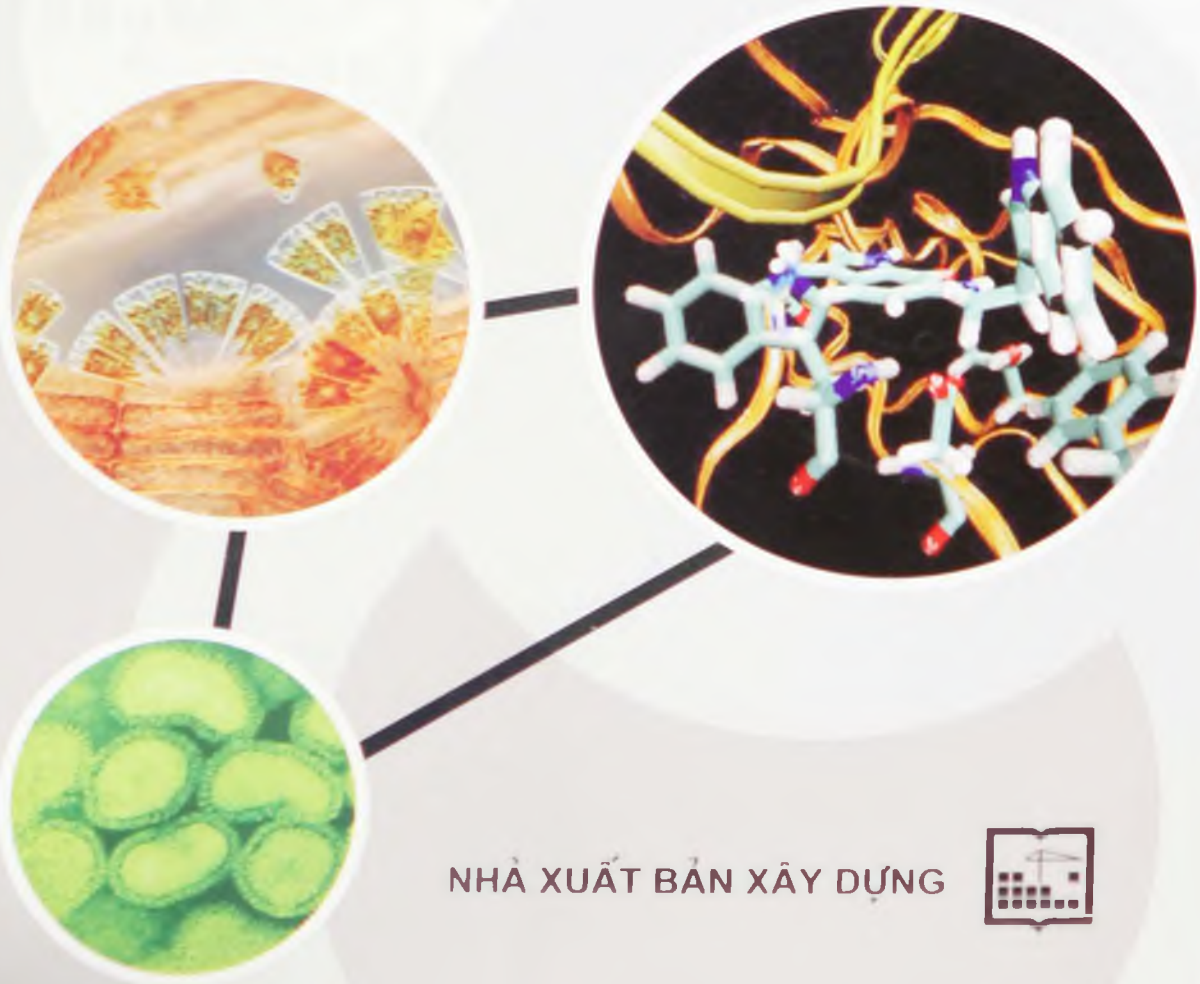
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI
VŨ MINH ĐỨC

HÓA HỌC VI SINH VẬT HỌC NƯỚC



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI
VŨ MINH ĐỨC

HÓA HỌC VI SINH VẬT HỌC NƯỚC

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2011

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI
VŨ MINH ĐỨC

HÓA HỌC VI SINH VẬT HỌC NƯỚC

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2011

LỜI NÓI ĐẦU

Trong sự nghiệp công nghiệp hóa - hiện đại hoá đất nước phát triển sản xuất và nâng cao đời sống là vấn đề được Nhà nước quan tâm. Để thực hiện tốt vấn đề này, một trong những nhiệm vụ cần phải giải quyết đó là cung cấp nước đầy đủ với chất lượng đảm bảo và làm sạch toàn bộ nước thải đủ điều kiện xả ra nguồn tiếp nhận. Vì vậy phải xử lý nước thiên nhiên, xử lý nước thải và vệ sinh môi trường một cách tốt nhất.

Với ý nghĩa đó cuốn sách ***"Hóa học và vi sinh vật học nước"*** *được biên soạn nhằm cung cấp những kiến thức cơ bản về các quá trình hoá học và vi sinh vật học xảy ra trong các công trình xử lý nước thiên nhiên và xử lý nước thải. Mục đích của cuốn sách biên soạn dùng làm tài liệu giảng dạy cho sinh viên chuyên ngành Cấp thoát nước và Môi trường, tài liệu tham khảo cho cán bộ kĩ thuật làm việc trong lĩnh vực công nghệ xử lý nước và môi trường nước.*

Nội dung của cuốn sách gồm 2 phần:

Phần I: *Hoá học nước*

Bao gồm 14 chương giới thiệu các quá trình hoá học và ứng dụng trong công nghệ xử lý nước thiên nhiên và nước thải.

Phần II: *Vi sinh vật học nước*

Bao gồm 7 chương giới thiệu các quá trình vi sinh vật học và ứng dụng trong công nghệ xử lý nước thiên nhiên và nước thải.

Tác giả xin chân thành cảm ơn TS. Trịnh Xuân Lai - Hội cấp thoát nước Việt Nam, GS. TS Hoàng Văn Huệ, TS. Vũ Văn Hiểu, TS. Mai Liên Hương, TS. Trần Thanh Sơn và tập thể giảng viên Bộ môn Cấp nước, Bộ môn Thoát nước Khoa Kĩ thuật hạ tầng và Môi trường đô thị - Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội đã đọc, đóng góp ý kiến trong quá trình biên soạn cuốn sách.

Lần đầu biên soạn, cuốn sách không tránh khỏi những thiếu sót. Tác giả rất mong nhận được những ý kiến đóng góp của độc giả.

Tác giả

Phần I

HOÁ HỌC NƯỚC

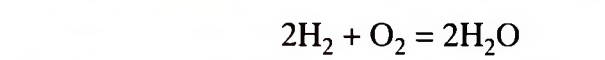
Chương 1

NƯỚC VÀ DUNG DỊCH

1.1. NƯỚC

1.1.1. Thành phần của nước

Nước là một hợp chất rất bền. Khi đun nóng nước sôi và chuyển thành hơi, hơi này không bị phân tích ngay cả ở nhiệt độ 1000°C. Khi làm lạnh hơi lại trở về thể lỏng, nếu hạ nhiệt độ của nước xuống nữa thì tạo ra nước đá và khi đá chảy ra lại cho nước lỏng. Vì vậy trong một thời gian dài người ta coi nước là một đơn chất. Năm 1784 G. Kavanđich đã điều chế được nước bằng cách đốt cháy hỗn hợp hiđrô và ôxi:



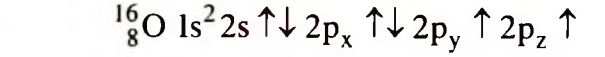
$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

Khi một phân tử gam ôxi tương tác với 2 phân tử gam hiđrô sẽ tạo ra 2 phân tử gam nước. Hỗn hợp ôxi và hiđrô lấy theo tỉ lệ thể tích 1:2, cháy có kèm theo hiện tượng nổ với lực lớn.

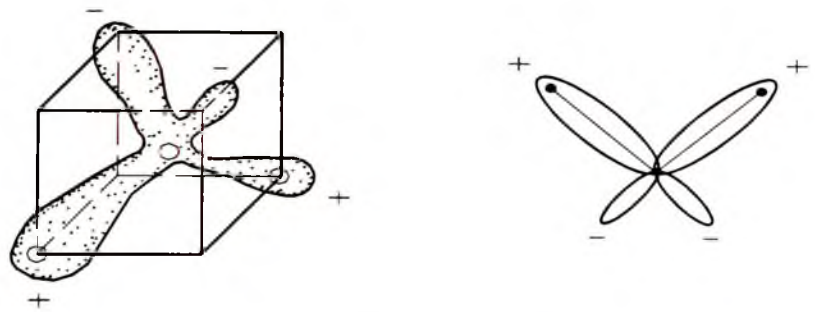
1.1.2. Cấu tạo phân tử nước

Sự liên hợp những phân tử nước xảy ra là do có sự tạo thành những liên kết hiđrô giữa các phân tử nước. Khả năng tạo ra liên kết hiđrô gây nên bởi cấu tạo, kích thước của các nguyên tử ôxi và hiđrô.

Ôxi nằm trong nhóm VI của Hệ thống tuần hoàn D.I Menđêlêep, số thứ tự là 8 ở mức năng lượng ngoài cùng trong nguyên tử ôxi có 6 điện tử, 4 trong số này đã ghép đôi.



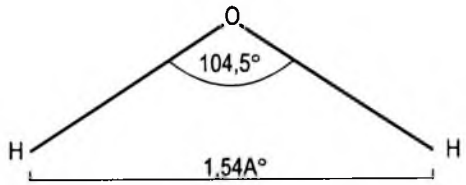
$$^{16}_{8}O\ 1s^2 2s \uparrow\downarrow 2p_x \uparrow\downarrow 2p_y \uparrow 2p_z \uparrow$$



Hình 1.1: Cấu trúc đám mây điện tử trong phân tử nước

Hai điện tử độc thân (không ghép đôi) thuộc 2 obitan nguyên tử -2p của nguyên tử ôxi tạo với 2 obitan nguyên tử -1s của 2 nguyên tử hiđrô, đây là liên kết cộng hoá trị phân cực. Liên kết cộng hoá trị có tính định hướng trong không gian và phát sinh ở những xen phủ cực đại của các đám mây điện tử. Vì các obitan nguyên tử -p định hướng trong không gian dọc theo những trục toạ độ thẳng góc với nhau nên phân tử nước có cấu tạo góc (hình 1.1).

Hạt nhân của các nguyên tử hiđrô và ôxi trong phân tử nước lập thành một tam giác cân mà đỉnh là hạt nhân nguyên tử ôxi, còn ở hai chân là hai hạt nhân hiđrô. Độ dài của mỗi liên kết O-H là 0,96A° và khoảng cách giữa các hạt nhân hiđrô là 1,54A°. Góc liên kết giữa H-O-H là 104,5° (hình 1.2).

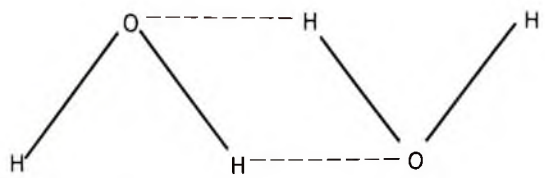


Hình 1.2: *Cấu tạo phân tử nước*

Mật độ điện tử chuyển dịch từ hai nguyên tử hiđrô tới nguyên tử ôxi có độ âm điện lớn hơn, do đó các nguyên tử hiđrô mang điện tích dương. Hai cặp điện tử không chia của nguyên tử ôxi vẫn còn một phần chưa sử dụng. Vì vậy phân tử nước có hai cực điện tích dương và hai cực điện tích âm.

Các nguyên tử hiđrô phân cực dương có thể lọt vào vỏ điện tử của nguyên tử ôxi phân cực âm không lớn. Như vậy mỗi phân tử nước có thể tạo ra bốn liên kết hiđrô, nhờ hai cặp điện tử không liên kết (không chia) của nguyên tử ôxi và hai nguyên tử hiđrô phân cực. Vì vậy phân tử nước do sự có mặt của liên kết hiđrô không phân bố tuỳ tiện ở trạng thái lỏng và rắn mà tạo ra một cấu trúc xác định.

Vì năng lượng liên kết hiđrô khá nhỏ (8 - 40kJ/mol) so với năng lượng liên kết cộng hoá trị giữa các nguyên tử hiđrô và ôxi (457,7kJ/mol) nên khi thay đổi nhiệt độ và áp suất có thể xảy ra sự phá huỷ và sự tạo thành những liên kết hiđrô mới. Nguyên tử ôxi của mỗi phân tử nước ở trạng thái rắn tạo ra bốn liên kết, hai cộng hoá trị do sự tham gia của hai điện cực độc thân và hai liên kết hiđrô nhờ hai cặp điện tử không chia. Vì có sự liên hợp phân tử nên các phân tử nước không ở dạng đơn phân tử (H_2O) mà ở dạng đa phân tử $(H_2O)_X$ với x = 2, 3, 4... Sự thay đổi này phụ thuộc vào nhiệt độ, nhiệt độ càng cao x càng nhỏ. Ở nhiệt độ cao nước mới ở dạng đơn phân tử (H_2O) (hình 1.3).



Hình 1.3: *Sự liên hợp phân tử nước*

1.1.3. Tính chất lý học của nước

- Nước tinh khiết không có màu (lớp mỏng), không mùi, không vị.

- Nước là hợp chất duy nhất trên hành tinh, trong những điều kiện về nhiệt độ, áp suất của khí quyển tồn tại đồng thời ở cả ba trạng thái tập hợp: rắn, lỏng, hơi.

- Khối lượng 1 m*l* nước được lấy làm đơn vị khối lượng và bằng 1 gam.

- Nước tinh khiết có các chỉ tiêu vật lý sau:

+ Độ dẫn điện riêng ở 18°C	$4,3\times10^{-8}\Omega^{-1}cm^{-1}$
+ Nhiệt độ đông đặc ở áp suất 760mmHg	0,0°C
+ Nhiệt độ sôi ở áp suất 760mmHg	100,0°C
+ Hằng số điện môi: Ở 0°C	88,3
Ở 18°C	81

+ Độ dẫn nhiệt 0,00143 kcal/cm.s.°C

- Độ dẫn nhiệt của nước rất nhỏ so với độ dẫn nhiệt của các chất khác, do đó tỉ nhiệt của nước lớn nên nước thường dùng làm chất tải nhiệt.

- Nước có tỉ nhiệt lớn nhất so với tất cả các chất rắn và chất lỏng. Vì vậy mùa đông nước lạnh chậm, mùa hè nước nóng chậm nên nước là chất điều chỉnh tự nhiên nhiệt độ trên trái đất.

- Ngoài ra nước tinh khiết có những tính chất mà các chất tự nhiên khác không có. Những tính chất đó được gọi là tính dị thường của nước:

+ Khi tăng nhiệt độ từ 0°C đến 4°C thể tích của nước không tăng mà lại giảm. Do đó tỉ trọng lớn nhất của nước không phải ở điểm đông đặc 0°C mà ở 4°C.

+ Khi đông đặc nước nở ra chứ không bị nén lại như các chất khác nên tỉ trọng giảm.

+ Nhiệt độ đông đặc của nước giảm khi áp suất tăng và không tăng nếu để lâu.

+ Tỉ nhiệt riêng của nước rất lớn so với tỉ nhiệt riêng của các chất khác.

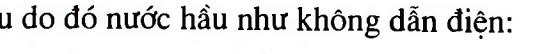
+ Nước có hằng số điện môi lớn nên nước có khả năng làm hoà tan và phân ly lớn so với các chất lỏng khác.

+ Nước có sức căng bề mặt lớn nhất trong tất cả các chất lỏng. Vì thế mà sức căng bề mặt quyết định chiều cao mà nước có thể nâng lên trong hệ thống mao dẫn.

- Nước có những tính chất dị thường trên vì phân tử nước có cấu trúc đặc biệt, nước có khả năng tạo thành những phân tử liên hợp $(H_2O)_X$.

1.1.4. Tính chất hoá học của nước

- Nước là một hợp chất rất bền trên 1000°C mới bị phân huỷ:



$$2H_2O \rightleftarrows 2H_2 + O_2 - 537,20 \text{ kcal}$$

- Sự điện ly của nước rất yếu do đó nước hầu như không dẫn điện:

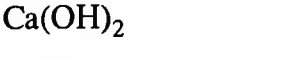
$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

- Nước có khả năng tham gia nhiều phản ứng hóa học, kết hợp được với một số oxít axít và oxít bazơ:

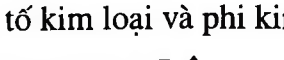
$$SO_2 + H_2O = H_2SO_3$$

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$$

- Nước phản ứng mãnh liệt với nhiều nguyên tố kim loại và phi kim:

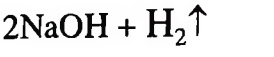


$$2Na + 2H_2O = 2NaOH + H_2\uparrow$$



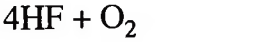
$$2F_2 + 2H_2O = 4HF + O_2$$

- Nước kết hợp được với các chất tan trong nước tạo thành hợp chất hyđrát:



$$CuSO_4 + 5H_2O = CuSO_4.5H_2O$$

- Nước tham gia phản ứng trao đổi với nhiều muối (phản ứng thuỷ phân).



$$Al_2(SO4)_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2SO_4$$

- Nước còn là chất xúc tác rất phổ biến, ví dụ như phản ứng tổng hợp HCl từ H_2 và Cl_2 phải có hơi nước làm xúc tác.

1.1.5. Nước nặng

Nước là hợp chất của hai nguyên tố hoá học hiđrô và ôxi. Cả hai nguyên tố này đều có một số đồng vị:

- Hiđrô có 3 đồng vị:
  + Prôti ^1H có khối lượng 1,007822 đ.v.C.
  + Đơtêri ^2H có khối lượng 2,014100 đ.v.C.
  + Tơriti ^3H có khối lượng 3,017000 đ.v.C.
- Ôxi cũng có 3 đồng vị:
  + ^{16}O có khối lượng 16 đ.v.C.
  + ^{17}O có khối lượng 17 đ.v.C.
  + ^{18}O có khối lượng 18 đ.v.C.

Nếu tính đến các đồng vị của ôxi và hiđrô kể trên thì nước có tới 36 biến thể đồng vị.

Nước mà trong thành phần có Đơtêri (D) gọi là nước nặng. Ví dụ: $D_2{}^{16}O$, $D_2{}^{17}O$, $D_2{}^{18}O$. Còn nước trong thành phần có Tơriti (T) gọi là nước siêu nặng. Ví dụ: $T_2{}^{16}O$, $T_2{}^{17}O$, $T_2{}^{18}O$.

Nước nặng được tạo thành khi điện phân nước thời gian dài, nước nặng rất khó bị điện phân.

Nước nặng khác với nước thường rất nhiều:

+ Nhiệt độ đông đặc: 3,8°C.
+ Nhiệt độ sôi: 101,38°C.

+ Tỉ trọng ở nhiệt độ 20°C: 1,059 kg/dm^3

+ Tỉ trọng lớn nhất khi ở 11°C.

Độ hoà tan của muối trong nước nặng thấp hơn trong nước thường. Nước nặng làm kìm hãm các quá trình sống trong cơ thể động, thực vật.

Nước siêu nặng có các hằng số gần đúng sau:

+ Nhiệt độ đông đặc: 9°C.

+ Nhiệt độ sôi: 104°C.

+ Tỉ trọng ở nhiệt độ 20°C: 1,33 kg/dm^3

1.2. DUNG DỊCH

1.2.1. Đặt vấn đề

Để giải quyết tốt việc làm sạch nước thiên nhiên và nước thải chúng ta phải làm quen với lý thuyết dung dịch. Nghiên cứu phần này giúp chúng ta hiểu được các quá trình xảy ra giữa các chất khác nhau trong nước, xác định được thực chất sự nhiễm bẩn trong các trường hợp cụ thể, đánh giá đúng các loại nước khác nhau, qua đó chọn phương pháp làm sạch nước đảm bảo các yêu cầu về kỹ thuật và kinh tế.

1.2.2. Các hệ thống phân tán

a) Định nghĩa

Một hệ gồm hai (hoặc nhiều) chất trong đó một (hoặc nhiều) chất ở dạng kích thước nhỏ phân bố vào trong chất kia thì hệ đó gọi là hệ phân tán. Chất được phân bố là chất phân tán (pha phân tán), còn chất trong đó có chất phân tán phân bố gọi là môi trường phân tán.

Tuỳ thuộc vào trạng thái tổ hợp các chất phân tán và môi trường phân tán sẽ có các hệ thống phân tán sau:

TT	Chất phân tán	Môi trường phân tán	Ví dụ
1	Khí	Khí	- Khí quyển
2	Lỏng	Khí	- Mây
3	Rắn	Khí	- Khói
4	Khí	Lỏng	- Ôxi hoà tan trong nước
5	Rắn	Lỏng	- Muối hoà tan trong nước
6	Lỏng	Lỏng	- Rượu trong nước
7	Khí	Rắn	- Hiđrô trong Platin
8	Lỏng	Rắn	- Thuỷ ngân trong vàng
9	Rắn	Rắn	- Hợp kim

Như vậy có chín hệ phân tán khác nhau. Tuy nhiên quan trọng nhất đối với chuyên ngành làm sạch nước là những hệ phân tán mà môi trường phân tán là chất lỏng.

b) Phân loại

Tính chất của hệ phân tán trước hết là tính bền phụ thuộc vào kích thước của pha phân tán. Dựa vào kích thước, hệ phân tán được phân loại như sau:

- Các hạt phân tán có kích thước lớn hơn rất nhiều so với kích thước phân tử ($d > 1.10^{-4}$mm) hệ phân tán không bền, các pha phân tán có thể bị lắng xuống hoặc nổi lên. Hệ như thế được gọi là hệ phân tán thô. Nếu pha phân tán là chất rắn thì hệ phân tán thô gọi là huyền phù. Nếu pha phân tán là chất lỏng thì hệ phân tán thô được gọi là nhũ tương.

- Các hạt phân tán có kích thước phân tử ($d < 1.10^{-6}$mm) giữa pha phân tán và môi trường phân tán không có bề mặt phân chia, hệ hoàn toàn bền. Hệ phân tán đó được gọi là dung dịch thật (hoặc dung dịch phân tử) và gọi tắt là dung dịch. Đối với dung dịch chất phân tán gọi là chất tan, môi trường phân tán gọi là dung môi.

- Các hạt phân tán có kích thước nằm giữa hai loại trên (1.10^{-6}mm $< d < 1.10^{-4}$mm) thì hệ được gọi là hệ keo hoặc dung dịch keo.

- Trong thực tế các dung dịch quan trọng nhất là dung dịch lỏng, đặc biệt dung dịch có dung môi là nước.

- Đối với trường hợp chất khí hoặc chất rắn hoà tan vào chất lỏng thì chất khí, chất rắn luôn được gọi là chất tan, chất lỏng luôn được gọi là dung môi.

- Đối với trường hợp chất lỏng hòa tan vào chất lỏng thì khái niệm về dung môi phức tạp hơn. Nếu sự hoà tan của chất lỏng này vào chất lỏng kia có mức độ thì dung môi sẽ là chất lỏng nào mà khi thêm dung dịch bão hoà không làm mất tính đồng thể của dung dịch. Nếu sự hoà tan của chất lỏng này vào chất lỏng khác là vô hạn, thì dung môi sẽ là chất lỏng nào có thành phần lớn hơn. Qua đó có thể định nghĩa dung dịch như sau:

"Dung dịch là hệ một pha nhiều cấu tử mà thành phần của nó có thể biến đổi trong một giới hạn nhất định".

1.2.3. Quá trình hoà tan

a) Khái niệm

- Quá trình hoà tan là quá trình phân bố các phân tử chất tan vào dung môi đó là quá trình lý học, ngoài ra còn quá trình kết hợp giữa các phân tử chất tan và phân tử dung môi đó là quá trình hoá học.

- Quá trình lý học thường đòi hỏi tiêu tốn nhiệt lượng $q_1 (q_1 < 0)$. Còn quá trình hoá học giải phóng ra nhiệt lượng $q_2 (q_2 > 0)$, nhiệt hoà tan sẽ là tổng cộng hai nhiệt lượng trên:

$$Q = q_1 + q_2 \qquad (1\text{-}1)$$

Tuỳ trị số tuyệt đối của q_1 và q_2 mà nhiệt hoà tan Q có trị số dương ($Q > 0$) hoặc có trị số âm ($Q < 0$), có nghĩa là quá trình hoà tan sẽ phát nhiệt hoặc thu nhiệt.