

中级自然科学丛书

周期律与原子结构浅说

田冠生 編

江苏人民出版社

06-64

• 內容提要 •

本書首先介紹原子學說，接着重點介紹了門捷列夫周期律、原子結構、原子結構與周期律的關係。最後對原子核的複雜結構，原子核的分裂和原子能的和平利用作了淺顯的闡述，本書供高中文化程度的讀者閱讀。

普通自然科學叢書

周期律與原子結構淺說

田冠生編

*

江蘇省書刊出版營業許可證出〇〇—一號

江蘇人民出版社出版

南京湖南路十一號

江蘇省新華書店發行 南京印刷廠印刷

*

開本 787×1092 1/32 印張 2 3/16 字數 46,000

一九五八年六月第一版

一九五九年七月南京第二次印刷

印數 8,001—14,500

統一書號： 13100·43

定 價：（8）二角二分

編 者 的 話

有不少讀者對普通化學中“週期律和原子結構”這一部分，學習時感到困難，抓不住重點，因此我編寫了這本書，以供高中文化程度的讀者閱讀。

在編寫時，為了力求使讀者易懂，避免應用高等數學，因此對每個專門學說，只介紹了一些在普通化學上應該知道的知識。

田冠生 1958年4月

目 次

一、原子—分子学說.....	(1)
1. 原子概念的起源.....	(1)
2. 原子—分子学說的發展經過.....	(2)
3. 原子、分子的眞实存在.....	(4)
二、門捷列夫的週期律.....	(6)
1. 門捷列夫以前的化学家对化学元素的 分类方法.....	(6)
2. 門捷列夫的週期律.....	(7)
3. 週期系.....	(9)
三、光譜.....	(14)
1. 光譜的种类.....	(14)
2. 光譜仪.....	(14)
3. 氢原子光譜.....	(15)
四、原子結構.....	(16)
1. 原子結構的复杂性.....	(16)
2. 原子結構的理論.....	(19)
五、原子結構和週期律.....	(36)
1. 各週期中原子內电子的排布情况.....	(39)
2. 在週期系中元素性質的遞变和原子結構的 关系.....	(42)
六、分子的形成和化学鍵.....	(51)
七、原子核.....	(54)
1. 原子核的复杂結構.....	(54)

2. 伊凡年柯的原子核学說.....	(55)
3. 同位素.....	(56)
4. 原子核的人工分裂.....	(59)
5. 原子能的和平利用.....	(63)

一 原子—分子學說

1. 原子概念的起源

早在紀元前 5 世紀，古希臘唯物派哲學家列符基普和他的學生德模克里特以及愛畢庫爾等人的作品中，就已經出現“原子”這個概念，並獲得了一定的意義。德模克里特認為“宇宙間的一切物質，都是由不可再分的顆粒所構成，這類顆粒稱為原子”。自此以後“原子”這個名詞就經常地出現於其它著作中，一直到现在，仍舊沿用這個名詞，雖然我們現在所說的“原子”與德模克里特所說的“原子”，在意義上多少是有些出入，但基本上還是大致相同的。德模克里特認為原子非常微小，無法看見，它是堅硬的並且有一定的形狀、大小和重量；各種不同的物質，它們的原子大小和形狀各不相同，它們並按一定的規律在不斷的運動着。這些見解都是從假設和推理而來，但這種見解是否正確，當時是無法從實驗中得到証實的，更由於當時的宗教迫害與封建統治，以及當時權威的唯心主義哲學家亞里斯多德的思想統治，“原子”這個概念，在很長的一個時期中受到了排斥。天主教會更把亞里斯多德的唯心哲學進一步的教條化，認為“原子”這個概念是不合法的唯物論的學說，禁止研究。1626 年，在僧侶統治下的法國巴黎國會，曾頒布禁令，研究微粒學說（就是與原子有關的學說）者處死刑。雖然古代的朴素的原子學說遭受到如此殘酷的迫害，但在 M. B. 羅蒙諾索夫（М. В. Ломоносов, 1711—1765）的研究工作中，原子—分子學說仍然獲得了顯著的發展。

2. 原子—分子学說的發展經過

18 世紀中叶，俄国的天才科学家 M. B. 罗蒙諾索夫以超人的見解於 1741 年提出了粒子学說。这个学說很接近於现代的關於物質构成的見解。他認為“一切物質都是由極其微小的、感觉不到的、用物理方法分不开的、能相互結合的質点所构成。”他又把这些質点分为“元素”与“粒子”两类：他所指的“元素”是較小的質点，相当於现代的原子；“粒子”是較大的質点，相当於现代的分；他認為“粒子”是由“元素”結合而成的，同种的“粒子”是由性質、数目、种类相同的“元素”以相同的結合方式所組成；而不同种的“粒子”則是由数目、种类、結合方式不相同的“元素”所組成。罗蒙諾索夫的这种見解超过了当时科学家的水平，他們無法理解，因而沒有得到应有的重視。一直到六十多年后，由於客观条件的成熟与当时英国化学家道尔頓(J. Dalton, 1766—1844)的努力研究，“原子”这个概念才逐漸地为大家所接受。所謂客观条件，一方面是由於当时化学研究的方法已由定性式的工作，进入了定量式的研究。另一方面是由於化学上的几个基本定律，如定組成定律、倍比定律、当量定律的相繼确立。在这些客观条件已經具备的情况下，經過道尔頓的提出，原子学說才有可能获得普遍的承認。道尔頓在他的原子学說中認為“一切物質都是由極小的質点，原子所組成，原子不可再分。簡單物質是由‘簡單原子’所組成，同一物質的‘簡單原子’，其形状和重量完全相同，但与其它物質的‘簡單原子’不同。复杂物質是由‘复杂原子’所組成，‘复杂原子’是由为数不多的‘簡單原子’所組成，在化学反应中它又可以分解为‘簡單原子’。‘复杂原子’的重量等於构成它的‘簡單原子’重量的总和”。很明显，道尔頓沒有把

“原子”和“分子”这两个概念加以严格的区分，因此我們可以这样說，他的见解是落后於罗蒙諾索夫的见解的。虽然如此，他对近代化学与原子物理学的发展还是起着重大的啓發作用。道尔頓的原子学說是可以很圓滿地来解释質量不灭定律、定組成定律、倍比定律、当量定律，但是应用它来解释給·呂薩克(J.L.Gay-Lussac, 1778—1850)的气体反应体积比定律时就产生了矛盾。假如同体积的气体是含有相同数目的原子，則一体积的氢气和一体积的氯气相作用，决不能生成两体积的氯化氢，除非是以 $\frac{1}{2}$ 个氢原子和 $\frac{1}{2}$ 个氯原子相結合而生成氯化氢，这就和道尔頓原子学說中“原子不可再分”这个概念相冲突。1811年阿佛加德罗(A. Avogadro, 1776—1856)找到了解决这个問題的关键，他提出：如果引入分子概念，同时还保留原子概念的存在，这样就可以把这个矛盾解除。他認為“分子是所有物質中可以独立存在的最小質点”，同时也認為“原子是元素在各种化合物中的最小量”，因此阿佛加德罗提出了他的假說：“在同温度同压力的情况下，相同体积的任何气体都含有相同数目的分子”。这个假說不但可以圓滿地解释了气体反应体积比定律，並使我們得出了解决气体单質和气态化合物分子中原子的数目問題，从而找到了求得正确原子量和分子量的方法。阿佛加德罗的假說現在已經成为定律。可是他提出的“分子”概念，当初並不是立刻就为大家所接受，直到19世紀40年代才在化学中开始取得地位，一直到1860年在卡尔斯鲁厄(Karlsruhe)召开的国际化学會議上，由於意大利科学家康尼查罗(S. Cannizzaro, 1826—1910)的提出，这种见解才获得了一致的公認，同时也就把“分子”与“原子”这两个概念加以严格的划分：

1. 分子是物質中能独立存在的最小質点，它不能再分为

更小的質点而仍能保持原物質的基本化学性質。

2. 原子是元素在單質或化合物分子中的最小質点。

随着分子概念的發展，道尔頓的原子学說与阿佛加德羅的分子学說已經成为近代化学上的理論基础原子—分子学說了。

3. 原子、分子的真實存在

近代的原子—分子学說，在化学發展上起了很大的作用，並获得了光輝的成就。1908年法国的物理学家貝林 (J. Perrin, 1870—1942) 通过他观察藤黄粉微粒的运动情况，以及这些微粒依高度分布的情形的实验，直接証实了原子、分子的真實性，並且由質点按高度分布的方法，还可以算出在1克分子的物質中所含的分子个数，即阿佛加德羅常数 N 。根据貝林的計算，它約等於 6.5×10^{23} ，这个数值也可以应用下列各种物理学方法来测定，結果非常相近。

方法	$N \times 10^{23}$	方法	$N \times 10^{23}$
天空的蓝色	6.04	放射性现象	6.04
輻射理論	6.05	光譜綫結構	6.08
質点按高度的分布	6.05	晶体結構	6.04
質点的电荷	6.02	溶液的表面张力	6.00

现在公認的阿氏数 N 是 6.023×10^{23} ，这是一个难以想像的天文数字。这个数字的計算方法是物理学上的方法，这里不作介紹。这个数字对我们研究化学的人有什么用处呢？我們如果知道阿氏数 N ，就可以很容易地算出原子、分子的实际重量，以及原子、分子的体积大小。原子和分子的实际重量常以克表之，它是一个非常微小的数值，既不便於記憶，又不需一个个記住它們，阿氏数 N 可以帮助來說明原子、分子的真實性。

例如：一个氢原子的实际重量为：

$$\frac{1.008}{6.02 \times 10^{23}} = 1.67 \times 10^{-24} \text{ 克}$$

又例如：一个氧分子的实际重量为：

$$\frac{32}{6.02 \times 10^{23}} = 5.32 \times 10^{-23} \text{ 克}$$

知道了阿氏数 N ，也可以估计原子和分子的大小。原子和分子的大小常用一种特殊的长度单位“埃”来表示（1 个埃 = 1×10^{-8} 厘米，常用 $\text{\AA}$ 或 $\text{\AA}$ 表之）。

例如：已知某气体的体积在标准状况下为 1 升，经加压液化后可得 1.66 毫升的液态气体，试求该气体的分子大小为若干埃？

由阿氏数与克分子体积，我们就可以知道在标准状况下，每升该气体中应含有分子 $\frac{6.02 \times 10^{23}}{22.4} = 2.7 \times 10^{22}$ 粒/升

从而每粒分子的体积就应为 $\frac{1.66}{2.7 \times 10^{22}} = 6.15 \times 10^{-23}$ 毫升/粒

假定每粒分子都为一正立方体，则：

$$\sqrt[3]{61.5 \times 10^{-24}} = 4 \times 10^{-8} \text{ 厘米}$$

即该气体的分子直径约为 $4 \text{\AA}$

又例如：求钠原子的半径。

已知钠的比重为 0.97 克/毫升，钠的原子量为 23，则 1 克原子钠的体积应为 $\frac{23}{0.97} = 23.71$ 毫升。

已知 1 克原子钠所含的原子个数为 6.02×10^{23} 粒，则每粒钠原子的体积应为 $\frac{23.71}{6.02 \times 10^{23}} = 3.94 \times 10^{-23}$ 毫升。

假定每粒钠原子为一正立方体，则每边之长即钠原子的直径

应为 $\sqrt[3]{39.4 \times 10^{-24}} = 3.4 \times 10^{-8}$ 厘米, 即 $3.4 \text{ \AA}$ 。所以钠原子

的半径为 $\frac{3.4 \text{ \AA}}{2} = 1.7 \text{ \AA}$

这个数值与用X射线法所求得的数值 $1.86 \text{ \AA}$ 很为相近。

二 門捷列夫的週期律

在原子—分子学說确立以后, 化学上的另一个伟大的成就, 那就是 1869 年俄国的天才科学家門捷列夫 (Д. И. Менделѣев, 1834—1907) 所发现的化学元素的週期律了。这个伟大的发现为 20 世紀前半世紀的化学研究工作开辟了新的領域, 解决了以前許多化学家曾經化費了很多工夫而沒有获得解决的元素分类的問題, 啓發和指导了原子結構的研究, 所以我們在研究原子結構以前, 必須了解元素的週期律。

1. 門捷列夫以前的化学家对化学元素的分类方法

很早以前, 人們就根据单質的外在物理性質, 把各种化学元素划分为金屬和非金屬两大类。这种分类方法是十分不可靠的, 因为要将一种元素划入金屬或非金屬, 主要要看它們的化学性質, 而且並不是任何一种元素都有显明的金屬和非金屬性質的, 它們中間並沒有划分的截然界限, 所以这样的分类就随着化学的發展而显得太簡單了。到 1829 年杜柏来納尔 (J.W.Döbereiner, 1780—1849) 依元素性質的相似点来分类, 把化学性質相似的每三种元素併为一組, 称为“三素組”, 如:

Li	Ca	P	S	Cl
Na	Sr	As	Se	Br
K	Ba	Sb	Te	I

他認為应用这种性質相似的关系，可作为元素分类的基础，但是当时能够做成像这样的三素組，也不过五組而已。到1863年紐兰茲(J. A. R. Newlands, 1838—1898)把各元素按原子量增加的次序，由小而大依次排列。他發現任取相連的8个元素来看，第8个元素的性質都几乎是第1个元素性質的重复，好像音乐中的八度音阶的情况，因此称为“八音律”。他就是这样的把当时已知的元素分成若干組，如：

H	Li	Be	B	C	N	O
F	Na	Mg	Al	Si	P	S
Cl	K	Ca	Cr	Ti	Mn	Fe

当然这样排列的方法是相当随便的，同时也沒有想到如果再有新元素發現該怎样来安排，所以仍旧沒有成为完善的分类方法。其后1864年迈耶(L. J. Meyer, 1830—1898)的工作以及1863年尚古都(Chancourtois)的研究，他們只做了一些类似的改进工作，都是追求着狹隘的分类方法，同时又都是运用了形而上学的观点。所以，在門捷列夫以前，对化学元素的分类方法，可說是沒有系統的。

2. 門捷列夫的週期律

門捷列夫首先就把每个元素看成不是完全孤立的东西，並且肯定了事物的普遍联系的规律。这就是他同以前的科学家不同的看法。他認為在一切化学元素間一定存在着相互联系，可以使它們联合成为一个整体。最妥善而准确地反映出这种相互联系的关系是元素的原子量，因此他把所有的化学元素，按它們原子量的大小次序，由小而大的依次排列起来，他

發現每經過一定的間隔，就有性質相似的元素出現，因而性質相似的元素隨着原子量的依次增加而成週期性地出現了。門捷列夫把這個發現的規律，在 1869 年用簡單的話說出，把它敘述為“單質的性質，以及各元素的化合物的形態和性質，與元素的原子量的數值成週期性的關係”。這就是門捷列夫的週期律的主要意義。這裡我們按原子量增加的次序把最前面的 20 個元素，依次寫出來，這樣可較容易地了解門捷列夫所發現的規律。

元素	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na
名稱	氫	氦	鋰	鈹	硼	碳	氮	氧	氟	氖	鈉
原子量	1	4	6.9	9	10.8	12	14	16	19	20.2	23
性質			……強金屬性	……典型金屬性	……微弱金屬性和微弱非金属性	……微弱非金属性	……顯明非金属性	……典型非金属性	……強非金属性	……惰性氣體	……強金屬性

原子量依次增加											
元素	Mg	Al	Si	P	S	Cl	A	K	Ca	……	……
名稱	鎂	鋁	矽	磷	硫	氯	氬	鉀	鈣	……	……
原子量	24.3	27	28.1	31	32.1	35.5	39.9	39.1	40.1	……	……
性質	……典型金屬性	……微弱金屬性和微弱非金属性	……微弱非金属性	……顯明非金属性	……典型非金属性	……強非金属性	……惰性氣體	……強金屬性	……典型金屬性	……	……

上列20个元素中除氢与氦暂且不谈，从其余各元素的化学性质的变化情况，可以看出由锂到氖和由钠到氩都是由强的金属性逐渐转变到强的非金属性；氦以后各元素的变化情况也大致和前面的情况相同。由此可见，化学元素的性质是随着原子量的增加而渐变，但经过一定数目的元素后，好像又是在新的更发展的基础上，週而复始地重复着前面的性质，这就是所以称之为“週期律”的原因。

3. 週期系

週期系又称週期表，是週期律的具体表现形式。前面所谈由锂到氖或由钠到氩8个元素所构成的元素列里，元素的性质是依次地渐变着，門氏称这样的横列为週期。週期与週期重叠起来，於是性质相似、化合价相同的元素都在同一直行里，門氏称这样的縱行为类。把化学元素分成週期和类而排列成的表叫做週期系。門氏的週期系包括：十个横列，分成七个週期；九个縱行，分成九个类（如表一）。

现在把上表简述如下：

1. 週期——七个週期（十个横列）

1. 短週期——除第一週期只包含氢与氦两个元素外，其余第二、第三两个週期都是包含八个元素，所以称为短週期。这週期中各元素化学性质的渐变很为明显，故又称为典型週期。

(1) 第一週期：只有横列起首的氢和横列末尾的氦两个元素。现在已经确知中间是没有其它元素存在，所以又称最短週期。

(2) 第二週期：从锂开始到氖为止，包含八个元素。

(3)第三週期：从鈉开始到氫为止，也包含八个元素。

第二、第三两个週期都是短週期。

2.长週期——包含十八个元素或三十二个元素，形成两个重叠的横列。化学性質在各元素間遞变的情况与短週期有所不同，在长週期前半部十个元素中变化进行得很緩慢，而长週期后半部的八个元素則与短週期相似，最后还是以惰性气体結尾。

(4)第四週期：从鉀开始到第七个元素是金屬元素錳，第八、第九、第十这三个元素是彼此性質很相似的鉄、鈷、鎳，还是金屬元素。另一横列从銅开始，以后各元素性質的改变情况才与短週期相似，最后以惰性气体氮結尾。本週期共包含十八个元素，所以称为长週期。

(5)第五週期：从鉬开始以氙結尾，包含两个横列，也含有十八个元素，其排列情况与第四週期相似，也是一个长週期。

(6)第六週期：从铯开始到氡結尾，这个长週期的两个横列包含了32个元素。这个长週期比前面的两个长週期要复杂一些，因为稀土元素連續在內一共十五个元素，它們彼此性質相似，称为鐳系。这十五个稀土元素仅佔了一个位置，因为表內無法安插，所以只好把它們排在表外，只在鐳的位置上註一个星标記号，表示它們的位置。

(7)不完全的週期：按照次序应称为第七週期，但是这个週期尚未完全，到现在为止仅有十六个元素，其中最后的十个元素是不久以前用人工方法制得的，如Np鐳、Pu鐳、Am鐳、Cm鐳、Bk鐳、Cf鐳、E鐳、Fm鐳、Mv鐳、No鐳。它們都与鐳的性質相似，所以称为鐳系；它們也如第六週期中的鐳系一样，被排在表外，仅在鐳的位置上註两个星标記号，表示它

們的位置。

必須注意，短週期仅有一个橫列。而长週期都包含两个橫列，它們是重复地排列着；前一个橫列是长週期的前半部，后一个橫列是长週期的后半部；前半部的元素多表现金屬性，故在排表时把它們稍为移向左方，后半部的元素則稍为移向右方。这样排列是为了不使同一週期的元素上下重叠，使所有长週期前半部的元素或长週期后半部的元素都可在同一直行里。另外，表上还有三处不是依照原子量大小这个原則排列的，而作了顛倒的排列，如鉀与氫、鈷与鎳、碘与碲。这些元素顛倒排列的原因，将在后面談到的原子序数与同位素中得到解释。

2. 类——九个类(九个縱行)

(1) 在每类的上端，用羅馬数字(I、II、III……)标明各类的号碼，叫类序数。在同行的下方用通式表明各类元素的成盐的高价氧化物(如 R_2O 、 RO 、 R_2O_3 、 RO_2 、 R_2O_5 、 RO_3 、 R_2O_7 等)和气态的氢化物的化合价(如 RH_4 、 RH_3 、 RH_2 、 RH 等)。

(2) 每个类里又分为主族与副族两个族(除Ⅷ和0类外)，它們是由短週期中的元素分別和长週期前半部移向左方的各元素或长週期后半部移向右方的各元素所組成。看它們的性質哪些是与短週期中的元素性質相近，就分別把它們归併在一起成为主族；另外一些不与短週期中各元素性質相接近的，就成为副族。如第I类里鋰、鈉与鉀、銣、鉍，性質相似，就成为主族，而其他的銅、銀、金，則成为副族。又如第II类里鈹、鎂与鈣、鐳、鋇，性質相似，就成为主族，而鋅、鎘、汞則成为副族。我們可以看出，第一、第二类里长週期前半部在表上偏左的元素与短週期里元素归併成为主族。第三类到第七类里长

週期後半部在表上偏右的元素與短週期里的元素歸併成為主族，其餘都是構成副族。這就是主族與副族構成的規律。

(3) 在每個主族里，自上而下，各元素的金屬性隨原子量的增加而增強，但是非金屬性則隨原子量的增加而減弱。

(4) 第Ⅷ類里的九個元素，每三個性質極其相似的元素位於同一橫列中，它們是長週期的前半部過渡到後半部的“三素組”，與氧化合的最高化合價應該是八；可是到目前為止，僅有鐵與鈷能生成 RO_4 類型的氧化物，其它尚沒有發現。

(5) 門氏排列週期系時，惰性氣體尚未發現，所以當時的週期系里只有八類，後來惰性氣體發現了，門氏便把它們放在Ⅰ類的前面，同時它們又不與其它元素相化合，化合價為零價，所以叫零類。現在我們把它們移到Ⅷ類的後面，這是在原子結構研究以後的安排。我們還應該知道，現在我們所通用的週期系並不是門氏當初的式樣，已經經過若干次的改進，門氏的原來的週期系中僅含有 64 個元素，現在的表中含有 102 個元素，但是排列的方法與原來的並無很大的差異，這也可以說明門氏週期系的價值如何巨大了。

總結上面的這些事實，我們可以論證，在元素的週期系中，各元素的性質、原子量、化合價、化學特性等，無論就橫列（週期）或縱行（類）來說，都是按一定的規律在變化着。因此，由元素的性質，可以推知它在表中的位置；每一個位置，都能反映出元素一定的性質。不但元素的化學性質能依此來推斷，而且它們的物理性質的變化，也有同樣的規律性。如原子體積、密度、熔點、沸點等物理常數，也是同樣的呈現週期性的變化。

元素的週期系，不但是化學元素的一種很自然的分類法，同時在科學上也是進一步研究自然的有力武器，20 世紀以來，