

高等医药院校教材

生物物理化学

鲁纯素 侯新朴 编著

北京医科大学
中国协和医科大学 联合出版社

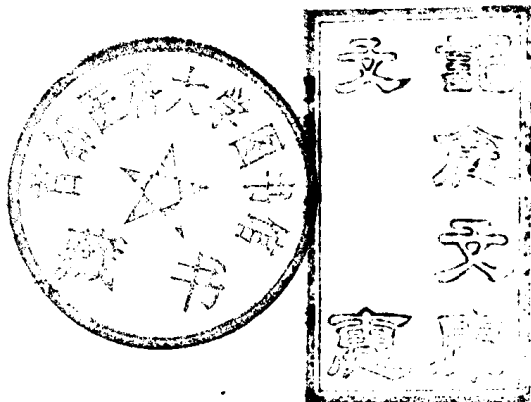
Q67
LCS

Y13156

高等医药院校教材

生物物理化学

鲁纯素 侯新朴 编著



A0278221

北京医科大学
中国协和医科大学 联合出版社

(京)新登字147号

图书在版编目(CIP)数据

生物物理化学/鲁纯素, 侯新朴主编. —北京: 北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社, 1994.

ISBN 7-81034-289-4

I. 生… II. ①鲁… ②侯… III. ①生物化学: 物理化学
②物理化学: 生物化学 IV. Q67

北京医科大学联合出版社出版发行
中国协和医科大学

(100083 北京学院路38号 北京医科大学院内)

密云华都印刷厂印刷 新华书店经销

* * *

开本787×1092 1/16 印张 12.875 字数 321千字

1994年8月第1版 1994年8月北京第1次印刷 印数 1—2000册

定价: 7.40元

前 言

自1984年以来，在物理化学基础上，结合生物体系研究其物理化学特性的需要，开设了生物物理化学课程。此课程为我校药学院应用化学专业的本科生，及药物化学专业，生物物理化学研究方向的研究生的必修课程。课程内容主要是包括了生物大分子的物理化学性质，重点讨论了其热力学及动力学的特性，热力学部分主要是大分子溶液的热力学，大分子在溶液中的构象及性质的研究，动力学部分则重点讨论了酶的动力学特性以及反应机理的研究。

国外有关的生物物理化学的书，内容取材差异比较大，国内尚未见到相关教材，本书主要是结合我院培养目标的需要，并基于几年的教学实践和编写的生物物理化学讲义的基础上，完成此本教材。由于作者的水平所限，书中的错误和缺点在所难免，我们诚恳地希望使用此书的读者提出批评指正。

编者

1993.5.

目 录

第一章 生物大分子在水中的结构与功能	(1)
§ 1 分子间力	(1)
一、静电作用	(1)
二、范德华相互作用	(2)
三、氢键	(5)
§ 2 水溶液中分子相互作用	(6)
一、水的结构和性质	(6)
二、水溶液中分子的相互作用	(8)
§ 3 水溶液中蛋白质的结构与功能	(13)
一、蛋白质分子的结构等级和层次	(13)
二、稳定蛋白质构象的作用力	(13)
三、水溶液中蛋白质的结构与功能	(17)
四、蛋白质分子的变性	(21)
第二章 溶液中大分子的形态及热力学	(23)
§ 1 溶液中大分子链的柔性	(23)
一、分子的内旋转和链的柔性	(23)
二、影响大分子链柔性的因素	(24)
三、链段	(25)
§ 2 溶液中大分子的平均大小	(25)
一、平均末端距 $\overline{h_{av}}$	(25)
二、回转半径 R	(27)
三、线团密度及等效球体	(28)
§ 3 大分子溶液热力学	(29)
一、混合熵	(29)
二、混合热	(31)
三、混合自由能和化学位	(32)
§ 4 渗透压	(33)
一、大分子溶液渗透压	(33)
二、大分子电解质溶液的渗透压	(36)
第三章 溶液中大分子的动力性质	(38)
§ 1 扩散定律	(38)
一、Fick 第一定律	(38)
二、Fick 第二定律	(40)
§ 2 扩散系数的测定及影响因素	(40)

一、扩散系数的测定	(40)
二、影响扩散系数的因素	(42)
§ 3 布朗运动	(44)
§ 4 离心场中大分子的沉降	(45)
一、沉降速度	(46)
二、沉降系数	(46)
三、沉降平衡	(47)
第四章 大分子溶液的粘度	(50)
§ 1 粘度	(50)
§ 2 大分子溶液的粘度	(50)
§ 3 影响粘度的因素	(52)
一、不对称形态与溶剂化	(52)
二、电粘效应	(54)
§ 4 粘度的测定	(54)
第五章 溶液中大分子的光学性质	(58)
§ 1 Tyndall现象	(58)
§ 2 小质点的光散射	(59)
一、Rayleigh理论	(59)
二、涨落理论	(61)
§ 3 大质点的光散射	(65)
一、内干涉	(65)
二、散射函数	(65)
§ 4 光散射的测量及数据处理	(66)
一、光散射的测量	(66)
二、数据处理	(67)
第六章 溶液中大分子的电学性质	(70)
§ 1 电泳	(70)
§ 2 电泳技术	(71)
§ 3 在电场中分子的定向	(73)
一、介电常数	(73)
二、分子的极性	(74)
三、分子的极化	(74)
四、影响介电常数的因素	(76)
五、摩尔折射率	(76)
§ 4 分子偶极矩的测定	(77)
一、摩尔极化率与温度关系	(77)
二、比较摩尔极化率和摩尔折射率	(77)
第七章 液晶与生物结构	(80)
§ 1 液晶的分类	(80)

一、热致液晶	(81)
二、溶致液晶	(81)
三、高分子液晶	(85)
§ 2 液晶的特性	(86)
一、溶致液晶的相图	(86)
二、导电的各向异性	(88)
三、光学性质	(88)
§ 3 生物体的液晶结构和功能	(90)
一、生物体的液晶	(90)
二、液晶与生物功能	(91)
§ 4 脂质体——仿生物细胞的药物载体	(95)
一、脂质体载药	(95)
二、载药脂质体的稳定性	(95)
三、载药脂质体的靶向性	(98)
第八章 酶反应动力学的研究	(100)
§ 1 引言	(100)
§ 2 酶的特性	(100)
§ 3 酶的分类	(101)
一、氧化还原酶	(101)
二、转移酶	(101)
三、水解酶	(101)
四、裂解酶	(101)
五、异构酶	(101)
六、合成酶	(101)
§ 4 酶动力学的基本方程式	(101)
一、稳态动力学	(101)
二、实验基础	(102)
§ 5 酶反应机理的理论分析	(108)
一、简单双分子反应	(108)
二、简单的 $M-M$ 机理	(109)
§ 6 $M-M$ 方程的图解与表示	(111)
一、 $L-B$ 作图法	(111)
二、Eadie-Hofstee和Hanes图	(111)
三、Eisenthal和Cornish-Bowden图	(112)
四、可逆反应的Haldane关系式	(113)
五、King和Altman程序	(114)
第九章 前稳态动力学的研究及快速反应的测定方法	(118)
§ 1 前稳态动力学	(118)
§ 2 快速反应的研究方法	(120)

一、连续流动法	(121)
二、弛豫法	(123)
三、闪光法	(130)
四、核磁共振	(132)
第十章 影响酶催化反应速率的各种因素	(134)
§ 1 酶的抑制作用	(134)
§ 2 可逆抑制作用	(135)
一、竞争抑制作用	(135)
二、非竞争抑制作用	(139)
三、反竞争抑制作用	(142)
四、混合型抑制作用	(144)
五、部分抑制作用	(147)
六、底物抑制作用	(149)
七、别构抑制作用	(151)
§ 3 不可逆抑制作用	(153)
§ 4 酶的激活作用	(154)
一、金属离子对酶的激活作用	(154)
二、有机化合物对酶的激活作用	(156)
§ 5 化学振荡与生物钟	(157)
§ 6 温度对酶催化反应速率的影响	(160)
§ 7 pH对酶催化反应速率的影响	(161)
第十一章 多底物酶催化反应的动力学	(170)
§ 1 引言	(170)
§ 2 双底物反应的类型	(170)
一、乒乓机理	(171)
二、随机顺序机理	(171)
三、强迫顺序机理	(171)
§ 3 稳态动力学方程	(172)
一、Alberty通用速度方程	(172)
二、遵从通用方程机理的初级图	(173)
三、Dalziel的通用速度方程	(174)
四、用King和Altman方法可求出相应的速率常数(k)	(175)
§ 4 多底物动力学机制的鉴别	(176)
一、底物动力学法	(176)
二、同位素交换法	(177)
三、产物抑制动力学法	(179)
四、快速反应研究方法	(181)
第十二章 生物大分子相互作用的动力学研究	(184)
§ 1 多肽和蛋白的构象平衡	(184)

一、蛋白折叠的动力学研究	(184)
二、信息基团	(187)
三、复原过程的双项动力学研究	(188)
四、NMR 的研究	(189)
§ 2 核酸相互作用的动力学	(191)
一、单个碱基堆积的相互作用	(191)
二、单个碱基配对的相互作用	(193)
三、寡聚核苷酸二聚体的形成	(194)
四、寡核苷酸碱基配对动力学的分析	(195)

第一章 生物大分子在水中的结构与功能

§1 分子间力

一切生物大分子和超分子结构都是在水介质中发挥其功能,若用物理化学的术语来描述生物活性,则生物大分子和水环境的相互作用是决定因素,换句话说,讨论生物大分子的结构与功能必须包括周围水介质与大分子的相互作用。分子间相互作用包括离子间力、氢键、范德华力及疏水作用力等。目前,我们对分子间相互作用的认识远非完全,只是对一些简单模型才能得出定量结果,因此,分子间相互作用还只是一定性或半定量的水平,但即使这样一个基础,大分子间相互作用的研究具有重要理论和实际意义。

一、静电作用

两个相距为 r 的质点,它们之间的相互作用力 F 与相互作用势能 u 的关系为:

$$F = - \frac{du}{dr} \quad (1.1)$$

若人为地确定 $r = \infty$ 处静电势能为零,则势能的数值等于两质点自 r 分离至 ∞ 处所作的功

$$u = \int_r^{\infty} F dr \quad (1.2)$$

对于离子、极性分子等带电粒子,它们的分子间力主要是静电作用力,可以用库仑定律加以描述。

1. 离子——离子相互作用能:

依库仑定律,两个分别带有电荷为 q_1 和 q_2 的点电荷,在真空中的静电作用力,可用下列公式表示

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.3)$$

若将带有电荷为 q_1 和 q_2 的两个离子近似地看作点电荷,则在真空中的静电作用势能可表示为

$$u = \int_r^{\infty} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} dr = \frac{q_1 \cdot q_2}{r} \quad (1.4)$$

如果处于介电常数为 ϵ 的介质中,上式为

$$u = \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r} \quad (1.5)$$

由式(3)可见,离子间静电力与距离平方成反比,它是一种长程力,盐类晶体中离子就是靠这种作用力牢固地结合在一起,但在水中,由于水的介电常数很大,静电力大为减弱,在水中使离子易于分散形成溶液。

2. 离子——偶极分子间相互作用:

当分子中正电中心与负电中心不重合时,称为极性分子(*polar molecule*),两中心相重合的分子称为非极性分子*non-polar molecule*。分子极性的大小用偶极矩 μ (*dipole moment*)表示,某些分子的偶极矩列在表(1-1)中

表1-1 某些分子的偶极矩(D)

分 子	μ	分 子	μ	分 子	μ
A	0	HBr	0.80	C ₂ H ₅ OH	1.70
H ₂	0	CHCl ₃	1.05	H ₂ O	1.84
N ₂	0	(C ₂ H ₅) ₂ O	1.18	HF	1.91
CO ₂	0	NH ₃	1.47	C ₂ H ₅ F	1.92
CH ₄	0	C ₆ H ₅ NH ₂	1.48	(CH ₃) ₂ CO	2.87
CCl ₄	0	C ₆ H ₅ Cl	1.55	C ₆ H ₅ COCH ₃	3.00
CO	0.10	C ₂ H ₅ SH	1.56	C ₂ H ₅ NO ₂	3.70
C ₂ H ₆	0.35	SO ₂	1.61	CH ₃ CN	3.94
C ₆ H ₅ CH ₃	0.37	CH ₃ I	1.64	CO(NH ₂) ₂	4.60
PH ₃	0.55	CH ₃ COOCH ₃	1.67	KBr	9.07

偶极矩的定向在计算离子与偶极间的相互作用中是应该考虑的,图(1-1)。当离子 q_1 与偶极分子 μ_2 相距为 r ,中心线与极轴的夹角为 θ 时,离子与偶极分子的相互作用能

$$u = - \frac{q_1 \mu_2 \cos \theta}{r^2} \quad (1.6)$$

可见相互作用能不仅决定于距离,还与空间取向有关。

二、范德华相互作用

当分子非常靠近时,产生分子间的吸引力称范德华力,其吸引能与距离六次方成反比,随距离增大很快衰减。范德华相互作用分为三类:

1. 偶极——偶极相互作用

是发生在具有永久偶极的分子之间,偶极之间定向力被热产生的紊乱作用相抵消,使偶极间的相互作用能对温度和距离都是敏感的,一对偶极矩间相互作用势能的平均值为

$$u = - \frac{2\mu_1^2 \mu_2^2}{3kTr^6} \quad (1.7)$$

式中 μ_1 、 μ_2 分别表示两种不同类分子的永久偶极矩, r 表示偶极矩间距离, k 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度。对于同类分子, $\mu_1 = \mu_2 = \mu$,所以

$$u = - \frac{2\mu^4}{3kTr^6} \quad (1.8)$$

上式指出,当温度升高,偶极子的取向更趋混乱,相互作用能数值减小。

2. 偶极——诱导偶极相互作用

非极性分子的正负电荷中心是重合的，但在外电场作用下，正负电荷中心向相反方向移动，分子被诱导产生偶极，称为诱导作用，如将外电场移去，诱导偶极矩自行消失，诱导偶极矩 μ' 与电场强度 E 成正比

$$\mu' = \alpha E \quad (1.9)$$

α 是比例常数，称作极化率，它是电子云在外电场作用下变形能力的度量，其单位是 cm^3 或 m^3 ，表(1-2)给出一些分子的平均极化率。不饱和键如 $\text{C}=\text{C}$ ， $\text{C}=\text{N}-$ ， $-\text{NO}_2$ ，苯基，

DNA中的碱基等都是高度可极化基，通常分子中的电子云越大越扩散，其极化率也越大。

表1-2 一些分子的平均极化率 ($\text{cm}^3 \times 10^{-24}$)

分 子	α	分 子	α	分 子	α
H_2	7.9	HCl	26.3	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	63.3
H_2O	15.9	CO_2	26.5	CHCl_3	82.3
Ar	16.3	CH_3OH	32.3	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	87.3
N_2	17.6	C_2H_2	33.3	CCl_4	105
CO	19.5	HBr	36.1	cyclo- C_6H_{11}	109
NH_3	22.6	SO_2	37.2	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CH}_3$	123
HF	24.6	Cl_2	46.1	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$	129
CH_4	26	HI	54.4	$n\text{C}_7\text{H}_{16}$	136

诱导作用可发生在极性分子与非极性分子之间，也发生在极性分子之间，极性分子相互极化，同样能产生诱导作用。分子间诱导相互作用能为

$$u = \frac{\alpha_1 \mu_2^2 + \alpha_2 \mu_1^2}{r^6} \quad (1.10)$$

式中 α_1 、 α_2 表示分子(1)、(2)的极化率， μ_1 、 μ_2 表示分子(1)、(2)的永久偶极矩。对于同类分子，上式化为

$$u = \frac{2\alpha\mu^2}{r^6} \quad (1.11)$$

注意上式与式(9)不同，它与温度无关，这是因为诱导偶极矩在瞬间发生，对分子热运动的影响不敏感。

3. 诱导偶极——诱导偶极相互作用

前述的各种相互作用中至少有一种是带电离子或永久偶极，非极性氮、氢能被凝结，存在于它们之间的吸引力是哪种类型？通常说氮电子云的电荷密度是球形对称，意思指在一段时间内的平均值，但在某一瞬间，由于原子的碰撞，使电子云不同程度的偏离球形对称，由此，瞬间引起的暂时偶极仍能对其相邻原子产生诱导偶极，这样就产生了相互吸引力，称为色散

力。色散力不仅发生在非极性分子之间，也发生在极性分子之间以及极性分子与非极性分子之间，它是普遍存在的。色散力是弱的分子间引力，氮的沸点为4K，说明在液态氮中使原子联系在一起的力是很弱的，然而对于具有高度极化率的分子，这种相互作用有时甚至大于偶极——偶极，偶极——诱导偶极相互作用。不同分子间的色散相互作用能为

$$u = -\frac{3}{2} \left(\frac{\alpha_1 \alpha_2}{r^6} \right) \left(\frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \right) \quad (1.12)$$

式中 α_1 、 α_2 分别表示分子(1)、(2)的极化率， I_1 、 I_2 表示它们的电离能， r 表示两个分子间的距离。对同类分子，上式为

$$u = -\frac{3}{4} \frac{\alpha^2 I}{r^6} \quad (1.13)$$

对于具有偶极矩 μ 和极化率 α 的同类分子，三种相互吸引能之和为

$$u_{\text{吸引}} = -\frac{1}{r^6} \left[\frac{2\mu^4}{3kT} + 2\alpha\mu^2 + \frac{3}{4}\alpha^2 I \right] \quad (1.14)$$

常简化为

$$U_{\text{吸引}} = -\frac{A}{r^6}$$

表(1-3)和(1-4)分别列出相同分子对与不同分子对的三种相互作用所占的比例。由表可见偶极矩小于1D时，静电作用的贡献可以不计，诱导作用的贡献一般都很小，而色散作用既使对强极性物质如 NH_3 、 H_2O 、 $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ 也不可忽略。

表1-3 相同分子对的A值

分 子	偶 极 矩 (D)	A(erg·cm ⁶ × 10 ⁶⁶)		
		偶极静电作用	诱导作用	色散作用
CCl_4	0	0	0	1460
cyclo- C_6H_{12}	0	0	0	1560
CO	0.10	0.0018	0.0390	64.3
HI	0.42	0.550	1.92	380
HBr	0.80	7.24	4.62	188
HCl	1.03	24.1	6.14	107
NH_3	1.47	82.6	9.77	70.5
H_2O	1.84	203	10.8	38.1
$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	2.87	1200	104	486

表1-4 不同分子对的A值

分 子		偶极矩 (D)		A(erg·cm ⁶ ×10 ¹⁰)		
(1)	(2)	(1)	(2)	偶极静电作用	诱导作用	色散作用
CCl ₄	cyclo-C ₆ H ₁₂	0	0	0	0	1510
CCl ₄	NH ₃	0	1.47	0	22.7	320
(CH ₃) ₂ CC	cyclo-C ₆ H ₁₂	2.87	0	0	89.5	870
CO	HCl	0.10	1.08	0.206	2.30	82.7
H ₂ O	HCl	1.84	1.08	69.8	10.8	63.7
(CH ₃) ₂ CO	NH ₃	2.87	1.47	315	32.3	185
(CH ₃) ₂ CO	H ₂ O	2.87	1.84	493	34.5	135

原子或分子间的引力势能随 r 减小而愈来愈负,但这种关系并不适合于分子间非常近的情况,图(1-2)画出了一对分子实际势能 U 与分子间距离 r 的关系,由图可见,当分子间距为 ∞ 时,势能为零,当分子相互接近,势能将随 r 减小,降至最低点后,两分子再靠近,势能曲线陡直上升,这说明,当两分子相互接近,以至电子云要重叠时,排斥力显著增强,完整的分子间相互作用应考虑斥力的贡献。排斥力没有像吸引力那样清楚,理论分析提示它对势能的贡献与 r 呈指数函数关系,表示为 $U_{\text{斥力}} = \frac{B}{r^n}$,其中 n 在8-16之间,说明排斥力是一种超短程力。

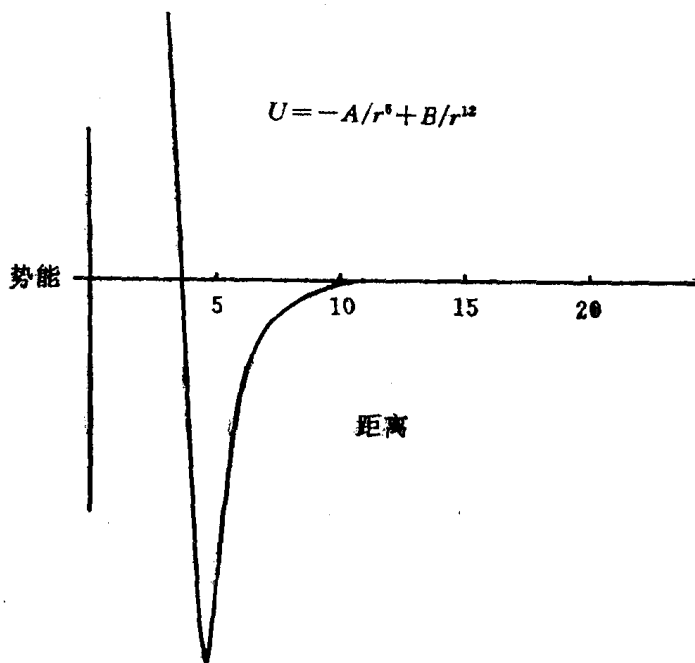


图1-2 势能与分子间距离关系

表(1-5)总结了各种类型的相互作用能及其大致数量级范围。

三、氢键

力表1-5 分子间作用

作用力的类型	与距离的关系	实 例	数量级 (千焦摩 ⁻¹)
共价键 ^a	无简单表示式	H—H	200—800
离子-离子	$\frac{e^2}{\epsilon r}$	Na ⁺ Cl ⁻	40—400
离子-偶极 ^b	$\frac{e\mu}{\epsilon r^2}$	Na ⁺ (H ₂ O) _n	4—40
偶极-偶极	$\frac{2\mu_1\mu_2}{3\epsilon r^3 kT}$	SO ₂ SO ₂	0.4—4
偶极-诱导偶极	$\frac{\alpha\mu^2}{\epsilon r^6}$	HCl C ₆ H ₆	0.4—4
色散力	$\frac{3}{4} \frac{I\alpha^2}{r^6}$	He He	4—40
氢 键	无简单表示式	H ₂ O...H ₂ O	4—40

当氢原子与电负性高的原子如氧、氮等共价结合，由于氧、氮的强电负性，使氢处于部分正电荷的状态，缺电子的氢将与另外的氧、氮的自由电子对结合，从而形成氢键，用A—H.....B表示这种作用力，这里A和B是电负性高的原子，而虚线表示氢键。

氢键的键能在-20至-30 kJ·mol⁻¹，是弱化学键，其强度随电负性增加而增加，随参与原子体积加大而减弱。氢键可在氢化物、胺、卤化氢、氰化物、氨等存在，尤其是水中氢键起着重要作用。水中氧原子两个2s电子和四个2p电子通过杂化形成sp³杂化轨道，其中两个与氢形成共价键，另外两个各具有一个电子，这四个轨道分别指向正四面体的四个顶点，绕氧原子以约104°键角的空间分布，见图(1-3)

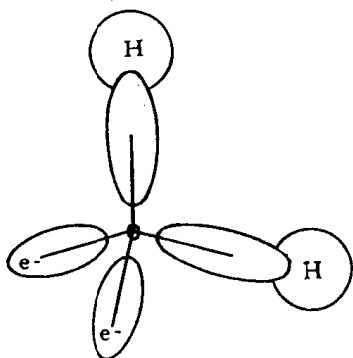


图1-3 水的分子轨道图示

氢键具有两个重要特征：

(1) 具有方向性：形成氢键的原子A—H...B一般都处于非常接近一直线的空间位置上，换句话说，氢供体A—H与氢受体B之间的夹角接近180°，A—H与B的相互作用只有当A—H...B在同一直线上时最强。

(2) 具有饱和性：一般地说，A—H只能和一个B原子相结合，因为H原子非常小，而A、B都相当大，若另一氢受体B'来接近，则B'受到A和B的排斥要比受到H的吸引大，所以A—H很难和两个氢受体结合。

§2 水溶液中分子相互作用

一、水的结构和性质

1. 冰的结构：

对液态水的真实结构仍是物理化学家争论的问题，但对结晶水——冰，已知有九种晶形，其中大部分只在高压下才是稳定的，在1大气压、273K下的冰是最常见的形式，见图(1-4)。如前所述，氢键结合的H₂O具有四面体的排布，其横截面构成六角形，见图(1-5)，类似于六

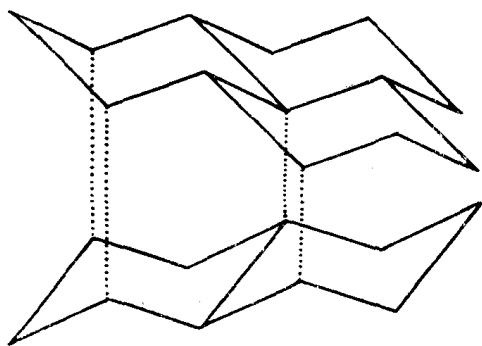


图1-4 在273K和1大气压下冰的结构

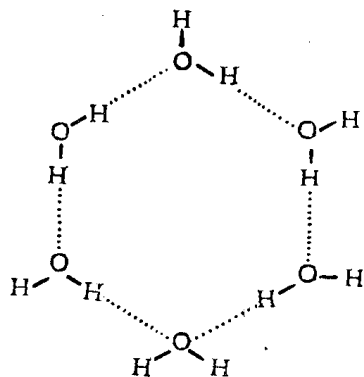


图1-5 氢键结合的水横截面成六角形结构

碳环烃的椅式构型， H_2O 分子六角形排布具有大量的空腔，其中可以填充小分子，例如单个 H_2O 分子，图(1-6)。

2. 水的结构

由于水的重要性，对水的结构提出了许多模型，虽然现有理论尚不能满意地解释所有观察到的水的性质，但已取得了良好的进展。

1933年伯纳尔(Bernal)和福勒(Fowler)提出在冰中发现的氢键也存在于水中，虽然不再有像冰那样有规则的三维网状结构。某些氢键断裂形成自由的单体水分子，这种单体 H_2O 占据冰状晶格中的空穴，这可说明为何水的密度较冰大，当温度上升时更多氢键断裂，同时分子动能增加，每个 H_2O 分子要占较大体积，使密度下降，结果在273.15K时密度最大。1950年波普尔(Pople)指出，当冰融化时实际上氢键很少断裂，只是水中氢键有了弯曲。

1952年波林(Pouling)指出，水的结构与某些烃与水的复合物相似，例 $\text{CH}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，和 $\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ，其中 CH_4 ， Cl_2 陷入冰状结构的内部空穴，这些复合物称为笼形物，只是在水的模型中， H_2O 分子代替外来分子。

1973年弗兰克(Frank)和温(Wen)提出类似不定簇状模型，他们假定笼形物不断地分裂和重新形成，其平均寿命约为 10^{-10} 秒数量级，见图(1-7)，这里每一个 H_2O 分子能与一至四

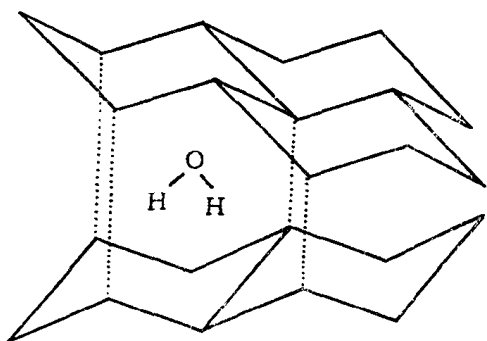


图1-6 小分子可插入到六角形排布的内部空腔中

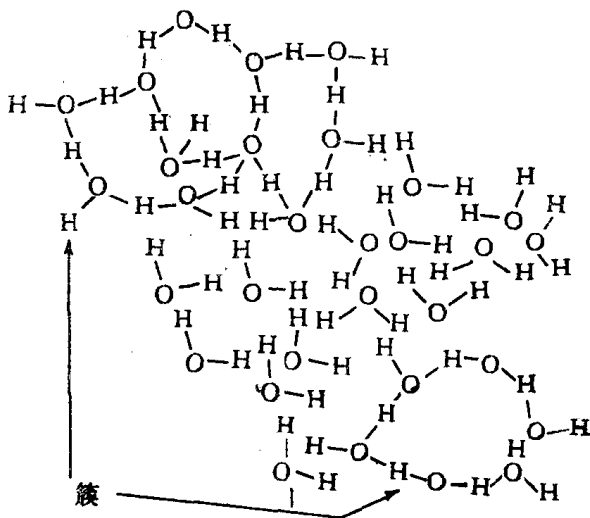


图1-7 液态水的分子模型，由氢键形成的簇

个 H_2O 形成氢键，有的分子甚至不成氢键，氢键的形成方式是协同的，即一个氢键的存在促进另一些氢键的形成，当一氢键断裂时，整个结构趋向解体。

3. 水的物理性质

由于 H_2O 分子的结构和相互之间的氢键，使水成为具有独特性质的液体，表现如下

(1) 在常用溶剂中水的介电常数最高，见表(1-6)，因此水是极性最强的溶剂，由于库仑力变弱，在水中相反电荷粒子间容易发生解离。

表1-6 一些纯液体在298.15K的介电常数

液 体	介电常数 (ϵ) ^a
H_2SO_4	101
H_2O	78.5
$(\text{CH}_3)_2\text{SO}$ (二甲基亚砷)	49
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ (丙三醇)	42.5
CH_3NO_2 (硝基甲烷)	38.6
$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ (乙二醇)	37.7
CH_3CN (乙腈)	36.2
CH_3OH	32.6
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	24.3
CH_3COCH_3	20.7
CH_3COOH	6.2
C_6H_6	4.6
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$	4.3
CS_2	2.6

^a介电常数是无量纲的数值。

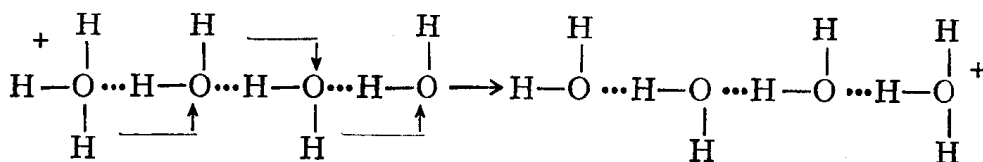
(2) 水有很高的热容：上升一度所需的热量高，这对生物体是有利的，细胞代谢活性要求合适的温度，不希望生物体温度有大的变化，若水的热容不高，海水不能有效载热，水生生物将受到深远的影响。

(3) 冰的蒸发热高：与有氢键的液体如乙醇、醋酸相似，水的蒸发热高，见表(1-7)，反之，无氢键的液体，如己烷蒸发热较低，正因此，出汗是降低体温的有效方法。

(4) 在标准状态，水的密度较冰高，这意味着冰在水中浮起，若不是这样，冬季湖水没有冰保护层，湖中的生物不能维持生命。

(5) 水的表面张力高：生物组织需要些表面活性剂来调节表面张力，例如表面活性剂的存在显著降低了肺泡张开呼吸得以进行所需要的功，缺少这种表面活性剂将导致若干呼吸疾病和死亡。

(6) 水有较高的电导：虽然冰的解离常数较水低1000倍，但冰像水一样电导也是高的，这并不是质子从溶液一端迁向另一端，而是由于水中分子间氢键形成有序结构，使质子可在水分子间迅速转移，电荷运载以“编队”的机制传递，如图式



二、水溶液中分子的相互作用