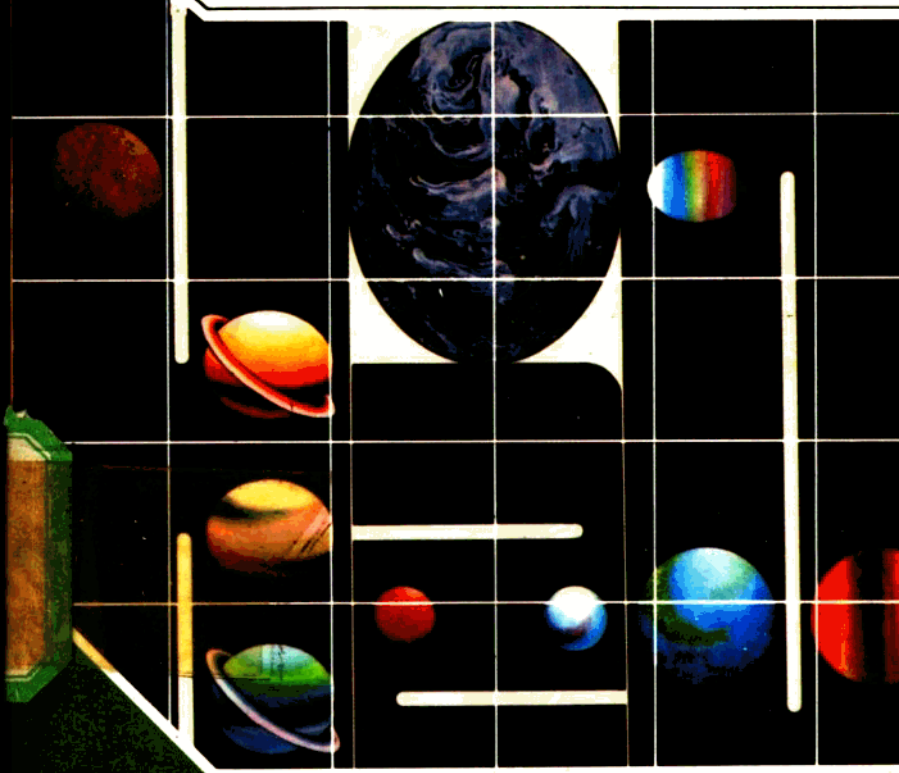


新世紀叢書

探討從地球到宇宙的奧秘

水的世界

審定者：曾憲政



銀禾出版社 印行



新世紀

048

新世紀叢書

水的世界

銀禾文化事業公司印行



048

新世紀叢書

水的世界

主編：新世紀編輯小組
審定者：曾憲政
出版者：銀禾文化事業有限公司
發行人：陳俊安
總經理：銀禾文化事業有限公司
地址：和平東路2段96巷3-1號
電話：7005420・7005421
郵撥：0736622-3
定價：新台幣 90元
新聞局登記證局版台業字第3292號
1985年2月初版
圖版權所有・不准翻印圖

目 錄

第一章	天然水是什麼？	1
-----	---------	---

第二章	行星空間、彗星、小行星、 隕石中的水分	21
-----	------------------------	----

第三章	濕潤行星的水	31
-----	--------	----

第四章	水的世界的萬花筒	193
-----	----------	-----

第一章 天然水是什麼？

水的同位素

天然水是什麼？這個問題雖簡單，却不容易回答。

英國的物理學家卡文狄希 (Henry Cavendish) 發現氫 (H) 與氧 (O) 合成水。一七八五年法國的化學家拉瓦錫 (Antoine Laurent de Lavoisier) 確定了水是由兩個原子量為一的氫與一個原子量為16的氧所組成的。

造成天然水的氫原子與氧原子，可有各種不同的同位素，他們在週期表中佔據相同的位置，但原子量却不相同，其物理性質與化學性質也不同。

已知氫的同位素有五種，其原子量分別為 1、2、3、4、5。氧則有原子量為 16、17、18 三種不同的同位素。

在天然的氧氣中，原子量為 16 的氧含量最多，其次是原子量為 18 的同位素，而原子量為 17 的氧最少。其比例大約是三千一百五十比五比一。

而天然的氫氣中，則以原子量為 1 的氫原子最多，

2 水的世界

其次為原子量為 2 的重氫（氘），二者之比例約為 5,500 比 1。至於原子量為 3、4、5 的氫同位素在地球上的天然水中雖僅係微量之存在，但在宇宙的進化過程中，想必存在於低溫的行星或彗星之間。

氫原子與氧原子所造成的水的分子的構造，如圖一所示。而各種元素的原子的大小，大約自 0.6 至 $2.6 \text{ \AA}$ （ $\text{angstrom} = 1 \text{ \AA}$ 為 1 公厘的一千萬分之一）。但光的波長，則比此大數千倍。

在正常狀態下，在 H_2O 分子中與氧原子結合的兩個氫原子間所形成的角度近於 180 度，故一般上假想形成極大的鈍角。但是，非常出人意外的，此角非 180 度，

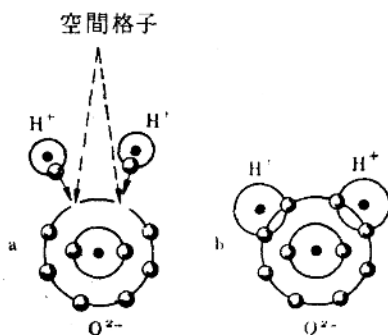


圖 1 由兩個氫原子與一個氧原子(a)形成水的分子(b)的過程。分子的電子群係由 8 個外層電子與 2 個內層電子所組成。

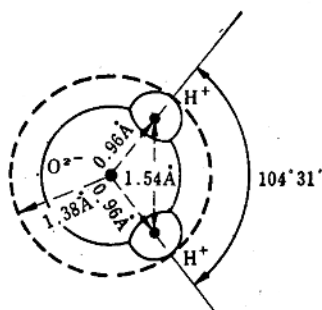


圖 2 水的分子與其大小。分子的直徑為 2.76Å ，連結氫與氧的中心的距離為 0.96Å ，連結 3 個原子的中心的角度為 $104^{\circ}31'$ 。

而為 $104^{\circ}31'$ 。因此分子內的化合力不能獲得完全的抵消，使其剩餘力量顯現於分子之外。圖二表示水分子的大小。

在水分子之中，正電荷與負電荷是不均勻的、不對稱的分佈着。像這種分子內的正電荷與負電荷的中心不一致的情形，稱為極性分子。因此，我們雖稱水分子為中性的，但是，因為此極性之故，分子的帶負電的極，吸引另一分子的正電荷，而帶正電的極吸引其他分子的負電荷，相互吸引的結果使得各個分子固定在其位置上。

水分子內部的此種電荷的極化，較之其他物質的電荷的極化為大。物理學家稱此種現象為偶極矩 (Dipole

4 水的世界

moment)。這種特性，使水分子的介電常數 (Dielectric constant) 很大，在許多物質的溶解過程中，具有重要意義。水的溶解能力，以其介電常數決定。假設真空的介電常數為 1，則在溫度為 0°C 的水中時為 87.7， 50°C 的水中時為 69.9， 100°C 時為 55.7。

在室溫時，水的介電常數為 80。這表示兩個相反的電荷，在水中時的吸引力是在大氣中時的八十分之一。因此，要自某種鹽的結晶中分離離子時，在水中較之在空氣中容易 80 倍。

但是，水並非僅由相同分子所成。理由是水分子可電離為帶正電荷的氫離子 (H^+) 與帶負電荷的氫氧離子 (OH^-) 之故。純粹的水，在普通狀態下極難電離。1000 萬個純粹的水分子之中，僅有一個電離為氫離子與氫氧離子。

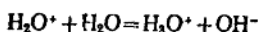
但是，由於溫度的上昇，或變更其他條件，會使其電離度顯著變大。水雖在化學上是中性的，但由於氫離子與氫氧離子的存在，使水具有極大的活性。

水中尚有帶負電荷的氧離子 (O_2^-) 的存在。不僅如此。在自然界中，也可見氫與氧的其他化合物。而這些化合物，有廣泛分佈的帶正電荷的經離子 (H_3O^+)。而這些散見於高壓、高溫時的岩鹽 (NaCl , rock salt) 溶液中。

銨離子，在 0°C 時，雖與氫氧離子以 0.27×10^{-9} 的比率一同存在於水的晶格中，唯在多數礦物中以化合狀態存在着。

銨離子與氫氧離子在地下深處，尤其在花崗石岩化作用過程中，充作許多化合物的搬運工角色。還有過氧化氫 (H_2O_2 , HO_2 , H_3O_2^-) 等氫與氧的其他化合物。這些雖在地球表面環境下不穩定，但在高溫與高壓下，可天然地長期生存。又 H_3O_2 被發現存在於海拔1000公尺以上高度的電離層雲中。

水的分子，普通係中性，已如前述。但是，若自水分子以 β 射線（快的電子）奪取電子，則形成帶電的水「分子」，即正的 H_2O^+ 離子。此離子與水的相互作用，而依下式發生羥基 ($-\text{OH}$)。



電子與銨離子再結合時，每莫耳約放出 196 Kcal 的能量，此能量足以使 H_2O 分解成 H 與 OH。

普通製作化合物的基，並非游離存在，但在特殊條件下，光是以游離狀態存在的。這種可與其他物自由結合的游離基，在天體物理學與地球大氣物理學上，扮演極重要的角色。在太陽表面發現有羥基 (OH^-)，尤其在太陽黑子活動地方數目更多。羥基更進而在恒星中或

彗星的頭部被發現。

如此，若考慮水是氫原子與氧原子，與其分子及離子所成的物質，則水在氣體與液體及固體的三態中，可分成 36 種類的化合物。但，此分類還沒有考慮到含於其中的懸乳液、乳劑，或以不純物存於水分子中的其他元素或其無機化合物、有機化合物。

水的同位素有九種，如表三所示。

如所周知， H_2O 以外的同位素存在率不高，約僅佔 0.3% 而已。氘 (3H) 顯示弱輻射性，其半衰期為十二年、三年。具有極短半衰期的原子量 4 (4H) 與 5 (5H) 的輻射性氫同位素，與氘未列在表三內。

例如， 4H 的半衰期只有 4×10^{-11} 秒。

表 3 水的同位素，與海水中各元素的含有率比較表。

水的分子式	含有率 (%)	以同等比率 包含於海中的 元素
H_2O^{16}	99.73	—
H_2O^{18}	0.20	鎂
H_2O^{17}	0.04	鈣
$H^1H^2O^{16}$	0.032	鉀
$H^1H^2O^{18}$	0.00006	氮
$H^1H^2O^{17}$	0.00001	鋁
$H_2^2O^{16}$	0.000003	磷
$H_2^2O^{18}$	0.00000009	水 銀
$H_2^2O^{17}$	0.00000001	金

除上述四種氫的同位素之外，又有二種氧的放射性同位素，是 ^{14}O ， ^{15}O 。但，其在天然水之中，並不具有特大的意義，原因是其半衰期太小，僅數十分之一秒之故。但，若欲就純粹的水的種類言之，則這些並非就是其全部。

水的不尋常性

以上已介紹過組成我們所稱的「純粹的水」的氫與氧原子、分子、離子，及其化合物。在 1 立方公分的液體水中，於 0°C 時，含有 3.35×10^{22} 個分子。而這些粒子，在水中如何分佈，則如下述。

水的粒子，並非任意分佈，而是依水的三態（固態、液態、氣態）而有不同的結構，隨溫度與壓力之改變而變化。在此，我們進而就水的構造進一步敘述之。

在以簡單方法解釋水的特性之前，應先對水的特性加以注意。

最值得驚奇的水的特質是，水是唯一在普通溫度與壓力的條件之下，以三態，即三個狀態——固體（冰）、液體（所謂水）與氣體（眼睛看不見的水蒸汽）存在於地球上的物質。

但是，事實上，恰恰相反，水是自然界中最不尋常的物質。首先，水具有較其他的液體或固體更大的熱容

量。假定水的熱容量爲 1，則酒精或甘油爲 0.3，而砂與岩塩爲 0.2，水銀與白金爲 0.03，樹木（松、橡樹、雲杉）爲 0.6，鐵爲 0.1 等。

換句話說，使水溫上升 1 度所需的熱量，是使同樣重的砂土上升 1 度所需熱量的五倍。因此在沙灘上，沙的溫度遠較海水溫度高。

其次，水的不尋常處，在於具有異常的高汽化熱與融解熱。即將液體變成氣體，或固體變成液體所需的熱量非常大。

譬如，將 1 公克的冰融化成水約需 80 卡的熱量，稱爲融解熱。水的融解熱是酒精的 27 倍。水在融解過程中，溫度都是 0°C 。即溶解 0°C 的冰所得的液體的水仍然是 0°C 。液體的水變成水蒸汽時，也可觀察到同樣的情況。在 1 大氣壓下，水於 100°C 時沸騰，1 公克的水要自周圍吸收 539 卡的熱。這稱爲水的汽化熱。大約是酒精汽化熱的八倍。

反過來，水蒸汽凝結成水，或水凝固成冰，也會放出 539 或 80 卡的熱量。

水的另一個不尋常的特性是其冰點與沸點。經調查氫與硒或碲等與氧爲同一族的元素之化合物，得知其分子量與冰點、沸點之間，有某種法則的存在。即分子量愈大，冰點或沸點愈高（表四）。

表 4 氫化合物的分子量與沸點、冰點的相互關係

氫 化 合 物	分子量	溫 度 (°C)	
		冰 點	沸 點
H ₂ Te (碲化氫)	130	-51	-4
H ₂ Se (硒化氫)	81	-64	-42
H ₂ S (硫化氫)	34	-82	-61
H ₂ O (氧化氫)	18	0 !	+100 !

水的另一特性，是其密度隨溫度而改變的情形。所有的物質（除錫、鉍之外）是隨溫度上昇而膨脹，因此密度會減小。水在溫度 4°C 以上時，與其他物質相同，隨溫度上昇而體積增加，密度減小。但是，在 4°C 至 0°C 的溫度間，則隨溫度的下降，密度再度減小，體積增大。而在 0°C 凝結成冰時，冰的體積較水的體積大約增加了百分之十。因此冰的密度比水為小。

水的這個特點極為重要。假如無此不尋常性，則冰不會浮於水上，而冬天的湖水必凍結至湖底，水生的動植物難逃悲慘的結局。

水尚有另外許多不尋常性。例如，水的體積膨脹係數，在 0°C 至 45°C 之間，隨壓力增加而增加，但是其他物體則相反。又導熱度、介電常數與壓力的相互關係

，與擴散係數等，其他多數性質上，水都與衆不同。

水的構造

到底這種不尋常性應如何說明？這個解釋，唯有待下列的研究了。即探究，在溫度、壓力或受其他條件支配下，水的各種形態中，水分子所形成的構造特徵。

遺憾的是，目前尚無一致的解釋。現在的大部份研究者，持有水的二種結構模型。一是，脆的、多孔的、與冰相似的結構，二是，密集的結構的混合物。

又，冰的結晶，屬於晶系中的六方晶系。即成六面稜鏡的形狀。在冰的構造中，各自的水分子，以最接近的四個分子圍住，而其四個水分子均爲等距離。然而，在離子結晶上，即一個離子與其他幾個離子的結合可以決定時，則其數稱爲配位數（Coordination number）即各個水分子，具有配位數。

水分子是以帶正電的極與帶負電的極接觸的方式配置。分子間的距離，在磷硅石型的冰的構造下，是 $4.5 \text{ \AA}$ ，而在石英型冰的構造下，爲 $4.20 \text{ \AA}$ 。前者，是在溫度約 0°C 的正在溶解中的冰，而後者，可認爲溫度約爲 4°C 下，水的分子較密時的構造。

結冰時的約 10 % 的不可思議的膨脹，似乎可用緊密的構造急激轉移至格子狀的多孔性的構造中，加以說

明之。冰的構造，雖因配位數小，而生許多孔隙，而這些孔隙較分子本身似乎要多。各個孔隙周圍有六個水分子，而相反地，每個水分子的周圍，有六個孔隙。

溫度在約 4°C 時，這些孔隙被水的「自由」分子所填滿，使密度變大。若溫度再繼續上昇，則再度逐漸發生孔隙多的格子狀構造。隨溫度上昇，分子的熱運動增大的結果，冰的構造逐漸崩潰，氫的結合變弱，磷硅石型的冰的構造崩潰加速，水的密度減小，而其體積則變大。

一般液體的構造，尤其是水，吾人要強調較固體或氣體更為複雜。其性質極為複雜，至今未能完全明瞭。

反常的水

一九六二年，在蘇聯的科斯托羅馬市，發現與同位素不同的，化學上純粹的新種類的水。這就是使用石英製的毛細管、或石英板，而由普通的水所製造成的，所謂反常的水（變態水）。

此水是在毛細管中獨立獲得，其性質是較通常的水蒸汽壓低，而密度則高 40%，黏度與膨脹係數大數倍。此黏度高的新的反常水，是由通常的水，經蒸汽凝結時，在石英土採得者。

反常水，在蘇聯雖僅獲得 1 毫克的數分之一的量，

但此研究正在德里銀科學學院，準會員的指導下進行。

這種反常水，具有高穩定性，在毛細管外，與其內，有相同的作用。且連在溫度為負 50°C 時，也保持液狀，並不結冰。

這種新種類的水，不與通常的水混合，而會與其形成懸乳液。反常水不會結晶，而與玻璃相同，為非晶形的物質。又，因其發生的謎未明，故現在世界上的學者正加強展開研究之中。

不管如何，反常水的發生，似乎不能以構造上的特徵說明。反常水，在蘇聯以外，又稱超水—— Super water。

水的“記憶力”

最近水存有被稱為“記憶力”或“履歷”一事，由勒特尼可夫與科西捷華所發現。即，蒸溜又蒸溜的重複蒸溜過的極為純化的水，在 1 大氣壓、88 大氣壓、390 大氣壓、800 大氣壓下，加熱至 200°C 、 300°C 、 400°C 、 500°C 的溫度。一般，溫度與高壓會變化水的性質，已如前述，但令人驚奇的是，除去高溫與高壓之後，有某幾種新的性質，殘留於其水中。譬如，溶解某種鹽的能力，竟高達四倍。

磁化水

前已指出，由於磁場的作用，會改變水的一連串性質。磁場的作用愈強，水愈發生大的變化。強的磁場若強度變化時，則氫離子(H^+)的濃度增加二倍，進而，水的表面張力增加三倍等等，即為其例。

磁場進而對於溶於水中的鹽，其結晶化的速度與性質發生作用。水的磁化處理，可減少鍋爐中的水垢，減少對固體表面的水的附着力，變更沸點與黏度，加速膠體狀溶液的沈積速度，或過濾作用，或水泥的凝固作用，變化感磁性。

磁場雖可根本改變濃縮溶液中的水合熱（無水物變為水合物時的反應熱）（5%），這對地下的鹽水而言，極為重要。

但是，磁場對純水，也即，溶液中缺乏電解質的水，不發生作用。水被磁化時，在 H_2O 分子中，在原子核的自轉（Spin）的方向會起變化。

磁化水，更與剛融解的水同樣，具有“記憶力”。且這種新的特性，持有維持約一日夜的“半衰期”。根據多次觀察所確定，融解而來的水，在融解之後，在某一定時間內，具有高的生物學上的活力。根據韃靼共和國卡山的生化之工程學家們的數據，則磁化水與融解水