中在原子核上；也就是说，原子的质量可以看作原子核中质子的质量和中子的质量之和。人们将原子核中质子数和中子数之和称为**质量数**（mass number）。

$$\text{质子数} (Z) + \text{中子数} (N) = \text{质量数} (A)$$

一般用符号  ${}_Z^AX$  表示一个质量数为  $A$ 、质子数为  $Z$  的原子，那么，构成原子的有关微粒之间的关系可表示为：

$$\text{原子} {}_Z^AX \begin{cases} \text{原子核} \begin{cases} \text{质子 } Z \text{ 个} \\ \text{中子 } (A-Z) \text{ 个} \end{cases} \\ \text{核外电子 } Z \text{ 个} \end{cases}$$



## 观察·思考

## 比较氕、氘、氚的原子结构

科学家发现有三种氢原子：氕(piē)、氘(dǎo)、氚(chuān)。这三种氢原子中质子、中子和电子的数量关系如图1-1-3所示。



原子	氕	氘	氚
俗称	—	重氢	超重氢
发现年份	1766	1931	1934

图1-1-3 氕、氘、氚原子中质子、中子和电子的数量关系示意图

## 思考

1. 氕、氘、氚的原子结构有何异同？如何用符号表示这三种氢原子？
2. 氕、氘、氚属于同一种元素吗？

人们把具有相同数目的质子和相同数目的中子的一类原子称为核素(nuclide)。氢元素有氕、氘、氚三种核素，分别用 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^3_1\text{H}$ 表示。在天然元素中，许多元素都具有多种核素，如碳元素有三种核素( ${}^{12}_6\text{C}$ 、 ${}^{13}_6\text{C}$ 、 ${}^{14}_6\text{C}$ )、氧元素有三种核素( ${}^{16}_8\text{O}$ 、 ${}^{17}_8\text{O}$ 、 ${}^{18}_8\text{O}$ )、铀元素有三种核素( ${}^{234}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{238}_{92}\text{U}$ )、氯元素有两种核素( ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ 、 ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ )等；有些元素则只有一种核素，如氟( ${}^{19}_9\text{F}$ )、钠( ${}^{23}_{11}\text{Na}$ )等。

## 资料在线

## 元素的相对原子质量

元素的相对原子质量是其各种核素的相对原子质量分别与各种核素在自然界里的丰度(某种核素在这种元素的所有天然核素中所占的比例)的乘积之和。例如，氯元素有两种核素： ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ ，相对原子质量为34.97，其丰度为75.77%； ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ ，相对原子质量为36.97，其丰度为24.23%。因此，氯元素的相对原子质量为 $34.97 \times 75.77\% + 36.97 \times 24.23\% \approx 35.45$ 。

质子数相同而中子数不同的同一种元素的不同核素互为同位素(isotope)。例如， ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 互为同位素，其中 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 可用于制造氢弹； ${}^{234}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 互为同位素，其中 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 是核反应堆的燃料。

同位素分为稳定同位素和放射性同位素两种。放射性同位素最常见的应用是进行同位素示踪和用作放射源。例如，追踪植物中放射性 ${}^{32}_{15}\text{P}$ 发出的射线，能够确定磷在植物中的作用部位；应用放射性同位素发出的射线，可以进行金属制品探伤、人体疾病诊断和肿瘤治疗等。



### 未来的能源——核聚变能

核聚变是将轻原子核融合成较重原子核的核反应，它所产生的能量比核裂变反应产生的能量大得多。例如，1 g 氘 ( ${}^2_1\text{H}$ ) 全部聚合为氦所放出的热能可使  $4 \times 10^8$  g 冰变成水蒸气。另外，核聚变的污染轻，不会产生放射性垃圾。但是，要想利用核聚变帮助人类长久地解决能源问题，必须使核聚变产生的能量均匀地释放出来，也就是要实现受控核聚变。目前，实现受控核聚变遇到的最大技术障碍是难以将核燃料加热到几千万甚至上亿摄氏度的高温。现在，科学家正在探索在室温下实现受控核聚变的可能性。



图1-1-4 核聚变反应控制室

## 2. 核外电子排布

物质在化学反应中的表现与组成该物质的元素的原子结构有着密切的联系，其中核外电子扮演着非常重要的角色。

电子在原子内有着“广阔”的运动空间。

现代物质结构理论认为，在含有多个电子的原子中，能量低的电子通常在离核较近的区域内运动，能量高的电子通常在离核较远的区域内运动。为了研究问题的方便，科学家认为电子是在原子核外离核由近及远、能量由低到高的不同电子层上分层排布的。通常将能量最低、离核最近的电子层称为第一电子层，能量稍高、离核稍远的电子层称为第二电子层……由内向外依次类推，共有 7 个电子层。这些电子层由内向外可依次用 K、L、M、N、O、P、Q 表示。每个电子层最多能容纳  $2n^2$  ( $n$  代表电子层数) 个电子，而最外层所能容纳的电子则不超过 8 个 (第一层为最外层时不超过 2 个)。

人们常用原子结构示意图来简明地表示电子在原子核外的分层排布情况。图 1-1-5 给出了核电荷数为 1 ~ 20 的元素的原子结构示意图。

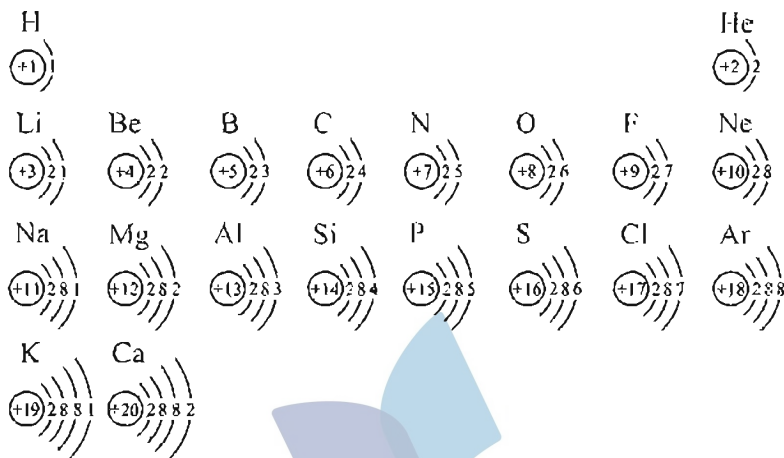


图1-1-5 核电荷数为1~20的元素的原子结构示意图

元素的性质与原子的最外层电子数密切相关。例如,稀有气体元素原子最外层电子数为8(氦原子除外,它的最外层只有2个电子),原子结构稳定,原子既不容易获得电子也不容易失去电子;金属元素原子最外层电子数一般小于4,原子较易失去电子形成阳离子;非金属元素原子最外层电子数一般大于或等于4,原子较易获得电子形成阴离子。

化合价是元素的一种重要性质。元素的化合价与原子的电子层结构,特别是最外层电子数有关。例如,稀有气体元素原子的电子层已达到稳定结构,元素通常表现为0价;钠原子的最外层只有1个电子,原子容易失去1个电子形成 $\text{Na}^+$ 而达到稳定结构,因此钠元素在化合物中呈+1价;氯原子的最外层有7个电子,原子容易获得1个电子形成 $\text{Cl}^-$ 而达到稳定结构,因此氯元素在氯化钠、氯化镁等氯化物中呈-1价。

### 拓展视野

#### 认识核外电子的运动

电子极其微小,即使使用最先进的扫描隧道显微镜(STM),也只能观察到原子,而观察不到比原子小得多的电子。一个多世纪以来,科学家主要采用原子光谱和建立模型的方法对核外电子的运动进行研究。其中,玻尔原子模型和电子云模型对人们认识核外电子的运动起到了极大的促进作用。

**玻尔原子模型** 1913年,玻尔在核式原子模型的基础上提出了新的原子模型:核外电子处在一定的轨道上绕核运行,在不同轨道上运动的电子具有不同的能量且能量是量子化的(即不是连续的);当电子从一个轨道跃迁到另一个轨道时,会辐射或吸收一定的能量;等等。现代物质结构理论保留了玻尔原子模型合理部分,并在此基础上进一步发展。

**电子云模型** 宏观物体的运动都有一定的轨迹,如人造卫星按一定的轨道围绕地球运行,而在原子核外运动的电子并不遵循宏观物体的运动规律。人们不可能同时准确地测定电子在某一时刻所处的位置和运动速度,也不能描画出它们的运动轨迹,而只能描述电子在原子核外空间某处单位体积内出现的概率大小。为了形象地表示电子在原子核外空间运动的这一特征,人们常用单位体积内小点的疏密程度来表示电子在原子核外空间某处单位体积内出现概率的大小。这种形象地描述电子在原子核外空间某处单位体积内出现概率大小的模型称为“电子云模型”。



图1-1-6 丹麦科学家 玻尔  
(N.Bohr, 1885—1962)



图1-1-7 氢原子的“电子云模型”

## 二、原子结构与元素原子得失电子能力

随着对原子结构认识的不断深入,人们对原子结构与元素原子得失电子能力之间关系的认识也越来越深刻。





## 活动·探究

### 比较钠、镁、钾元素原子的失电子能力

基于对原子结构与元素原子失电子能力之间关系的认识，完成下列活动。

1. 预测钠、镁两种元素原子失电子能力的强弱，并从原子结构的角度说明理由。
2. 预测钠、钾两种元素原子失电子能力的强弱，并从原子结构的角度说明理由。

【实验1】用小刀切下一小块金属钠，用滤纸吸干表面的煤油，放入盛有水并滴加有几滴酚酞溶液的烧杯中，立即盖上表面皿；取一小段镁条，用砂纸除去表面的氧化膜，放入盛有等量水并滴加有几滴酚酞溶液的另一只烧杯中，立即盖上表面皿。分别观察现象。

【实验2】取两只烧杯，向其中加入等量的水并加入几滴酚酞溶液。用小刀分别切下大小相似的一小块金属钠和一小块金属钾，用滤纸吸干表面的煤油，同时将金属钠和金属钾分别放入上述两只烧杯中，立即盖上表面皿，观察现象。

### 实验记录

实验现象	实验结论

### 方法导引

通过单质与水（或酸）的反应比较元素原子失电子能力

在多数情况下，可以通过比较元素的单质与水（或酸）反应置换出氢气的难易程度来判断元素原子失电子能力的强弱。

### 思考

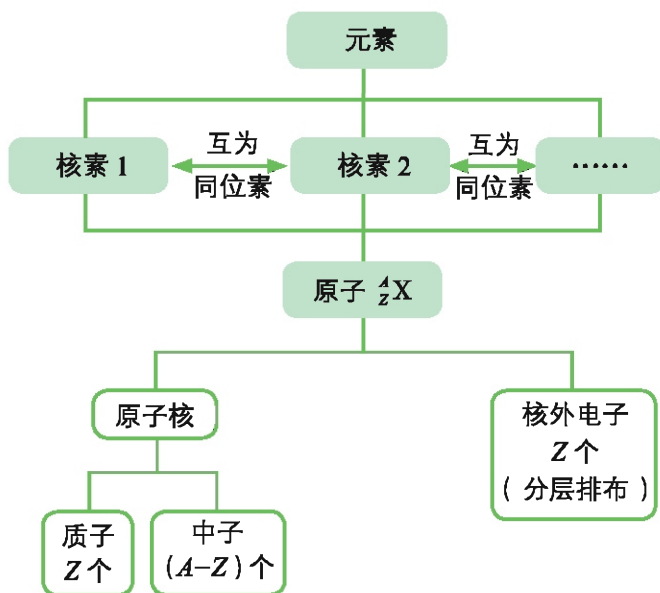
1. 你对以上两组元素原子失电子能力强弱的预测正确吗？你从原子结构的角度对它们失电子能力强弱的解释是否合理？哪些证据支持了你的预测和解释？
2. 通过前面的学习，你已经可以从质子数、中子数、核电荷数、核外电子数、最外层电子数、电子层数等方面描述原子的结构了，它们是否会影响元素原子失电子能力的强弱？如果会，如何影响？如果不会，说明理由。
3. 请根据以上讨论来分析说明硫、氯两元素中哪种元素原子的得电子能力强。
4. 如何用图示的方式描述原子结构对元素原子得失电子能力的影响？

元素原子得失电子的能力与原子的最外层电子数、核电荷数和电子层数均有关系。在如图 1-1-5 所示的核电荷数为 1 ~ 20 的元素（除原子已达到稳定结构的 He、Ne、Ar 三种元素外）中，若原子的电子层数相同，则核电荷数越大，最外层电子离核越近，原子越难失电子、越容易得电子；若原子的最外层电子数相同，则电子层数越多，最外层电子离核越远，原子越容易失电子、越难得电子。

通常所说的元素的金属性、非金属性分别与元素原子的失电子能力和得电子能力相对应。

## 概括·整合

1. 请用图示的方法描述构成原子的各种微粒与元素、核素之间的关系, 以及元素、核素与同位素之间的关系, 示例如下:



- 概括核外电子排布的规律。
- 说明原子结构与元素原子得失电子能力之间的关系。

## 练习与活动

## 学习·理解

1. 原子的表示。

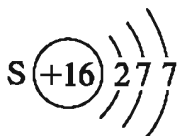
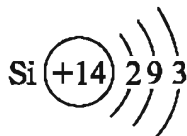
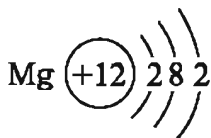
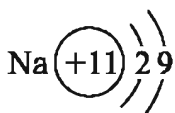
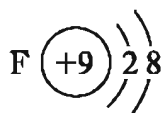
(1) 通常用  ${}^A_Z\text{X}$  表示一个原子, 其中  $A$  表示\_\_\_\_\_,  $Z$  表示\_\_\_\_\_。

(2) 补全下表。

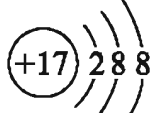
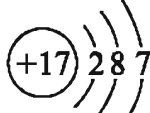
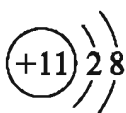
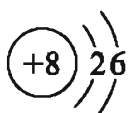
微粒符号	质子数	中子数	质量数	核外电子数
${}^{12}_6\text{C}$				
	8	8		
${}^{18}_8\text{O}$				



2. 下列原子结构示意图是否正确? 如有错误, 指出错误的原因并改正。



3. 下列原子或离子的结构示意图表示的各是什么微粒?

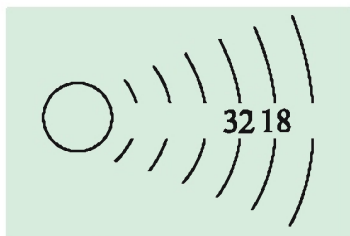


4. 请分别利用原子结构的知识和实验事实论证“镁元素原子的失电子能力强于铝元素原子”。

## 应用·实践

5. 据报道, 某些花岗岩会释放氡 ( $^{222}_{86}\text{Rn}$ ), 对人体造成伤害。

(1) 氮原子的质量数是\_\_\_\_\_，质子数是\_\_\_\_\_，中子数是\_\_\_\_\_。



 第5(2)题图

(2) 请将 Rn 的原子结构示意图补全。

(3) 请根据 Rn 的原子结构预测氧气的化学性质( )。

- A. 非常活泼，容易与氧气等非金属单质反应  
B. 比较活泼，能与钠等金属反应  
C. 不太活泼，与氮气性质相似  
D. 很难与其他物质发生反应

选择该选项的理由是\_\_\_\_\_。

(4) 研究发现, 镭能蜕变为  $^{222}_{86}\text{Rn}$ , 故将  $^{222}_{86}\text{Rn}$  称为镭射气; 钍能蜕变为  $^{220}_{86}\text{Rn}$ , 故将  $^{220}_{86}\text{Rn}$  称为钍射气; 铀能蜕变为  $^{219}_{86}\text{Rn}$ , 故将  $^{219}_{86}\text{Rn}$  称为铀射气。 $^{222}_{86}\text{Rn}$ 、 $^{220}_{86}\text{Rn}$ 、 $^{219}_{86}\text{Rn}$  ( )。

- A. 属于同种元素    B. 互为同位素    C. 属于同种核素    D. 属于同种原子

判断依据：\_\_\_\_\_决定元素种类，\_\_\_\_\_决定核素种类。

6. 比较下列两组元素原子得电子能力的强弱, 并从原子结构的角度进行论证。

- (1) O和F                      (2) O和S

7. 请利用原子结构的知识回答下列问题。

- (1) 预测: 金属钠和金属铝哪一种更容易与氯气反应? 为什么?

(2) 元素的化合价与原子的电子层结构, 特别是最外层电子数有关。请尝试概括核电荷数为 1~20 的元素的化合价与元素原子最外层电子数之间的关系。



## 第2节 元素周期律和元素周期表

物质世界尽管丰富多彩、变化无穷，但物质都是由元素组成的。人类在长期的生产活动和科学实验中，逐渐认识了元素之间的内在联系和元素性质变化的规律性，并以一定的方式将它们表示出来。

### 联想·质疑

目前，已经发现的元素有110多种。在元素周期表中，元素是有序排列的。你是否想过：元素为什么会按照这样的顺序在元素周期表中排列？它们之间存在着什么关系？人们是怎样描述这种关系的？

元素周期表																		0		18		电子层		0		族		电子数																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
I A																		II A		III A		IV A		V A		VI A		VII A		VIII A		IX A		X A		XI A		XII A		XIII A		XIV A		XV A		XVI A		XVII A		XVIII A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1		1 H 氢 1.008																2 He 氦 4.003																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													



## 一、元素周期律

原子序数 (atomic number) 是元素在元素周期表中的序号, 其数值等于该元素原子核内的质子数。研究原子序数为 1 ~ 18 的元素, 可以帮助我们认识元素之间的内在联系和元素性质的变化规律。

### 活动·探究

#### 元素周期律初探

1. 下表所列的是部分元素的有关信息, 请将表中所缺内容补充完整。

元素符号	元素名称	原子序数	核电荷数	电子层数	原子最外层电子数	原子半径/nm	相对原子质量	最高化合价和最低化合价 (常见)
H						0.030	1.008	+1
He						—	4.003	0
Li						0.152	6.941	+1
Be						0.111	9.012	+2
B						0.086	10.81	+3
C						0.077	12.01	+4, -4
N						0.070	14.01	+5, -3
O						0.066	16.00	-2
F						0.064	19.00	-1
Ne						—	20.18	0
Na						0.186	22.99	+1
Mg						0.160	24.31	+2
Al						0.143	26.98	+3
Si						0.117	28.09	+4, -4
P						0.110	30.97	+5, -3
S						0.106	32.06	+6, -2
Cl						0.099	35.45	+7, -1
Ar						—	39.95	0

2. 请运用作图的方法对表中的各项内容进行比较、分析, 寻找其中的规律。

3. 如何描述你发现的规律?

## • 方法导引 •

## 如何构建变量关系模型

研究变量之间的关系和变化规律时,可以借鉴数学中研究函数的思路,寻找自变量和因变量的关系,具体包括:

1. 确定自变量。本活动中,以原子序数为自变量。
2. 选取因变量,寻找自变量和因变量之间的关系。
3. 选择表达形式,确定用哪种形式呈现变化规律。人们常常借助柱状图或折线图来表示自变量与因变量之间的关系。
4. 描述规律,表达自变量和因变量之间的关系。例如,可用“随着温度的升高,硝酸钾的溶解度增大”来描述温度与硝酸钾的溶解度之间的关系,其中,温度是自变量,硝酸钾的溶解度是因变量。

通过探究可以发现,随着原子序数的递增,元素原子的最外层电子数、原子半径、元素的化合价等均呈现周期性变化。

在大量科学研究的基础上,人们归纳出一条规律:元素的性质随着元素原子序数的递增而呈周期性变化,这个规律叫作元素周期律(periodic law of elements)。元素性质的周期性变化是元素原子核外电子排布周期性变化的必然结果。

元素周期律的发现是19世纪化学科学的重要成就之一,它大大加深了人们对物质世界的认识,指导着人们开展诸如预测元素及其化合物的性质、寻找或合成具有特殊性质的新物质等科学研究工作。元素周期律有力地推动着现代科学技术的发展。

## 拓展视野

## 人类对元素周期律的认识

人类对元素周期律的认识经历了一个漫长的过程。

自道尔顿(J.Dalton)提出原子论和原子量(现称相对原子质量)概念之后,测定各种元素原子量的工作进展迅速。到19世纪中叶,人们已经获得了60多种元素的原子量数据。以此为基础,科学家开始研究原子量与元素性质之间的关系。俄国科学家门捷列夫和德国科学家迈尔(J.Meyer)等根据原子量的大小对元素进行分类排列时,发现元素性质随着原子量的递增呈现明显的周期性变化。这就是人们对元素周期律的早期认识。

后来,英国物理学家莫斯莱(H.Moseley)应用X射线测定了原子核所带正电荷的数目,指出元素原子的核电荷数是元素的根本特征,原子序数是根据元素原子的核电荷数确定的。这样,元素周期律的确立就有了更科学的基础。

直到20世纪30年代,科学家弄清了各元素原子的核外电子排布之后,才实现了对元素周期律实质的认识。现在人们已经知道,元素在元素周期表中的位置与原子的核外电子排布密切相关。



图1-2-2 俄国科学家 门捷列夫  
(D.Mendeleev, 1834—1907)





## 二、元素周期表

元素周期律帮助人们认识了看似杂乱无章的化学元素之间的相互联系和内在的变化规律。元素周期表是元素周期律的具体表现形式，是学习和研究化学科学的重要工具。

在元素周期表中，横行称为周期（period），纵列称为族（group）。

通过元素周期表，我们可以了解某种元素的名称、元素符号、相对原子质量、原子序数等信息。

26	Fe	原子序数
	铁	元素符号
	$3d^6 4s^2$	元素名称
55.85		相对原子质量

注：\*处输出的是关于价电子分布的信息。

图1-2-3 元素周期表中铁元素的信息

### 观察·思考

#### 认识元素周期表

仔细观察元素周期表（见附录），思考下列问题。

1. 元素周期表共有多少个周期？每个周期各有多少种元素？
2. 以第2周期、第3周期元素为例分析：元素周期表中，位于同一周期的元素的原子结构有什么相同之处？它们又是怎样递变的？
3. 以第1纵列、第17纵列元素为例分析：元素周期表中，位于同一纵列的元素的原子结构有什么相同之处？它们又是怎样递变的？
4. 在元素周期表中，找出你熟悉的元素的位置。
5. 关于元素周期表，你还能提出哪些问题？

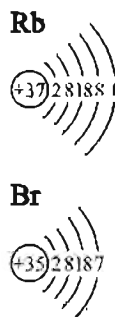


图1-2-4 铷和溴的原子结构示意图

元素周期表共有7个横行，也就是7个周期。周期的序数就是该周期元素原子核外的电子层数。7个周期中，1、2、3周期称为短周期；4、5、6、7周期称为长周期。2015年，国际纯粹与应用化学联合会（简称IUPAC）宣布，确认之前多国科学家陆续合成的新元素分别为元素周期表中的第113、115、117和118号元素。至此，元素周期表的第7周期所有元素均已被发现。而除第1周期外，每一周期的元素都是从原子最外层电子数为1的元素开始，逐渐过渡到原子最外层电子数为7的元素，最后以原子最外层电子数为8的稀有气体元素结束。

元素周期表共有18个纵列。其中，第8、9、10三个纵列为一族，合称为Ⅷ族；第18纵列由稀有气体元素组成，稀有气体元素的化学性质不活泼，化合价通常为零，因而这一族称为0族；除了第8、9、10、18纵列外，其余14个纵列每个纵列为一族。族有主族和副

族之分：由短周期元素和长周期元素共同组成的族称为主族，符号为A，序数用罗马数字表示，如IA、IIA、IIIA等；仅由长周期元素组成的族称为副族，符号为B，序数也用罗马数字表示，如IB、IIB、IIIB等。位于同一主族的元素的原子最外层电子数相同，而且最外层电子数与族序数相同。同一主族的元素按照电子层数递增的顺序自上而下依次排列。

## 拓展视野

### 镧系元素和锕系元素

在元素周期表第6周期中，从57号元素镧(La)到71号元素镥(Lu)，原子的最外层和次外层电子层结构以及元素的化学性质十分相似，这15种元素总称为镧系元素。类似地，第7周期中的89号元素锕(Ac)到103号元素铪(Lr)，这15种元素总称为锕系元素。为了使元素周期表的结构紧凑，科学家将镧系元素和锕系元素分别放在第6周期和第7周期的同一格内，并按原子序数递增的顺序，把它们分两行单独列在元素周期表的下方。

### 稀土元素

稀土元素是元素周期表中ⅢB族钪、钇和镧系元素的统称。从1794年芬兰人加多林(J. Gadolin)发现钇到1947年美国人马林斯基(J. Marinsky)等制得钷，稀土元素陆续被发现，前后历时150多年。稀土元素的原子结构相似，离子半径相近，在自然界密切共生。稀土元素的单质都是很活泼的金属，性质极为相似。稀土元素的常见化合价为+3价，其水合离子大多有颜色，易形成稳定的配位化合物。稀土金属一般采用电解法制取。

稀土资源是不可再生的重要自然资源，因其独特的物理性质和化学性质，广泛应用于新能源、新材料、节能环保、航空航天、电子信息等领域。

我国是稀土资源较为丰富的国家之一，资源类型较多，探明的储量约占世界总储量的23%，这为我国稀土工业的发展提供了坚实的基础。

元素在元素周期表中的位置不仅反映了元素的原子结构特点，也显示了与元素性质之间的内在联系。处于同一主族的元素，它们的原子结构相似，使得它们具有相似的化学性质。

例如，IIA族包括铍(Be)、镁(Mg)、钙(Ca)、锶(Sr)、钡(Ba)、镭(Ra)等元素，人们称它们为碱土金属元素(图1-2-5)。这些元素的原子，最外层都有2个电子，容易失去2个电子达到稳定结构，因此这些元素性质活泼，在自然界中都以化合态存在。该主族中的每一种金属元素的单质都呈亮白色，而且具有良好的导电性。含钙、锶、钡等元素的物质灼烧时会产生绚丽的颜色，因此含有这些元素的化合物可用于制造焰火。


4	Be	9.012	
12	Mg	24.31	
20	Ca	40.08	
38	Sr	87.62	
56	Ba	137.3	
88	Ra	[226]	

图1-2-5 碱土金属元素及其单质



资料在线

焰色试验

多种金属或其化合物在灼烧时能使火焰呈现特殊的颜色，这在化学上叫作焰色试验，亦称焰色反应。根据焰色试验可以判断某种元素的存在。

表 1-2-1 常见金属元素的焰色

金属元素	锂	钠	钾	钙	锶	钡	铜
焰色							
	深红	黄	浅紫	砖红	洋红	黄绿	蓝绿

再如，VA族包括氮(N)、磷(P)、砷(As)、锑(Sb)、铋(Bi)、镆(Mc)等元素(图1-2-6)，人们又称它们为氮族元素。这些元素原子的最外层都有5个电子，所以它们在最高价氧化物中的化合价为+5价。氮族元素中，氮和磷是典型的非金属元素；砷虽然是金属元素，但已表现出一些金属元素的性质，如单质砷具有金属光泽；锑、铋则是金属元素；115号元素镆是人工合成的放射性元素。

副族和Ⅷ族元素也有类似的情况。元素周期表中第3~12列(副族和Ⅷ族)中的元素称为过渡元素。过渡元素包括了大部分金属元素，如铁、铜、镍、银和金等。大部分过渡元素的单质既坚硬又有光泽，金、铜等单质具有独特的色泽。所有过渡元素的单质都具有良好的导电性。多数过渡元素的单质比较稳定，与空气和水反应缓慢或根本不能反应。例如，古金币虽历经上千年的风雨侵蚀，仍保持着原有的光泽，上面的各种花纹也依然清晰可见。

元素周期表是一个化学知识宝库，它的内涵十分丰富。我们不仅可以从元素周期表中直接获得元素的名称、元素符号、相对原子质量、电子层结构等信息，还可以根据元素在元素周期表中的位置认识其性质以及寻找新元素及其化合物。



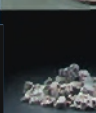
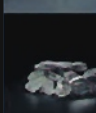
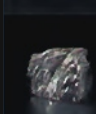

7	<b>N</b>	
14.01		
15	<b>P</b>	
30.97		
33	<b>As</b>	
74.92		
51	<b>Sb</b>	
121.8		
83	<b>Bi</b>	
209.0		
115	<b>Mc</b>	
[289]		

图1-2-6 氮族元素及其单质



## 历史回眸

## 形式不同的元素周期表

自1869年门捷列夫制作出第一张元素周期表以来,至少已经出现了几百种不同形式的元素周期表。人们根据研究的侧重点的不同,给出了不同形式的元素周期表,例如:

**短式元素周期表** 元素周期表有短表和长表之分。门捷列夫起初制作的元素周期表是最原始的短式元素周期表。20世纪前半叶广泛使用的是短表,图1-2-7给出的就是一种短式元素周期表。

图1-2-7展示的是门捷列夫最初提出的元素周期表，它按照原子量递增的顺序排列元素，并预测了一些未知元素的位置。表格上方标有“ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА”，右侧有门捷列夫的肖像。

图1-2-7 一种短式元素周期表

**长式元素周期表** 我们现在经常使用的就是一种长式元素周期表(见附录)。1930年以后广泛使用的长式元素周期表有很多种形式,图1-2-8给出的三角形元素周期表也是一种长式元素周期表,它能直观地展现出元素性质的周期性变化。

图1-2-8展示的是三角形元素周期表，元素按照原子序数递增的顺序排列，形成三角形结构。表格上方标有“H He”，下方标有“Fr Og”。

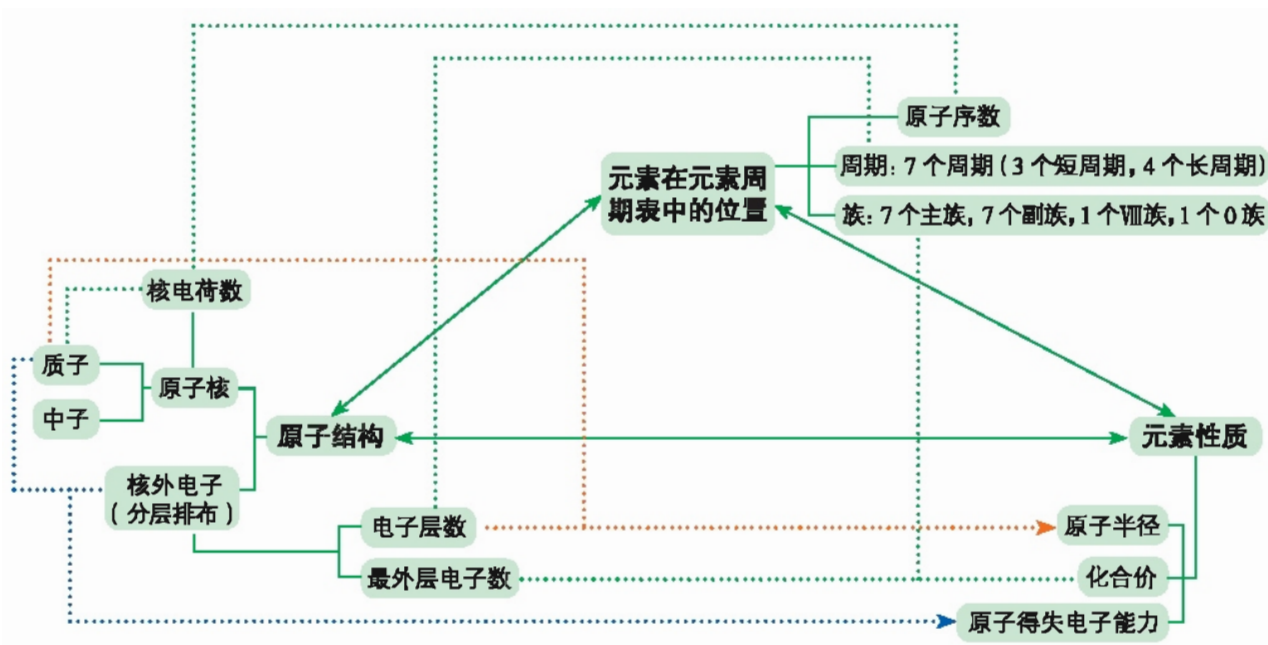
图1-2-8 三角形元素周期表

## 概括·整合

1. 元素周期律揭示了元素之间的联系和内在变化规律。简述元素周期律并说明其实质。
2. 元素周期表是元素周期律的具体表现形式。描述元素周期表的结构并说明同周期、同主族元素的原子结构的特点。



3. 构建原子结构、元素在元素周期表中的位置、元素性质的关系模型，示例如下：



## 练习与活动

## 学习·理解

1. 下表是元素周期表的一部分，表中所列的每个字母分别代表某一元素。

[illegible]

(1) 表中所列元素中, 属于短周期元素的有 \_\_\_\_\_, 属于主族元素的有 \_\_\_\_\_, e 元素在元素周期表中的位置是 \_\_\_\_\_ 周期 \_\_\_\_\_ 族。

(2) 下列 \_\_\_\_\_ 元素的单质可能都是电的良导体。

A. b、c、i    B. a、g、k    C. c、g、l    D. d、e、f

(3) i 元素属于\_\_\_\_\_ (填“金属”或“非金属”)元素, 它的最高化合价是\_\_\_\_\_, 最低化合价是\_\_\_\_\_。

(4) 按原子半径从小到大的顺序排列元素 b、c、f、l, 并从原子结构的角度解释这样排序的原因。

2. 请概括元素的原子结构与元素在元素周期表中位置的关系。

### 应用·实践

3. 请利用元素周期律和元素周期表的有关知识回答下列问题。

(1) 下列关于元素性质或原子结构递变情况的叙述中, 错误的是 ( )。

- A. Li、Be、B 原子的最外层电子数依次增多
- B. P、S、Cl 元素的最高正化合价依次升高
- C. N、O、F 原子的半径依次增大
- D. Na、K、Rb 原子核外的电子层数依次增多

(2) A 元素原子最外层电子数是次外层电子数的 3 倍, B 元素原子次外层电子数是最外层电子数的 2 倍, 则 A、B 元素 ( )。

- A. 一定是第 2 周期元素
- B. 一定是同一周期元素
- C. 一定分别位于第 2、3 周期
- D. 可以相互化合形成化合物

(3) 短周期元素 A、B、C 在元素周期表中的位置如图所示。已知 B、C 两元素的原子序数之和是 A 元素的原子序数的 4 倍, 则 A、B、C 分别是 ( )。

	A	
B		C

第3(3)题图

- A. Be、Na、Al
- B. B、Mg、Si
- C. O、P、Cl
- D. C、Al、P

(4) X、Y、Z 是相邻的三种短周期元素, X 和 Y 同周期, Y 和 Z 同主族, 三种元素原子的最外层电子数之和为 17, 核内质子数之和为 31, 则 X、Y、Z 分别是 ( )。

- A. Mg、Al、Si
- B. Li、Be、Mg
- C. N、O、S
- D. P、S、O

4. A、B、C、D 四种元素的核电荷数依次增大, 它们的离子的电子层数相同且最外层电子数均为 8。A 原子的 L 层电子数与 K、M 层电子数之和相等, D 原子的 K、L 层电子数之和等于电子总数的一半。请据此回答下列问题。

(1) 请写出四种元素的符号:

A \_\_\_\_\_, B \_\_\_\_\_, C \_\_\_\_\_, D \_\_\_\_\_。

它们的原子半径由大到小的顺序是 \_\_\_\_\_。

(2) 请画出四种元素的离子结构示意图:

A \_\_\_\_\_, B \_\_\_\_\_, C \_\_\_\_\_, D \_\_\_\_\_。

它们的离子半径由大到小的顺序是 \_\_\_\_\_, 请从离子结构的角度进行解释: \_\_\_\_\_。



## 第3节 元素周期表的应用

元素周期律的发现和元素周期表的诞生，开创了化学科学的新纪元。从此，人们对丰富多彩的物质世界的认识更加系统。利用元素周期表，人们不仅可以系统地总结已有的元素及其化合物知识，而且可以结合原子结构的知识研究元素及其化合物性质的递变规律，并在此基础上预测未被发现的新物质的性质，继而把它们合成出来并加以应用。

### 联想·质疑

门捷列夫在批判地继承前人工作的基础上，对大量实验事实进行了订正、分析和概括，总结出元素周期律。

门捷列夫根据元素周期律编制了第一张元素周期表，把当时已经发现的63种元素全部列入表中，从而初步完成了使元素系统化的任务。他还在表中留下空位，预言了类似硼、铝、硅的未知元素（门捷列夫分别称它们为“类硼”“类铝”和“类硅”，即后来发现的镓、铟、锗）的性质，并指出当时测定的某些元素原子量的数值有错误。若干年后，他的预言都得到了证实。

你知道门捷列夫是如何作出如此准确的预测的吗？你知道元素周期表中元素的性质呈现怎样的变化规律吗？

图1-3-1 “类铝”——镓位于ⅢA族

5		
B		
10.81		
13		
Al		
26.98		
31		
Ga		
69.72		
49		
In		
114.8		
81		
Tl		
204.4		
113		
Nh		
[286]		

“类铝”

### 一、认识同周期元素性质的递变规律

元素周期表是元素周期律的具体表现形式，那么，元素周期表是怎样体现元素的性质随着原子序数的递增而呈周期性变化的呢？现以第3周期元素为例，研究元素原子失电子能力或得电子能力的变化规律。

## 活动·探究

学生必做实验

## 第3周期元素原子得失电子能力的比较

第3周期包括钠(Na)、镁(Mg)、铝(Al)、硅(Si)、磷(P)、硫(S)、氯(Cl)、氩(Ar)八种元素,请运用实验探究、查阅资料等方法认识这些元素原子失电子能力或得电子能力的相对强弱。

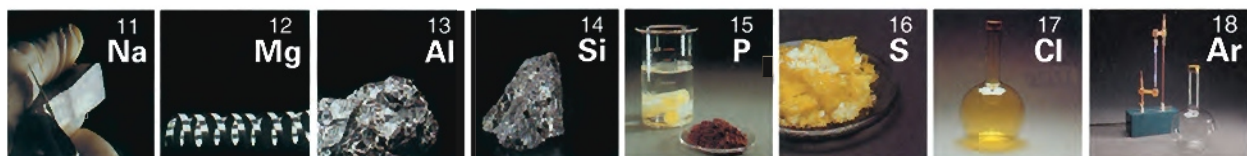


图1-3-2 第3周期元素及其单质

## 交流研讨

1. 第3周期元素的原子结构有什么特点?
2. 第3周期元素原子失电子能力或得电子能力,按照原子序数递增的顺序如何变化?为什么?

## 实验探究

**实验目的:** 比较钠、镁、铝三种元素原子失电子能力的相对强弱。

**实验用品:** 金属钠(切成小块),表面积相同的镁条和铝条,稀盐酸,NaOH溶液,  $MgCl_2$  溶液,  $AlCl_3$  溶液,蒸馏水;

烧杯,试管,表面皿,酒精灯,试管夹,小刀,镊子,玻璃片,滤纸等。

**实验方案设计及实施:**

实验目的	实验内容	实验现象	实验结论
比较氢氧化镁、氢氧化铝碱性的强弱			
比较镁、铝单质与酸反应置换出氢气的难易程度			

## 安全提示

- ◆ 实验时应佩戴护目镜。
- ◆ 取用金属钠时,用镊子取出一小块,用滤纸吸干表面的煤油,将其放在玻璃片上,用小刀切下绿豆粒大小使用。
- ◆ 有金属钠参与的反应,须在烧杯中进行。将金属钠放入盛有试剂的烧杯后,应立即盖上表面皿。

## 方法导引

通过最高价氧化物对应水化物的碱性比较元素原子的失电子能力

一般来说,一种元素最高价氧化物对应水化物的碱性越强,表明这种元素原子失电子的能力越强。



### 阅读探究

请阅读以下材料，从中获取证据，验证你对硅、磷、硫、氯等元素原子得电子能力相对强弱的预测。

硅的最高价氧化物( $\text{SiO}_2$ )对应的水化物是硅酸( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ )。硅酸难溶于水，是一种很弱的酸。

磷的最高价氧化物( $\text{P}_2\text{O}_5$ )对应的水化物是磷酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )。磷酸属于中强酸。磷蒸气与氢气能反应生成气态氢化物——磷化氢( $\text{PH}_3$ )。

硫的最高价氧化物( $\text{SO}_3$ )对应的水化物是硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )。硫酸是一种强酸。硫在加热时能与氢气反应生成气态氢化物——硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )。硫化氢在较高温度时可以分解。

氯的最高价氧化物( $\text{Cl}_2\text{O}_7$ )对应的水化物是高氯酸( $\text{HClO}_4$ )。高氯酸的酸性比硫酸强。氯气与氢气能在光照或点燃的条件下反应生成稳定的气态氢化物——氯化氢。

**思考：**你对以上四种非金属元素原子得电子能力相对强弱的预测正确吗？你是如何证实你的预测的？

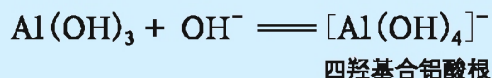
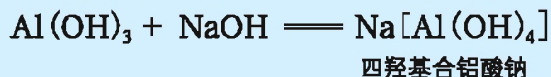
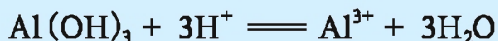
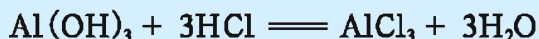
### 方法导引

通过单质与氢气的反应、最高价氧化物对应水化物的酸性比较元素原子的得电子能力

利用有关物质的性质来判断元素原子得电子能力的强弱时，可以采用下列方法：

1. 比较元素的单质与氢气化合的难易程度，以及所生成的气态氢化物的稳定性。一般来说，反应越容易进行，生成的气态氢化物越稳定，表明元素原子得电子的能力越强。
2. 比较元素最高价氧化物对应水化物的酸性。一般来说，一种元素最高价氧化物对应水化物的酸性越强，表明这种元素原子得电子的能力越强。

实验表明，氢氧化镁只能与盐酸反应；而氢氧化铝既能与盐酸反应，又能与  $\text{NaOH}$  溶液反应，表现出两性，显然其碱性要比氢氧化镁弱。



$\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$  相当于一种盐。 $\text{Al}(\text{OH})_3$  和  $\text{NaOH}$  溶液反应生成的化合物曾被认为是  $\text{NaAlO}_2$ ，但科学研究证明该产物实际上是  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ ，属于配位化合物。

在第3周期中，从钠到氯，各元素原子的核外电子层数相同，核电荷数依次增多，原子半径逐渐减小，元素原子的失电子能力逐渐减弱、得电子能力逐渐增强。而氩为稀有气



体元素,性质十分稳定,其原子既不易得电子也不易失电子。

对其他周期元素进行同样的研究,也能得到类似的结论。例如,从锂(Li)到氖(Ne),随着原子序数的递增,由活泼的金属元素(Li)逐渐过渡到不太活泼的金属元素,再过渡到非金属元素(N、O、F等),最后是稀有气体元素——氖(Ne)。

其实,金属元素、非金属元素之间并没有严格的界限,元素周期表中位于金属元素与非金属元素交界处附近的元素,既能表现出一定的金属元素的性质,又能表现出一定的非金属元素的性质。例如,硅元素属于非金属元素,锗元素属于金属元素,但它们的单质均具有半导体的性质。

在同一周期的主族元素中,各元素原子的核外电子层数相同,但从左到右核电荷数依次增多,原子半径逐渐减小,元素原子的失电子能力逐渐减弱、得电子能力逐渐增强。元素周期表清楚地体现了元素的性质随着原子序数递增呈现的周期性变化。

## 二、研究同主族元素的性质

元素在元素周期表中的位置反映了该元素原子结构的特点以及由此决定的元素的性质,因此可以根据某元素在元素周期表中的位置推测它的原子结构和有关性质。

### 交流·研讨

1. 在元素周期表中,同主族元素原子的核外电子排布有什么特点?请你以IA族金属元素和VIIA族元素为例,推测同主族元素性质的相似性和递变性。

2. 尝试利用学过的元素及其化合物的知识为你的推测寻找证据。

在元素周期表中,位于同一主族的元素原子的最外层电子数相同,因此同主族元素具有相似的性质。例如,IA族中的金属元素锂(Li)、钠(Na)、钾(K)、铷(Rb)、铯(Cs)、钫(Fr)等称为碱金属元素(图1-3-3)。碱金属元素具有相似的性质,原子的最外层都只有1个电子,元素的最高化合价为+1价;元素原子的失电子能力强,是活泼的金属元素。又如,VIIA族元素氟(F)、氯(Cl)、溴(Br)、碘(I)等称为卤族元素。卤族元素原子的最外层都有7个电子,元素的最高化合价为+7价(F除外),最低化合价为-1价;元素原子的得电子能力强,是活泼的非金属元素。

同主族元素原子的核电荷数、电子层数不同,导致它们的性质有所差异。同主族元素原子从上到下,核外电子层数依次增多,原







3	
Li	
6.941	
11	
Na	
22.99	
19	
K	
39.10	
37	
Rb	
85.47	
55	
Cs	
132.9	
87	
Fr	
[223]	

图1-3-3 碱金属元素及其单质



子半径逐渐增大，元素原子的失电子能力逐渐增强、得电子能力逐渐减弱。

同主族元素原子结构的相似性，决定着它们的单质和某些同类化合物表现出相似的性质；其原子结构的差异性，又决定着它们的单质和某些同类化合物的性质有一定的差异，且自上而下随着元素核电荷数的增加而递变。例如，碱金属元素的单质都能与氧气、水等物质发生反应，碱金属元素最高价氧化物对应的水化物一般具有很强的碱性；但是，金属锂与氧气反应不如金属钠与氧气反应剧烈，而金属铷和铯遇到空气会立即燃烧，遇水还可能发生爆炸。又如，从氟到碘，单质的氧化性逐渐减弱，单质与氢气发生的化合反应越来越难进行：氟气与氢气在暗处能剧烈化合并发生爆炸，生成的氟化氢很稳定；氯气与氢气在光照或点燃条件下能发生反应，生成的氯化氢较稳定；溴蒸气与氢气加热至一定温度时才能反应，生成的溴化氢不如氯化氢稳定；碘与氢气在不断加热的情况下才能缓慢反应，生成的碘化氢不稳定，在同一条件下同时分解为碘和氢气。

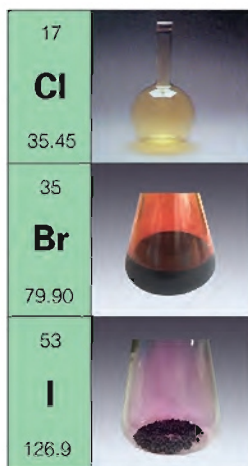


图1-3-4 氯、溴、碘元素及其单质

## 活动·探究

### 探究卤族元素性质的相似性和递变性

请你分析卤族元素性质的相似性和递变性，并选取典型代表物验证你的预测。

#### 实验目的

分别以卤族元素单质和卤化物为典型代表物设计实验，验证你对卤族元素性质的相似性和递变性的预测。

#### 实验用品

NaCl 溶液，NaBr 溶液，KI 溶液，氯水，溴水，碘水，淀粉溶液，四氯化碳；烧杯，试管，胶头滴管。

#### 方法导引

#### 检验溴单质、碘单质的一种方法

溴单质、碘单质在四氯化碳中的溶解度均大于它们在水中的溶解度。利用这一性质，可以向含有溴单质、碘单质的水溶液中加入四氯化碳，分别将它们从水溶液中提取出来。四氯化碳难溶于水，且溴单质和碘单质在四氯化碳中分别呈橙色和紫色，可以利用这一方法，检验水溶液中溴单质或碘单质的存在。

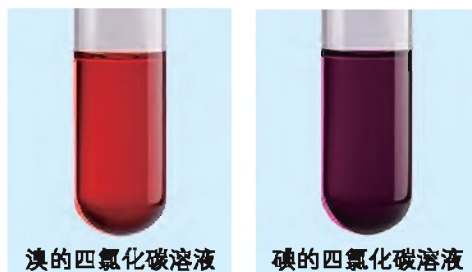


图1-3-5 溴和碘在四氯化碳中的颜色

#### 学生必做实验

## 实验方案设计及实施

物质	预测及其依据	实验方案	实验现象	实验结论

## 思考

1. 除了上述实验外, 还可以找到哪些证据说明卤族元素性质的相似性和递变性?
2. 学习了元素周期律和元素周期表后, 在分析物质的化学性质时你有了哪些新角度?

## 资料在线

## 碱金属、卤族元素单质的物理性质

碱金属单质和卤族元素单质在物理性质上均分别表现出一些相似性和递变规律。例如, 除铯外, 其余的碱金属单质都呈银白色; 它们都比较软、有延展性、密度比较小、导热性和导电性较好; 从锂到铯单质的熔点、沸点逐渐降低。又如, 从氟到碘, 卤族元素单质的颜色逐渐变深, 熔点、沸点逐渐升高。

表 1-3-1 碱金属单质的主要物理性质

碱金属单质	颜色和状态	熔点/℃	沸点/℃
Li	银白色固体	180.5	1 341
Na	银白色固体	97.82	881.4
K	银白色固体	63.38	759
Rb	银白色固体	39.31	691
Cs	略带金色光泽固体	28.44	668.2

表 1-3-2 卤族元素单质的主要物理性质

卤族元素单质	颜色和状态	熔点/℃	沸点/℃
F <sub>2</sub>	淡黄绿色气体	-219.6	-188.1
Cl <sub>2</sub>	黄绿色气体	-101.5	-34.04
Br <sub>2</sub>	深红棕色液体	-7.25	58.8
I <sub>2</sub>	紫黑色固体	113.6	185.2

由以上分析可以得知, 同一周期或同一主族的元素, 它们的性质总是呈现规律性变化。



身边的化学

### 金属材料

金属材料是指金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称，包括纯金属、合金和特种金属材料等。

金属材料通常分为黑色金属、有色金属和特种金属材料。

黑色金属又称钢铁材料，包括工业纯铁、铸铁、碳钢，以及各种用途的结构钢、不锈钢、耐热钢、高温合金、精密合金等。广义上的黑色金属还包括铬、锰及其合金。

有色金属指除铁、铬、锰以外的所有金属及其合金，通常分为轻金属、重金属、贵金属、半金属、稀有金属和稀土金属等。

特种金属材料包括不同用途的结构金属材料 and 功能金属材料，如非晶态金属材料，准晶、微晶、纳米晶金属材料，具有隐身、抗氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等特殊功能的合金，以及金属基复合材料等。

人类文明的发展和人类社会的进步与金属材料关系密切。石器时代之后出现的铜器时代、铁器时代都以金属材料及其应用为其显著的特征。现在，品种繁多、功能各异的金属材料更是成为世界各国经济社会发展的重要物质基础。

## 三、预测元素及其化合物的性质

在元素周期表中，有许多我们陌生的元素，我们可以基于对已知元素的认识，利用元素周期律以及对已知元素及其化合物性质的研究思路和方法，研究陌生元素及其化合物的性质。

### 交流·研讨

硅在地壳中的含量仅次于氧，硅的氧化物及硅酸盐构成了地壳中大部分的岩石、沙子和土壤。计算机芯片、光导纤维、玻璃仪器等，都是以硅或硅的化合物为材料制成的。



图1-3-6 硅及其化合物的存在与应用

1. 比较碳、硅、磷元素的性质。
2. 硅及其化合物有哪些？尝试写出它们的化学式。
3. 请预测硅及其化合物的化学性质，并说明预测依据。

可以从元素在元素周期表中的位置、原子结构、元素性质三个角度认识元素。



硅及其化合物的化学式	化学性质预测	预测依据
$\text{H}_2\text{SiO}_3$	具有酸的性质，能与碱（如 $\text{NaOH}$ 溶液）反应，但酸性较弱，弱于碳酸、磷酸等	

元素的性质通常包括元素化合价、原子半径、元素原子的得失电子能力等，可以根据元素原子结构的特点和元素在元素周期表中的位置认识元素的性质。例如，硅原子的最外层有 4 个电子，最高化合价为 +4 价，最低化合价为 -4 价，硅属于非金属元素；与同周期磷元素的原子相比，其核电荷数较小、原子半径较大、原子核对最外层电子的吸引作用较弱，因此硅元素原子的得电子能力较弱。

从物质类别、元素化合价、物质所含有元素在元素周期表中的位置的角度可以认识有关物质的化学性质。例如，硅元素（原子序数为 14）位于元素周期表中第 3 周期ⅣA 族，属于非金属元素；二氧化硅（ $\text{SiO}_2$ ）属于酸性氧化物，能与碱溶液缓慢反应，高温时能与碱性氧化物反应；二氧化硅中硅元素的化合价为 +4 价，因此二氧化硅具有氧化性，能与某些还原剂反应；硅酸（ $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ）的酸性弱于碳酸，硅酸可以由硅酸钠（ $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ）与盐酸、硫酸等反应制得。此外，二氧化硅还具有一些特殊的性质。例如，二氧化硅虽然属于酸性氧化物，但能与氢氟酸反应，该反应曾用于刻蚀玻璃。

### 身边的化学

#### 硅及其化合物与非金属材料

**硅与半导体材料** 半导体材料特指导电能力介于导体和绝缘体之间的一类材料。硅是常温下化学性质稳定的半导体材料，主要用于制造芯片和太阳能电池。自然界中没有游离态的硅。工业上，用焦炭在电炉中还原二氧化硅得到含有少量杂质的粗硅；将粗硅提纯后，可以得到用作半导体材料的高纯硅。



**二氧化硅与光导纤维** 二氧化硅广泛存在于自然界中，沙子、石英和水晶的主要成分都是二氧化硅。二氧化硅常被用来制造高性能的现代通信材料——光导纤维（简称“光纤”）。光纤通信克服了声音信号和图像信号在铜丝或铝丝媒介中传播损耗大的缺点，并节约了大量金属资源。光纤除了用于通信外，还用于能量传输、信息处理、遥测遥控和医疗器械（如光导纤维内窥镜）制造等方面。

**硅酸盐与无机非金属材料** 硅酸盐是由硅元素、氧元素和金属元素组成的化合物的总称，在自然界分布极广。硅酸盐材料（如陶瓷、玻璃、水泥等）是无机非金属材料的主要分支之一，有着悠久的历史。陶瓷材料是人类应用最早的硅酸盐材料。玻璃的种类很多，除普通玻璃外还有铅玻璃、有色玻璃、钢化玻璃等。制造普通玻璃的主要原料是纯碱、石灰石和石英。水泥是非常重要的建筑材料。普通水泥的主要成分是硅酸三钙（ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ）、硅酸二钙（ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ）、铝酸三钙（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ）等。随着信息科学、能源技术、航天技术、生物工程等现代科学技术的发展，一些具有特殊结构、特殊功能的新型无机非金属材料，如高温结构陶瓷、生物陶瓷和压电陶瓷等，相继被研制出来。

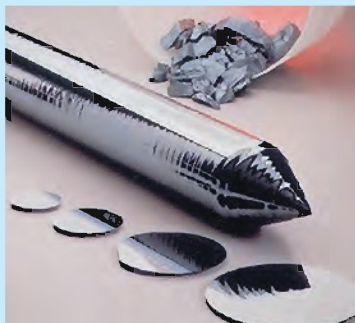


图1-3-7 单质硅



图1-3-8 水晶

元素周期表已成为化学家的得力工具，为研究物质结构、发现新元素、合成新物质、寻找新材料提供了许多有价值的指导。例如，根据在元素周期表中位置相近的元素具有相似的性质这一规律，人们不但在金属元素和非金属元素的交界处寻找半导体材料，还在过渡元素中寻找优良的催化剂。又如，位于元素周期表中ⅣB族到ⅥB族的过渡元素的单质，如钛（Ti）、钽（Ta）、钼（Mo）、钨（W）等，大多具有耐高温、耐腐蚀等特点，人们常利用以它们为原料制成的特种合金来制造火箭、导弹、宇宙飞船等。此外，人们还利用元素周期表寻找合适的超导材料、磁性材料等。

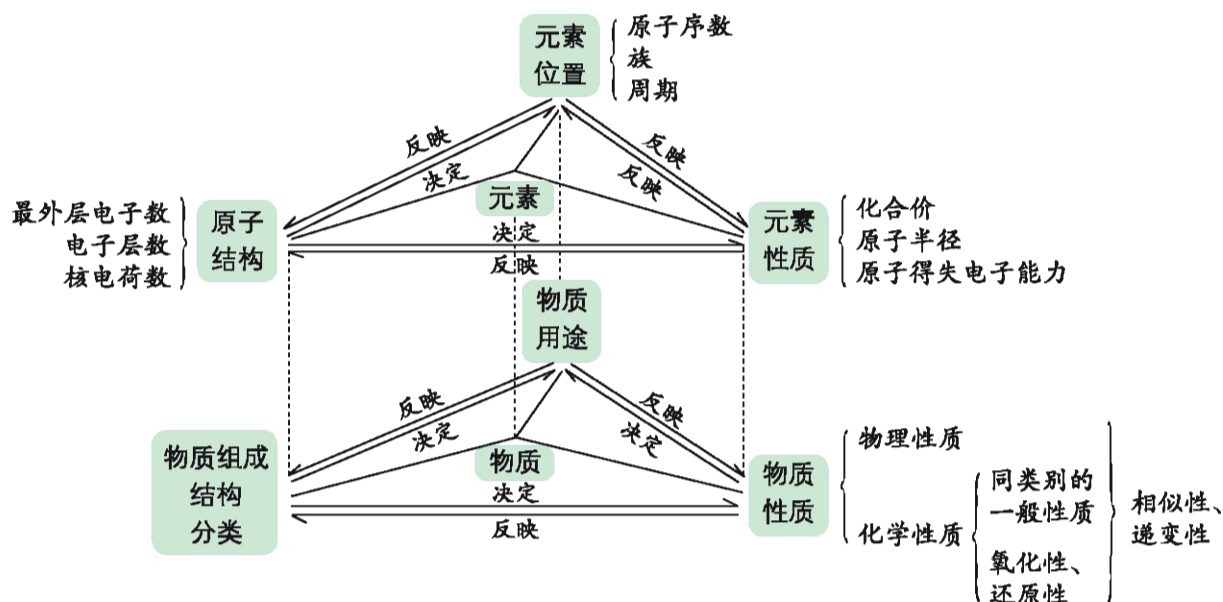


图1-3-9 钛合金用于制造飞机

## 概括·整合

1. 归纳总结元素的原子结构、元素在元素周期表中的位置、元素性质、物质性质之间的关系。

2. 构建原子结构、元素在元素周期表中的位置、元素性质、物质性质的关系模型，示例如下：



## 练习与活动

## 学习·理解

1. X、Y 是元素周期表ⅦA 族中的两种元素。下列说法中，能说明 X 原子的得电子能力比 Y 强的是 ( )。

- A. X 原子的电子层数比 Y 原子的电子层数多
- B. X 的单质的颜色比 Y 的浅
- C. X 的气态氢化物比 Y 的气态氢化物稳定
- D. Y 的单质能将 X 从 NaX 的溶液中置换出来

2. 在元素周期表中找到硫元素，按照下列要求回顾、梳理你对硫元素的相关认识，并与同学们交流分享。

- (1) 写出能想到的关于硫及其化合物的相关信息。
- (2) 梳理认识硫及其化合物的基本角度。



(3) 用图示的方法表示对硫元素的有关认识。

(4) 在与同学们交流研讨的过程中,不断丰富、完善关于硫及其化合物的知识网络,概括认识元素及其化合物性质的基本角度。

### 应用·实践

3. 已知 X、Y、Z 为三种原子序数相邻的元素,最高价氧化物对应水化物的酸性相对强弱是  $\text{HXO}_4 > \text{H}_2\text{YO}_4 > \text{H}_3\text{ZO}_4$ 。下列说法中,不正确的是( )。

A. 气态氢化物的稳定性:  $\text{X} > \text{Y} > \text{Z}$

B. 原子的得电子能力:  $\text{Y} < \text{X} < \text{Z}$

C. 单质的氧化性:  $\text{X} > \text{Y} > \text{Z}$

D. 三种元素原子的最外层电子数相等

4. 下列各组中,微粒按氧化性由弱到强、原子或离子半径由大到小的顺序排列的是( )。

A. O、Cl、S、P

B.  $\text{K}^+$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$

C. Rb、K、Na、Li

D.  $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{H}^+$

5. 已知 X、Y、Z、W 均为元素周期表中的短周期元素,它们具有如下特征:

元素	特征
X	在元素周期表中,原子半径最小
Y	常温下,有 $\text{Y}_2$ 、 $\text{Y}_3$ 型两种气体单质存在
Z	其原子内层电子数与最外层电子数之比为 10:1
W	最高化合价为 +6 价

(1) W 的元素符号是\_\_\_\_\_ ,其原子结构示意图为\_\_\_\_\_。

(2) 四种元素中,原子半径最大的是\_\_\_\_\_ (填元素符号)。

(3) Y 元素原子的得电子能力\_\_\_\_\_ (填“强”或“弱”)于 W,请用原子结构的知识解释其原因:\_\_\_\_\_。

(4) 将  $\text{WY}_2$  通入  $\text{BaCl}_2$  溶液中,没有明显变化,再向其中加入 Z 元素最高价氧化物对应的水化物,可观察到的现象是\_\_\_\_\_ ,所发生反应的离子方程式是\_\_\_\_\_。

6. 请利用元素周期表的有关知识,判断下列对于铍及其化合物的性质的推测是否正确,并说明理由。

(1) 铍元素的原子半径大于硼元素的原子半径。

(2) 相同条件下,单质铍与酸的反应比单质锂与酸的反应剧烈。

(3) 氢氧化铍的碱性比氢氧化钙的碱性弱。

(4) 单质铍能与冷水剧烈反应。



# 海带提碘与海水提溴

——体验元素性质递变规律的实际应用

## 项目学习目标

- 通过海带提碘活动和海水提溴工艺流程的设计，建立真实复杂系统中物质富集、分离、提取的基本思路。
- 通过海带提碘活动和海水提溴工艺流程的设计，体会元素周期律、元素周期表在分析、解决实际问题中的价值。

浩瀚的海洋里蕴藏着丰富的化学资源。我国大陆海岸线长达 18 000 km，海岛海岸线长达 14 000 km，这为我国开发利用海洋化学资源提供了良好的自然条件。目前，我国利用海洋资源获取钾、镁、溴、氯、碘等元素已形成规模。

在本项目活动中，你将在前面学习的有关元素及其化合物性质的基础上，结合元素周期律、元素周期表的相关知识，尝试从海带中提取碘单质，并设计从海水中提取溴单质的工艺流程。

## 项目活动 1 海带提碘

海带、紫菜等藻类植物中含有丰富的碘元素。其中，海带产量高、价格低，常用作提取碘单质的原料。碘元素在海带中以碘化物的形式存在。灼烧干海带可以分解除去其中的有机化合物。灼烧后得到的海带灰中，除了存在可溶性碘化物外，还存在多种可溶性无机盐。

请以海带灰为原料，提取碘单质。

### 思考

1. 为了将  $I^-$  转化为  $I_2$ ，可以选用哪些化学试剂？选择的依据是什么？如何检验碘单质的存在？
2. 请设计实验方案，并运用流程图表示从海带灰中提取碘单质得到含碘单质的溶液的实验流程。



图 1-4-1 碘单质



### 实验方案设计及实施

实验步骤	实验现象	实验结论

#### • 方法导引 •

#### 萃取与分液

利用某种溶质在两种互不相溶的溶剂里溶解能力的不同，用一种溶剂（萃取剂）将其从原溶剂中提取出来的方法叫作萃取。萃取后，可以用分液漏斗将上述两种液体分开，从而达到提取某物质的目的。

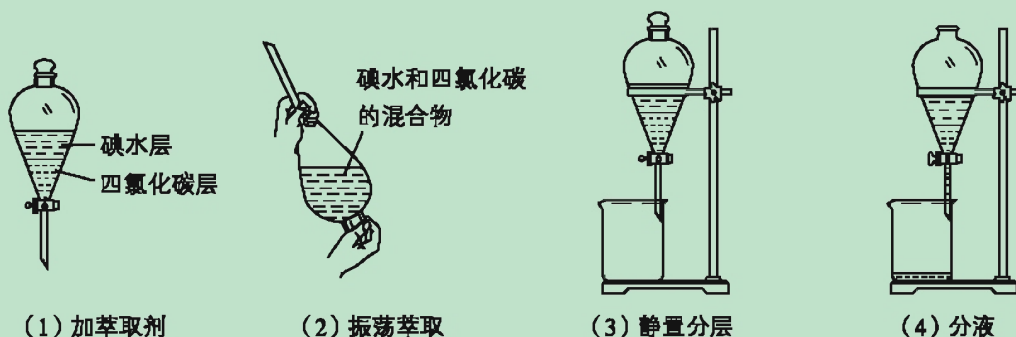


图1-4-2 萃取分液操作示意图

#### 讨论

1. 你在实验过程中遇到了哪些问题？这些问题是否得到了解决？如果得到了解决，是如何解决的？
2. 如果将你设计的方案应用于工业生产，你认为其优势和不足各是什么？
3. 在你设计的方案中，实现物质分离、提纯的基本思路是什么？实验时需要注意的问题有哪些？

实验室里，从海带灰中提取碘单质包括浸取、过滤、氧化、萃取四个步骤。其中，将碘离子氧化为碘单质是提取的关键步骤，所选择的氧化剂的氧化性应强于碘单质，因此氧化剂的选择是实验设计的重点之一。由元素周期表中元素性质的递变规律可知，氯水、溴水均可用作提取碘单质的氧化剂。

物质分离和提纯是化学实验、化工生产的一项重要任务。分离和提纯物质最常用的方法有过滤法、萃取法、升华法、化学转化法等。

利用化学转化法可以直接除去某些物质，也可以通过化学转化法实现物质的分离和提纯。为了将物质完全除去或转化，通常需要加入过量的除杂或转化试剂；同时，为了保证目标物的纯度，还需要考虑如何将过量的试剂除去以及如何将目标物从体系中提取出来。

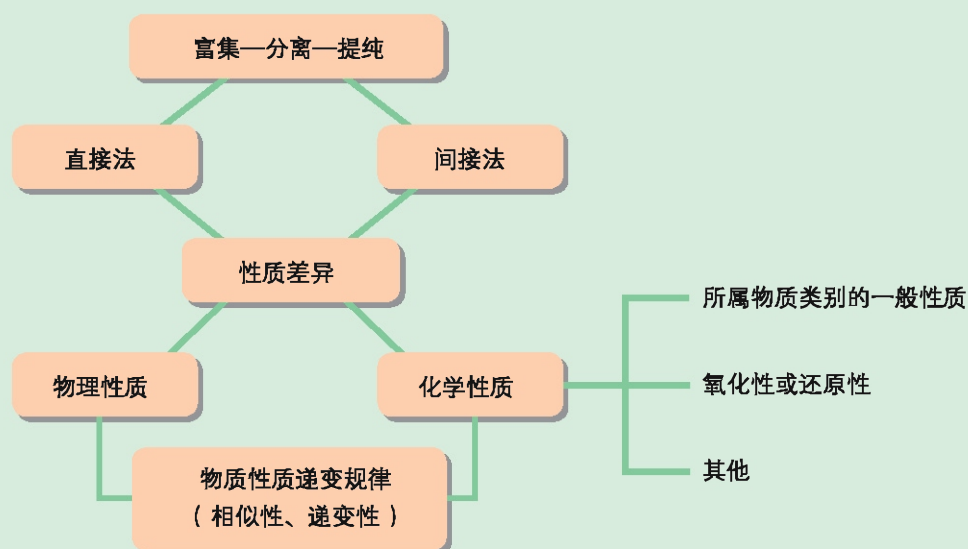
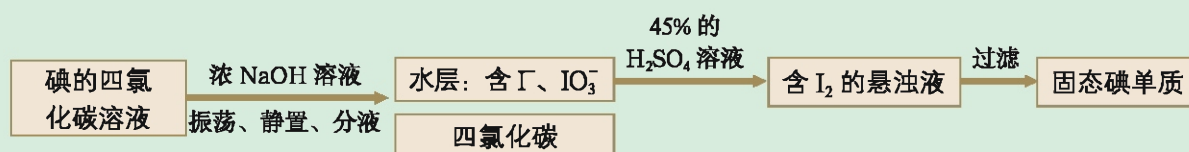


图1-4-3 物质分离提纯的基本思路

### 拓展视野

#### 用反萃取法将碘单质从碘的四氯化碳溶液中提取出来

在“海带提碘”的实验中，通常以四氯化碳为萃取剂对碘单质进行萃取、富集。那么，如何将碘单质从碘的四氯化碳溶液中提取出来呢？要解决这一问题，可以采用反萃取法，具体步骤如下：



碘单质与浓 NaOH 溶液发生的反应为：



像这种将富集在四氯化碳中的碘单质利用化学转化法重新富集在水中的方法即为反萃取法。



## 项目活动2 海水提溴

溴是海水中重要的非金属元素。地球上99%的溴元素以 $\text{Br}^-$ 的形式存在于海水中，所以人们也把溴称为“海洋元素”。目前，从海水中提取的溴占世界溴年产量的1/3左右。苦卤（海水晒盐后得到的母液）是海水制盐业的副产物，其中含有高浓度的 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Br}^-$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 等，是从海水中提取溴的主要原料。

### 设计

请用流程图表示你设计的从苦卤中提取溴单质的实验方案。

### 讨论

1. 空气吹出法是目前用于从天然海水中提取溴的最成熟的工业方法。将海水酸化后，用氯气将 $\text{Br}^-$ 氧化为溴单质；继而通入空气和水蒸气，将溴单质吹入吸收塔中，使溴蒸气与吸收剂 $\text{SO}_2$ 和水发生反应，将溴蒸气转化成氢溴酸；最后用氯气将其氧化得到溴单质。请比较你设计的提取溴单质的实验方案与利用空气吹出法提取溴单质方法的异同。

2. 工业上常利用电解饱和食盐水的方法制取氯气，本项目利用氧化剂来制取碘单质和溴单质。请运用元素周期律的知识解释采用不同方法制取氯、溴、碘单质的原因。



溴单质在常温、常压下是有挥发性的深红棕色液体，有刺激性气味；可溶于水，易溶于乙醇、四氯化碳等。

从海水中提取溴，一般要经历浓缩、氧化和提取三个步骤。海水中 $\text{Br}^-$ 的含量一般为 $0.067 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，而苦卤中 $\text{Br}^-$ 的含量要大得多，因而苦卤常作为提取溴单质的原料。溴单质的氧化性介于氯气和碘单质的氧化性之间。因此，在海水提溴的化工生产中，常选氯气作为氧化剂。向苦卤中通入氯气，可将 $\text{Br}^-$ 氧化为溴单质。



海洋是一个巨大的化学资源宝库，但由于开发技术比较复杂、生产成本较高，很多元素难以直接提取。不过，科学家在这个领域的探索从未停止过。今后，人类对海洋资源的开发利用将继续遵循综合开发的原则，保护海洋生态环境，降低生产成本，提高经济效益。

## 项目成果展示

1. 完善自己设计的“海带提碘”和“海水提溴”的流程图和方案，展示交流。
2. 提炼、概括物质分离和提纯的基本思路；以小组为单位，交流、分享对元素周期律、元素周期表在物质分离和提纯中应用价值的体会。



## 本章自我评价

本章通过对原子结构、元素周期律和元素周期表的学习，继续发展“变化观念与平衡思想”中的“变化观念”和“科学态度与社会责任”，重点促进“宏观辨识与微观探析”“证据推理与模型认知”和“科学探究与创新意识”等方面化学学科核心素养的发展。请依据下表检查对本章的学习情况。

核心素养发展重点		学业要求
宏观辨识与微观探析	深化对原子结构的认识，建立原子结构与元素性质、元素性质与物质性质之间的关系，从物质的微观结构说明同类物质具有相似性质的原因，解释同类物质的性质变化规律。	1. 能画出 1 ~ 20 号元素的原子结构示意图。能用原子结构知识解释元素性质及其递变规律，并能结合实验及事实进行说明。 2. 能利用元素在元素周期表中的位置和原子结构特征，分析、预测、比较元素及其化合物的性质。
证据推理与模型认知	构建“位”“构”“性”关系认识模型；发展对元素及其化合物化学性质的认识模型，从“各类物质的一般性质—氧化性和还原性”二维模型发展到“各类物质的一般性质—氧化性和还原性—相似性和递变性”三维模型。	3. 能结合有关资料说明元素周期表对合成新物质、寻找新材料的指导作用。 4. 能列举化学科学发展的重要事件，说明其对推动社会发展的贡献，能说出其中的创新点。
科学探究与创新意识	形成实验探究元素性质递变规律、比较物质性质的思路方法，发展物质分离提纯实验的设计与实施能力，提高基于理论进行预测、提出假设的能力和基于实验事实概括、推理得出结论的能力。	5. 具有较强的问题意识，能提出化学探究问题，能做出预测和假设。能依据实验目的和假设，设计解决简单问题的实验方案，能对实验方案进行评价。能观察并如实记录实验现象和数据，进行分析和推理，得出合理的结论。 6. 能从化学的角度分析从资源到产品的转化途径，能对资源的开发利用进行评价。

### 学习·理解

1. 1956 年，美籍华人科学家吴健雄用  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  放射源进行实验验证了杨振宁和李政道的重要发现（此发现于 1957 年获得诺贝尔物理学奖）。 ${}^{60}_{27}\text{Co}$  的衰变方程为：



其中， $\bar{\nu}_e$  是反中微子，它的电荷数为 0，静止质量可认为是 0。

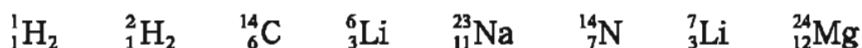
(1) 下列关于  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  的说法中，错误的是 ( )。

A. 质子数是 27    B. 电子数是 27    C. 质量数是 27    D. 中子数是 60

(2) 在上述衰变方程中，衰变产物 Ni 的质量数  $A$  为 \_\_\_\_\_，核电荷数  $Z$  为 \_\_\_\_\_。



2. 已知下列八种化学符号:



- (1) 其中, 表示核素的符号共\_\_\_\_\_种。  
 (2) 所表示的核素中, 互为同位素的是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。  
 (3) 所表示的核素中, 质量数相等但不能互称同位素的是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

3. 请回答下列问题。

- (1) 下列叙述中, 正确的是( )。  
 A. 同周期元素中, VIIA 族元素的原子半径最大  
 B. VIA 族元素的原子, 其原子半径越大, 越容易得到电子  
 C. 常温时, 0 族元素的单质都是气体  
 D. 在元素周期表中, 从 III B 族到 II B 族 10 个纵列的元素都是金属元素  
 (2) 请利用原子结构知识对下列结论进行说明和论证。

结论 1: 同周期的主族元素, 从左到右, 元素原子失电子能力越来越弱。

结论 2: 碱金属元素, 从上到下, 元素原子失电子能力越来越强。

4. 元素周期律和元素周期表对深入认识物质的性质具有重要的作用, 有利于将零散的元素及其化合物的知识整合起来形成知识网络。通过本章的学习, 你是否对学习过的元素及其化合物的知识进行了整合? 请尝试用图示的方式进行总结, 并与同学们交流分享, 示例如下:

李明打开元素周期表, 看到元素符号“N”, 便按照以下思路回顾和整理了关于氮元素的相关知识。

- (1) 氮元素的原子结构示意图、元素符号。  
 (2) 氮元素所在周期的元素性质递变规律。  
 (3) 氮元素所在主族的元素性质递变规律。  
 (4) 含有氮元素的常见物质的性质及它们之间的转化关系。

### 应用·实践

5. X、Y、Z、W 均为短周期元素, 它们在元素周期表中的位置如图所示。若 Y 原子的最外层电子数是次外层电子数的 3 倍, 则下列说法中, 正确的是( )。

- A. 原子半径:  $W > Z > Y > X$   
 B. 最高价氧化物对应水化物的酸性:  $Z > W > X$   
 C. 四种元素的单质中, Z 单质的熔点、沸点最高  
 D. W 单质能与水反应, 生成一种具有漂白性的物质

X	Y
	Z
	W

第5题图

6. 请根据元素周期律、元素周期表的知识解决下列问题。

- (1) 写出以下元素的元素符号。  
 其单质氧化性最强的元素: \_\_\_\_\_, 短周期中其单质还原性最强的元素: \_\_\_\_\_。  
 (2) 从原子结构的角度说明 Cl 的得电子能力比 S 强的原因: \_\_\_\_\_。  
 (3) 已知  ${}_{33}\text{As}$ 、 ${}_{35}\text{Br}$  位于同一周期, 请完成下列排序。  
 $\text{As}^{3-}$ 、 $\text{Br}^-$  的还原性: \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_。

$\text{H}_3\text{AsO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_4$  的酸性: \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_。

7. 一位同学设计了一套用浓盐酸和高锰酸钾固体制取少量氯气并能比较氯气与碘单质氧化性强弱的微型装置, 如图所示。



第7题图

(1) 下列溶液中, 能吸收氯气的是 ( )。

- A. 饱和食盐水                      B. 饱和  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液  
C. 饱和  $\text{NaOH}$  溶液                D. 浓硫酸

(2) 能说明氯气的氧化性强于碘单质的实验现象是\_\_\_\_\_。

(3) 请用原子结构的知识解释氯气的氧化性强于碘单质的原因: \_\_\_\_\_。

8. 已知 A、B、C、D、E 是短周期中的五种非金属元素, 它们的原子序数依次增大。A 元素的原子形成的离子核外电子数为 0, B 元素的原子的最外层电子数是内层电子数的 2 倍, C、D 元素在元素周期表中处于相邻的位置, E 元素与 D 元素处于同一主族, E 元素的单质为黄色晶体。

(1) 请写出元素符号:

A \_\_\_\_\_, B \_\_\_\_\_, C \_\_\_\_\_, D \_\_\_\_\_, E \_\_\_\_\_。

(2) 请画出 E 元素的阴离子的结构示意图: \_\_\_\_\_。

(3) A 元素的单质和 C 元素的单质能在一定条件下反应生成化合物 X, 该反应的化学方程式为 \_\_\_\_\_。向 X 的水溶液中滴入酚酞溶液, 会观察到 \_\_\_\_\_。

### 迁移·创新

9. 某一元素具有如下性质, 请你推测该元素在元素周期表中的位置。

- (1) 其最高价氧化物既可以溶于浓盐酸, 也可以溶于  $\text{NaOH}$  溶液。  
(2) 其最高价氧化物对应的水化物既可以与酸反应, 也可以与碱反应。  
(3) 1 mol 该元素最高价氧化物对应的水化物在与盐酸反应时, 最多能消耗 4 mol  $\text{HCl}$ 。

10. 部分元素的性质与原子 (或分子) 结构如下表:

元素编号	元素性质与原子 (或分子) 结构
T	最外层电子数是次外层电子数的 3 倍
X	常温下单质由双原子分子构成, 1 个分子中有 14 个电子
Y	M 层比 K 层少 1 个电子
Z	是第 3 周期元素的简单离子中半径最小的

(1) 请画出 T 元素的原子结构示意图: \_\_\_\_\_。

(2) Y 元素与 Z 元素相比, 金属性较强的是 \_\_\_\_\_ (用元素符号表示)。下列



表述中,能证明这一事实的是\_\_\_\_\_ (填序号)。

- A. Y 元素的单质的熔点比 Z 元素的单质的低
- B. Y 元素的最高正化合价比 Z 元素的低
- C. Y 元素的单质与水反应比 Z 元素的单质与水反应剧烈
- D. Y 元素的最高价氧化物对应的水化物的碱性比 Z 元素的强

### 11. 动手实践。

某同学探究同周期元素性质递变规律时,自己设计了一套实验方案,进行实验并记录了有关实验现象。

实验步骤	实验现象
① 将镁条用砂纸打磨后,放入沸水中,再向溶液中滴加少量酚酞溶液	A. 浮在水面上,熔成小球,做不定向运动,随后消失,溶液变成红色
② 向新制得的 $\text{Na}_2\text{S}$ 溶液中滴加新制的氯水	B. 有气体产生,溶液变成浅红色
③ 将一小块金属钠放入滴有酚酞溶液的冷水中	C. 剧烈反应,迅速产生大量无色气体
④ 将镁条放入稀盐酸中	D. 反应较快,产生无色气体
⑤ 将铝条放入稀盐酸中	E. 生成白色胶状沉淀,继而沉淀消失
⑥ 向 $\text{AlCl}_3$ 溶液中滴加 $\text{NaOH}$ 溶液至过量	F. 生成淡黄色沉淀

请帮助该同学整理并完成实验报告。

(1) 实验目的:\_\_\_\_\_。

(2) 实验用品:

金属钠,镁条,铝条,稀盐酸,新制氯水,新制  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液,  $\text{AlCl}_3$  溶液,  $\text{NaOH}$  溶液,酚酞溶液等;

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, 酒精灯, 试管夹, 镊子, 小刀, 玻璃片, 砂纸等。

(3) 实验内容: (填写与实验步骤标号对应的实验现象的序号并写出相应反应的化学方程式)

实验步骤	实验现象	化学方程式
①		
②		
③		
④		
⑤		
⑥		

(4) 实验结论:\_\_\_\_\_。

(5) 请用原子结构的知识简单解释上述结论。

(6) 为探索同周期元素性质的递变规律,你还能提出其他的可行性方案吗?