

061
0453

系統無機化學

蘇勉曾編譯

商務印書館

261

0591



學 化 機 無 統 系

蘇 勉 曾 編 譯

商 務 印 書 館



系統無機化學——這本書適合作為大學一年級無機化學課程的參考書。作者根據近代的物質結構的觀念(如原子構造、原子體積、離子化電位等),按照長週期系統,分章地對每一族的元素加以討論和敘述,每章的內容大概是:本族元素的概述、元素原子的及物理的性質、化學性質、存在、製備、它們的各種化合物、化學反應及分析等。內容豐富,編排相當精鍊。

系 統 無 機 化 學

蘇 勉 曾 編 譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

(上海市書刊出版業營業許可證出字第〇二五號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

*(52288·1)

1954年3月初版 1955年7月3版
版面字數 313,000 印數 4,001—5,000
印張 12¹/₈ 定價(8)¥1.83

編 譯 者 序

本書是根據麥克米蘭書局出版的（1940年第二版，1947年第十二次印刷）拉提默爾和希爾德勃蘭德著“無機化學參考書”（Latimer and Hildebrand: Reference Book of Inorganic Chemistry）編譯的，原書共分二十二章，按照週期系統分組地論述化學元素及其化合物的化學，是高等學校無機化學課程的參考書。編譯者刪改了原書中的少數字句；爲了介紹近年來所發現的新元素的化學，並且增寫了“銅系元素”一章作爲第二十三章。讀者如發現本書的文字上或業務上的錯誤，請提出批評和指正，寄交北京大學化學系或寄出版者轉交。

一九五三年五月

目 錄

第 一 章	氫.....	1
第 二 章	惰性氣體——氦、氖、氬、氙、氡.....	10
第 三 章	氧.....	15
第 四 章	第I組——碱金屬.....	29
第 五 章	第II組——碱土金屬.....	45
第 六 章	第III組——硼、鋁.....	63
第 七 章	第I組的副組——銅、銀、金.....	77
第 八 章	第II組的副組——鋅、鎳、汞.....	100
第 九 章	第III組的副組——鎳、錳、鉍.....	114
第 十 章	第VII組——鹵素：氟、氯、溴、碘.....	120
第 十 一 章	第V組——氮、磷、砷、銻、鉍.....	143
第 十 二 章	硫、硒、碲.....	187
第 十 三 章	碳.....	207
第 十 四 章	矽.....	234
第 十 五 章	第IV組的金屬——鈦、鋳、鉛、鈦和鎳、錫、鉛.....	248
第 十 六 章	第V組的副組——鈦、鈳、鉍.....	268
第 十 七 章	第VI組的副組——鉻、鉍、鎳、鈾.....	277
第 十 八 章	第VII組的副組——錳、鈦.....	293
第 十 九 章	鐵、鈷、鎳.....	302
第 二 十 章	鈷、鈳類金屬.....	331
第 二 十 一 章	鈳、鈳和稀土元素.....	346
第 二 十 二 章	放射性元素.....	354
第 二 十 三 章	鈳系元素.....	373

附表：（一）1952年蘇聯原子量表 （二）現代元素週期表 （三）原子中電子的排佈

第一章 氫

1. 氫原子的構造——元素氫有三種同位素，它們的質量數是1、2和3。質量數為1的同位素最豐富；普通水裏的氫，大約每七千份裏面祇含有一份質量數為2的同位素，實際上不含有質量數為3的同位素。後者在某些原子核反應中產生，但又進行放射性的分解作用。質量數為2的同位素叫做重氫（氘）。元素的同位素有特別命名的，這還是唯一的情形。氫和重氫之間質量的差別，比任何其他元素的二同位素之間的差別都要大，因此氫和重氫的物理性質及化學性質的差別也較大。

氫原子（質量數為1的同位素）是由兩個微粒組成的：一個是質子，帶有正電，另一個是電子，帶負電。質子的質量是電子質量的1,850倍，但是二者的電荷相等，符號相反。

原子具有很多能量狀態，各種狀態代表各種不同的電子和質子的構型。在這些不同狀態下，原子的能量的值可以用下列簡單關係式表示， $E = \frac{-13.54Z^2}{N^2}$ 伏特/單位電荷，其中 Z 是質子所帶電荷（等於

1）， N 叫做量子數，是從1到 ∞ 之間的任何整數。正常的氫原子是在第一量子狀態（ $N=1$ ）。圖1表示，將電子從第一量子狀態移至2、3、4、5、…… ∞ 等量子狀態時，所需要的能量，以伏特作單位。當 $N=\infty$ 時，能量是零。這就相當於電子和質子完全分離，每單位電荷所需要的總能量是13.54伏特。

當電子從一較高的能量層落到一較低的能量層時，能量之差就以

光的形式放出。光的頻率 ν 和能量之差 ΔE 之間的關係如下： $\Delta E = h\nu$ ， h 是一常數（普蘭克常數）。同樣地，在低量子狀態的原子可以吸收具有一定頻率的光能，電子就跳到一較高能量的量子層。電子從外層落到第一層時所發生的光譜線，遠在紫外線的外面，但是電子從外層落到第二層時所發生的巴麥(Balmer)光譜是可見光譜。在氫的光譜中所顯示的最高頻率，就是由於電子從無限大的量子層落下時所發生的。

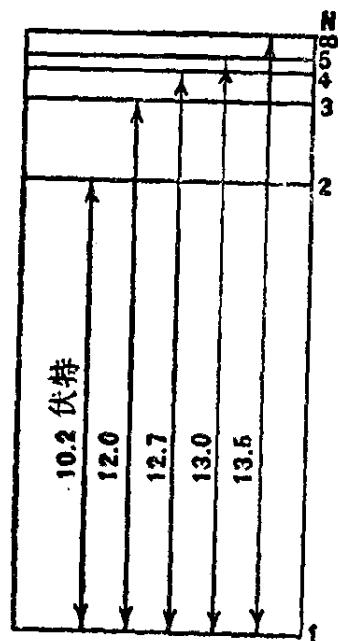


圖 1 氫原子中的能量層。

波爾(Bohr)曾企圖把這些量子層描繪成電子繞着質子旋轉時的一些可能的軌道。這些軌道是圓的或是橢圓的，是由原子系統內的動量所規定。動量必須是某種基本數量的倍數，這種倍數就叫做量子數。總量子數可以看作是兩個其他數的和，一個數代表角動量的單位，另

一個代表徑向動量的單位，徑向動量也就是向半徑方向的動量。這些數就決定了軌道的大小和形狀。圖 2 表示總量子數 $N=1, 2, 3$ 的各軌道， N 的數值的右下方的數字代表角動量。軌道 1_1 的半徑為 0.529×10^{-8} 厘米。

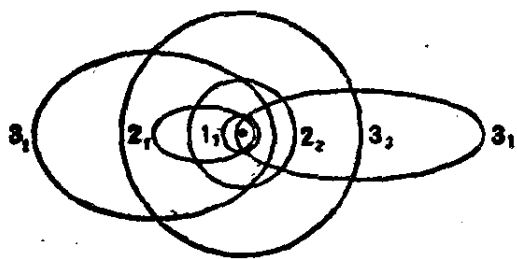


圖 2 波爾所描繪的氫原子的電子軌道。

因為從實驗事實知道有不連續的能量狀態存在，波爾的學說不得不加以修正，因此電子的軌道就不再具有以前那樣明確的意義了。這種改變是因為發現了某種波動具有微粒的性質而產生的。修正後的運動方程式，對電子運行狀況的描寫，不再用軌道，而是用或然性來解釋。以前所謂電子的軌道，現在稱之為特值函數(eigen functions)或道(orbitals)，在原子的某一地區找到電子的或然性，完全由特值函數決定。圖 3 是根據量子力學的概念所畫的氫

原子的簡圖，可以看作是電子在許多地區運行而得的平均電子密度。按照電子角動量的數值為 0、1、2、3、4 ……… 等單位，用符號 s 、 p 、 d 、 f 、 g ……… 等來表示。

2. 上面所說的量子關係，對於其他元素來說，是複雜的，因為事實上，(1) 正電中心不再是簡單的一個正電荷，而是一個複雜的構造，其淨正電荷等於原子序數；(2) 電子的個數不等於一，其個數和原子序數相同。根據這些電子在各種量子狀態分佈的情形，可以把元素組成若干所謂“化學的族”。在具有相同的總量子數 N 的任何原子中，電子的個數最多等於 $2N^2$ 。例如， $N=1$ ，電子個數最多是 2； $N=2$ ，電子個數最多是 8。所以當第二個元素——氦的第一量子層已充滿時，第三個元素——鋰的三個電子就不能全停留在第一量子層，其中的一個電子被安排在第二量子層。隨後的幾個具有較高的原子序數的元素，它們的第二量子層中的電子個數在增加，一直到充滿了八個電子，就是氖。每一個碱金屬元素指出一個新的量子組的開始，每一個惰性氣體表示一個量子組的完成。

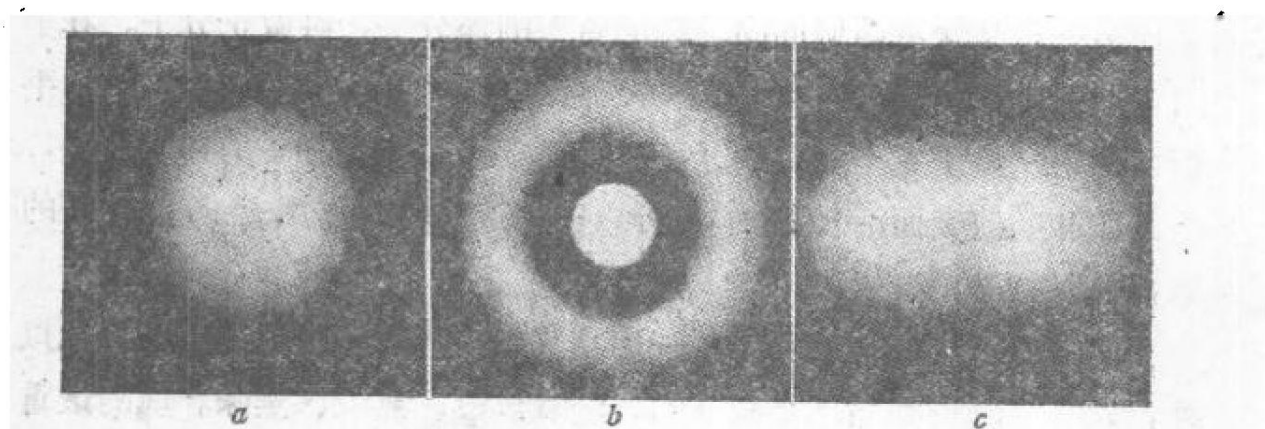


圖 3 氫原子的不同狀態： a ，具有一個 $1s$ 電子的氫原子； b ，具有一個 $2s$ 電子的氫原子； c ，具有一個 $2p$ 電子的氫原子，在磁場中。

每一道（第 1 節）最多包含兩個電子，在總量子數 N 和徑向量子數 l 等於任何一個數值時，電子的總數是 $2(2l+1)$ 。因之，對於第一層來說，有兩個 s 電子；第二層有兩個 s 電子和六個 p 電子；第三層，兩個 s 電子，六個 p 電子，十個 d 電子等等。電子的磁性指出它

有一種量子化的自旋運動。當一道中含有兩個電子，結果它的磁轉矩是零，這就是說，兩個電子的自旋運動的方向相反。

3. 氫的存在——地殼（地球表面下十英里以內）中祇含有百分之一重量的氫。但是如果把地殼中各成分都用原子的個數來計算，地殼中所含氫原子的個數，佔原子總數的百分之十六，那麼它的豐富度就僅次於氧。地球上的氫大部份是和氧結合成水。也有和硫、碳、氮及氯等化合而存在的。氫和其他鹵素及磷的化合物，雖然存在，但是比較少。氫是一切酸和動植物體素的一個構分。祇有極少量單體狀態的氫存在於大氣中，約佔大氣體積的百分之 1×10^{-3} 。有時，在火山氣或其他天然氣中，也發現有比較大量的氫氣。由太陽的光譜顯示出，氫燃燒時所發生的巨大的火焰，常發射數千哩的距離。

4. 分子的氫——原子氫結合起來，生成氫的分子 H_2 。用 **H** 代表質子，用一點代表電子，我們可以把氫分子的電子構造式寫成 **H:H**；其中兩個電子形成一個鍵，把兩個質子聯起來。由於質子的轉動，氫的分子有兩種：一種是含有兩個反向轉動的質子的氫分子，叫做副分子，另一種是含有兩個同向轉動的質子的氫分子，叫做正分子。在室溫下，氫氣中有 $\frac{1}{4}$ 的副分子和 $\frac{3}{4}$ 的正分子處於平衡狀態。在沸點下的平衡狀態中，幾乎完全是純副分子。高溫下正副兩種分子的轉變很慢，但是碳和其他表面活化物質，可以促進這種轉變作用。純副分子的氫，沸點是 $20.25^\circ K$ 。

氫的分子量最小，因此在一切物質中，氫的密度也最小，除氦以外，氫的熔點和沸點也是最低的。氫氣無色、無嗅、無味。氫的最重要的物理常數都收集在表 I 中。

杜瓦 (Dewar) 在 1898 年第一次把氫液化。在常溫下，氫氣自高壓向低壓膨脹時，放出熱量，但是如果在液體空氣中冷卻至 $-185^\circ C$ 時，再行膨脹，就吸收熱量。氣體液化的方法就是利用這個事實。關於液化方法的進一步討論，可以參看第三章第 6 節。鎳、鈹、鉑組的金屬

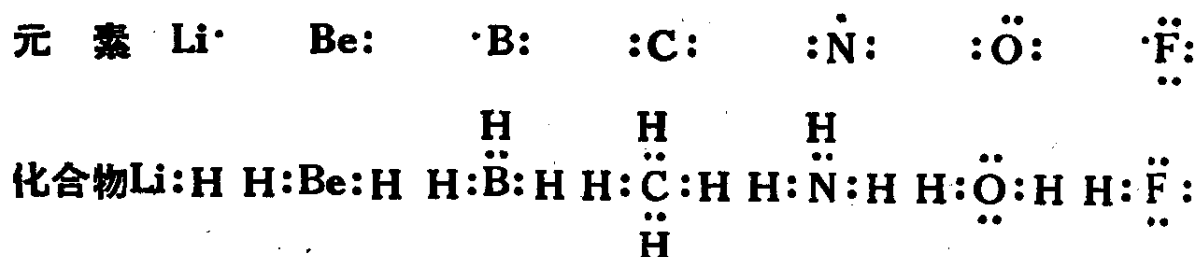
表 I 氫的物理常數

熔點, °C.....	-259.2	密度, 克/升, 0°和 860 毫米.....	0.08985
°A.....	13.9	液體的密度, 克/毫升.....	0.071
熔融熱, 卡/克分子	28	在水中的溶度, 體積/100體積水,	
沸點, °C.....	-252.7	25°C.....	1.8
°A.....	20.4	分解熱, $H_2=2H$, 卡/克分子	130,730
蒸發熱, 卡/克分子.....	218	H_2 的分解百分數, 總壓力為	
臨界溫度, °C.....	-241	1 大氣壓下	
°A.....	32	在 2,500°A.....	1.3
臨界壓力, 大氣壓.....	20	在 3,500°A.....	29.7

包藏或溶解氫氣的能力很顯著。在一定的條件下, 在 20°C 和 1 大氣壓時, 一體積的鈀能吸收 900 體積的氫(參看鈀, 第二十章第 27 節)。因為氣體擴散的性質和密度的平方根成反比, 所以氫的擴散速度相當高。氫和氧的密度之比是 1/16, 所以氫的擴散速度比氧快四倍。

5. 氫的化學反應——氫和許多輕元素能直接化合, 和負電性較強的元素化合時, 放出大量的能量; 例如, 從管中噴出的氫氣, 能在氧氣或氯氣中迅速地燃燒, 氫氣和氧氣或氯氣的混合物, 有劇烈的爆炸性。

從鋰到氟之間的各元素和氫生成的化合物的電子式如下:

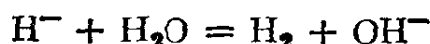


在 CH_4 、 NH_3 和 H_2O 中的四對電子, 都形成一個對稱的四面體。所以, H_2O 的分子並不是像電子式那樣的直線形, 而是一個四面體, 兩個氫原子位於四面體中的兩個角。

元素的負電性愈強, 愈能完全地拉去氫的電子, 因此氫就帶 + 1 電

荷。另一方面，正電性比較強的元素，把電子給予氫，氫就帶 -1 電荷，因為，第2節曾經提到，氫原子的第一量子狀態可以容納兩個電子。從這方面看，氫和鹵素元素相像，鹵素元素的原子比惰性氣體少一個電子。

氫化物中的氫是 -1 狀態。 -1 氫離子在水溶液中不安定，起下列反應：



關於氫化物的電位，可參看化學手冊。氫的各種反應將在討論有關的各種元素時討論。下節僅討論氫和氫離子間的一般反應。

6. 氫離子的性質——氫離子存在於一切的強酸溶液中，它的性質也就是一切酸的共同性質，例如有酸味，對於有機指示劑有特殊的顏色變化（如石蕊自藍色變成紅色），對鹼的中和作用，以及對賤金屬的溶解作用等。對於氫離子的性質作一完整的敘述，必須把它的一切化合物的電離度、揮發度和溶度等數值包括在內，因為這些數值決定氫離子和陰離子結合的情況。例如，我們說純水中氫離子和氫氧離子的濃度各是 10^{-7} 克分子/升，就等於說 $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ 這個反應進行到 H^+ 和 OH^- 的濃度等於 10^{-7} 時為止。同樣地，當我們說在 100°C 時，氯化氫從它的水溶液中逸出的揮發度很高，也就是等於說 $\text{H}^+ + \text{Cl}^- = \text{HCl}$ （氣體）這個反應在 100°C 時發生的傾向很大。

7. 氫離子和氫氧離子的許多最重要的反應，可以用下面的氧化還原電對概括起來， $\frac{1}{2}\text{H}_2 = \text{H}^+ + e^-$ 。（在某些構造式中，用一點來代表電子，像在第5節那樣，但是在書寫普通反應方程式時，我們用 e^- 代表電子。）例如鋅和酸作用放出氫氣，因為 $\text{Zn} = \text{Zn}^{++} + 2e^-$ 這個反應放出的電子“壓力”（電壓）較高。總的反應 $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{++} + \text{H}_2$ ，是電子從鋅移到氫離子所產生的結果。另一方面， $\text{Ag} = \text{Ag}^+ + e^-$ 反應的電壓比氫的要小；由於電子從氫移到銀離子，氫把銀離子還原： $2\text{Ag}^+ + \text{H}_2 = 2\text{Ag} + 2\text{H}^+$ 。關於氫在許多氧化還原電對中的地位，可以參

看氧化還原電位表。應該提到的是事實上氫離子對於金屬的氧化作用常常是很緩慢的，並且反應速度和產生氫氣的金屬面的性質有關。因此，當酸作用於鋅時，如果是純鋅，反應進行很慢，如果鋅裏含有雜質，就進行得很快。當然，作為一個氧化劑的氫離子的氧化能力，也和它的濃度有關。從克當量濃度的鹼性溶液中放出氫氣，所需要的還原劑的還原能力，要比從酸中放出氫氣所需要的還原劑的能力強，因為， $\frac{1}{2} \text{H}_2 + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O} + e^-$ 的電位是 0.83 伏特，比氫和酸的電對的氧化還原電位大一些。

雖然在水溶液中的氫離子的化學式被寫作 H^+ ，可是因為氫離子對水分子的吸引力很強，它的化學式可以寫成 $\text{H}(\text{H}_2\text{O})_n^+$ 。氫離子的水化能是 250,000 卡，比任何其他帶有單一電荷的離子的水化能都大。

8. 製備——雖然正電性的金屬，如鈉、鉀和鈣，作用於水放出氫，但是因為這些金屬價格太貴，不能用來製氫。有時，用水蒸氣通過燒紅的細鐵粉的方法來製造氫： $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$ 。在實驗室中用稀硫酸或稀鹽酸作用於鋅或鋁的方法製造。因為鋅或鋁等金屬中含有雜質，這樣製得的氫就常含有少量的可揮發的氫的化合物。將氫氣從高錳酸鉀溶液裏通過，可以除去這些氫的化合物。從硫酸裏通過後，可以除去氫氣中的水蒸氣。

工業上氫的主要來源有四：碳還原水的作用；煤的破壞蒸餾；甲烷 CH_4 的熱裂分解和水溶液的電解。碳還原水的作用，包括水煤氣的生成反應： $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{CO} + \text{H}_2$ ，和進一步的反應： $\text{H}_2\text{O} + \text{CO} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$ （參看第十三章第 6 節）。煉焦爐所發生的氫是煤的破壞蒸餾的副產品，其中含有大量的甲烷，可以用液化法除去。電解氫現在通常是由電解濃氫氧化鈉製得。用鐵或鎳作電極，氫氣在陰極放出，氧氣在陽極放出。電解得到的氫中，除含有少量的自陽極擴散來的氧氣之外，是十分純淨的。這少量氧氣可以用下法除去：把氣體通過觸媒，例如

250°C 的鎳粉，促使氧和氫的化合。在由電解食鹽水製造氫氧化鈉時，也生成大量副產品氫。

9. 工業用途——氫氧焰用來截斷和焊接金屬。它的溫度約為 2,500°C。氫氧吹管的構造特殊，可以避免氣體混合後在未到達出口時爆炸。最近發展起來的原子氫焰 (atomic hydrogen torch) 有許多優點。把氫氣通過一極熱的電弧，就生成原子的氫。原子氫遇到要焊接的金屬表面時，藉金屬表面的觸媒作用，就結合成氫分子，由於氫分子的生成而放出大量的熱，金屬被熱至 4,000—5,000 °C 的高溫。

氮和氫合成製氨中，消耗大量的氫。由氫和一氧化碳合成甲醇 CH_3OH 及其他液體燃料等，現在在工業上變得很重要。氫的另一個重要用途，是用在許多油類的加氫作用上，例如棉子油經過加氫作用，變成固體脂肪。

氫氣也用來填充氣球。氣球的效能是根據等體積的氫氣和空氣的重量之差。在 0°C 和 1 大氣壓下，這個重量差是 1.2 克/升。

10. 分析——常用的氫的分析法，是把氫和過量的氧混合，通過一個用電流燒紅的金屬絲。由於水的生成而縮小的體積，來計算氫的百分數。氫還可以用下面的方法分析：把氫通過熱的氧化銅 $\text{CuO} + \text{H}_2 = \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ ，把生成的水蒸氣吸收在已經稱好重量的氯化鈣管裏。

11. 重氫——因為重氫的質量差不多是普通氫的一倍，所以它的**原子核**可以認為是由一個質子和一個**中子**所組成的。原子核的淨電荷是正 1，因之重氫原子也祇有一個“道”電子。它的電子能量層差不多和普通質量為 1 的氫原子相同，這兩種同位素在物理及化學性質上主要的差別，是由於兩種原子在它們的分子中振動的能量不同。例如因為振動狀態能量的不同， D_2 的分解能是 1.8 千卡，比 H_2 的分解能大一些。在 H_2O 和 D_2O 中，氫和氧及重氫和氧間的化學鍵的能量也不相同。 D_2O 的蒸發熱是 260 卡/克分子，比 H_2O 的大一些。

表 II 重氫和重水的物理性質

原子量 D.....	2.00147	密度 D_2O , $25^\circ C$	1.1066
沸點 D_2 , $^\circ A$	23.5	熔點 D_2O , $^\circ C$	3.82
凍點 D_2 , $^\circ A$	18.7	沸點 D_2O , $^\circ C$	101.43
$D_2=2D^+$ (在純 D_2O 中) $+2e^-$		密度最大時的溫度, $^\circ C$	11.6
E° (伏特).....	0.0046	$D_2O=OD^-+D^+, K_{25}^\circ$	0.3×10^{-14}

最初製備重氫的方法，是用鎳極電解氫氧化鈉的水溶液，因為氫比重氫容易放出，所以在陰極發生的氣體中，重氫的含量很少。在經過長時間的連續電解以後，在殘餘的水溶液中， D_2O 的含量可以達到 99%。純的重氫就可以用和製備氫相類似的反應，從純的重水 D_2O 中得到。利用效率高的分餾柱來作水的分餾，也可以增加水中 DHO 和 D_2O 的濃度。

用重氫原子代替有機化合物的分子裏的氫原子，是研究有機化學和生物化學的反應歷程的一個新方法。

第二章 惰性氣體——氦、氖、氬、氪、氙、氡

1. 早在 1784 年的時候，卡汶迪希 (Cavendish) 就指出空氣中含有一種少量的十分不活潑的未知氣體，不過在這個問題上一直沒有作進一步的工作。直到 1893 年瑞萊 (Rayleigh) 發現從純的氮化合物製得的 1 升氮氣重 1.2506 克，而一升大氣中的氮却重 1.2572 克。這個差別就引導瑞萊和萊穆睢 (Rainsey) 對大氣中的氮作一番仔細的研究，並且發現了氦。萊穆睢不久以後證明了從鈾礦放出的一種氣體，就是那種未知氣體——氦。在 1868 年，洛克葉爾 (Lockyer) 為了解釋太陽光譜中的特殊的黃線，曾假定過它的存在。後來由於用分餾方法研究從空氣中得到的粗氬，又發現了氖、氬和氪。這幾種氣體在空氣中的百分含量如下：

He	Ne	A	Kr	Xe
0.0004	0.0012	0.94	0.00005	0.000006

在某些地方的天然氣中，含有少量的氦，其中某些含氮量較高的井裏，據分析結果，含有 1—2% 的氦。

由於對於放射性元素的研究（參看第二十二章），發現了 α -射線或 α -微粒就是帶正電的氦原子核。那些不安定的元素分解時的產品之一就是氦。根據計算，一克的鐳每年產生 0.11 毫升的氦，一克的氧化鈾 U_3O_8 ，每年產生 9.1×10^{-8} 毫升的氦。每一克的放射性的磷鉍鐳礦含有 1 毫升的氦。鐳或它的同位素失去一個 α -微粒後，就生成惰性氣體元素中最重的一個元素，叫做氡，又叫 niton。氡非常不安定，每個氡原子的平均壽命祇有幾天（第二十二章）。

2. 物理性質——比較重要的物理性質已概述於表 I。這些氣體

表I 原子和物理性質

	He	Ne	A	Kr	Xe	Rn
原子序數.....	2	10	18	36	54	86
原子量.....	4.00	20.2	39.91	83.9	130.2	222
安定的同位素.....	3,4	20,21,22	36,40	84, 86, 82, 83, 80, 78	129,132,131 134,136,128 130,126,124	(222) (220)
各量子層中的電子						
第一層.....	2	2	2	2	2	2
第二層.....		8	8	8	8	8
第三層.....			8	18	18	18
第四層.....				8	18	32
第五層.....					8	18
第六層.....						8
熔點, °C.....	-268.9(140大氣壓)	-248.5	-189.3	-156.6	-111.5	-71
°A.....	4.2	24.6	85.8	116.5	161.6	203
沸點, °C.....	-268.9	-245.9	-185.8	-153.9	-108.0	-61.8
°A.....	4.23	27.2	87.5	120.2	165.1	211.3
在沸點時,汽化熱,卡/克分子	25	405	1,600	2,240	3,100	3,600
臨界溫度, °C.....	-268	-320	-117	-63	15	
液體的密度.....	0.126	1.20	1.40	2.6	3.06	4.4
氣體原子離子化所需電位						
第一電子.....	24.46	21.45	15.68	13.93	12.08	10.70
第二電子.....	54.14	40.9	27.76	約 26	約 31	—

都是單原子的，它們的沸點都很低，這說明了它們的原子不太互相吸引。實際上，氦是如此的遲鈍，以致在所有的物質中它的沸點最低，如使氦在減壓下（低於 0.01 毫米）沸騰，可以得到絕對溫度 0.7° 的溫度。

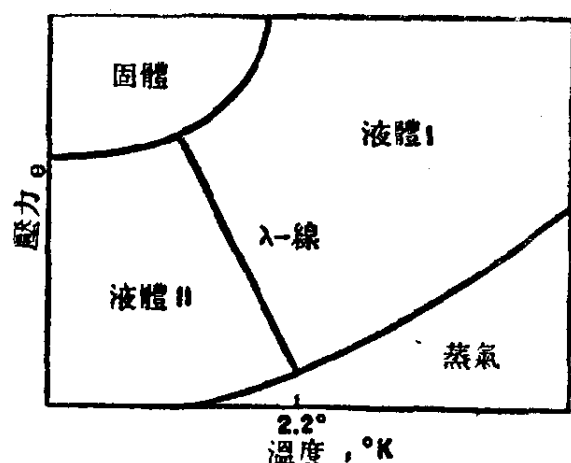


圖 1 低溫時氦的相圖。

使液體的氦凝固時，需要相當的壓力（在 4.2° 時需要 140 大氣壓），氦分子間的吸引力很小，以至於在最低溫度時，凝固熱實際上等於零。像氫一樣，當氦氣在普通溫度膨脹時，放出熱，所以必須把氦氣冷卻到固體氦的溫度（約 11°A ）時，再行自由膨脹，溫度才會降低。

當液體氦冷卻到 2.2°A 時，性質上有顯著的變化，例如，粘度減小，導熱率增加。這種物質像固體，而具有氣體的性質。這好像是物質的另一形態，可以看作是一種變性氣體。

惰性氣體相當地溶於水，它們的溶度隨原子量的增大而顯著地增加。氦和氖不被在液體空氣中凍過的碳所吸收，但原子量較重的幾種氣體却容易被吸收。

從氣體原子中除去電子所需要的電位相當高（表 I），但是當氣體被高速度的電子撞擊時，也發生離子化現象。氣體在這種情形下是發光的，這是離子化的原子和電子重新結合時所發出的光，由這樣產生的各元素的特殊的光譜，可以用來證實這些元素。

3. 電子構造和化學性質——本組各原子的電子構造很重要，因為不僅可以用它來解釋本組各元素的不活潑性，而且還可以說明許多化合物的生成。除氦的第一量子層僅含有兩個電子以外，每個惰性氣體原子的最外層都充滿了八個電子（表 I）。這種外層充滿八個電子的情形都是很安定的，因此不僅是這些惰性氣體的離子化電位都是很