激光与生命科学

王惠文　编著

北京理工大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 简 介

本书的特点是涉及知识面广，除讲述有关的基本概念和基本原理之外，还大量介绍了激光在生命科学诸领域的最新应用和前沿课题，以及用于医学诊断和医疗的集机、光、电、算于一体的激光仪器。本书是作者在多年讲授"激光与生命科学"课程的讲义基础上编写的。全书内容分为四个部分。第一部分介绍生命与生命科学、光与生命的基本知识。第二部分介绍有关激光与激光技术的基本概念和基础知识。第三部分介绍激光与生物组织的作用。第四部分介绍激光在生物工程、育种、医学诊断和医疗方面的应用。

本书可作为理工科本、专科大学生扩大知识面、了解激光与生命科学领域基本知识的选修课教材。也适合于医、农、牧等本、专科大学生选修学习。还可共有关专业技术人员和从事激光医疗的医务人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

激光与生命科学/王惠文编著 —北京：北京理工大学出版社，1995

ISBN 7-81045-041-7

Ⅰ.激… Ⅱ.王… Ⅲ.激光-应用-生命-科学 Ⅳ 01-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 10247 号

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路 7 号)

(邮政编码 100081)

各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

850×1168 毫米 32 开本 9 875 印张 254 千字

1995 年 8 月第一版 1995 年 8 月第一次印刷

印数：1—2000 册 定价：6 90 元

※图书印装有误，可随时与我社退换※

出版说明

遵照国务院国发[1978]23号文件精神，中国兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵总教材编审室成立以来，在广大教师的积极支持和努力下；在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下，已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务。共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革、提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要，特别是国防现代化培养人才的需要，反映国防科技的先进水平，达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求，我们以提高教材质量为主线，完善编审制度、建立质量标准、明确岗位责任，制订了由主审人审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点，成立了十个专业教学指导委员会，以更好地编制兵工类专业教材建设规划，加强对教材的评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材，全面提高质量，适当发展品种，力争系统配套，完善管理制度，加强组织领导”的“八五”教材建设方针。兵总教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上，于1991年制订了1991～1995年兵工类专业教材编写出版规划。共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的，专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查，认为符合兵工专业培养人才要求，符合国家出版方针，为促进兵工类专业科学

技术的发展，都将起到积极的作用。

本教材由北京理工大学李迺吉教授主审，经中国兵器工业总公司夜视及激光技术专业教学指导委员会复查，兵总教材编审室审定。

限于水平和经验，这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处，希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司教材编审室

前　言

光是地球上一切生命的主要能量来源，没有光不可能产生和存在生命物质。光在生命的起源与进化、生物结构形态的变异与功能发展中起着不可或缺的作用。激光作为当今亮度最高、颜色最纯、方向性最好的相干光源更与生命科学结下不解之缘。激光问世不久即应用于生命科学的研究中。激光在细胞学、胚胎学、遗传学、生物学与生物工程、医学与医学工程等生命科学领域中得到越来越广泛的应用。激光作为生命科学领域的独特的研究工具，使生命科学的许多领域取得突破性进展，甚至蘖生出新的学科或学科分支。同时，激光在生命科学领域的广泛应用也推动着激光技术本身的长足发展，全世界每年研究、生产的激光设备中用于生命科学领域的数量最大，品种最多。

随着科学技术的发展，激光与生命科学的研究成果不断向其他学科领域辐射。理工科乃至医科大学生了解和掌握一些激光与生命科学的基本知识是十分有益的。作者自 1987 年开始，多次在北京理工大学本科生中讲授《激光与生命科学》选修课，受到学生们的欢迎和好评。

本书是在 1990 年和 1992 年两次编印的《激光与生命科学》讲义基础上增删、重新编排而成的。在编写过程中参考引用了国内外大量有关激光与生命科学的著作和论文。为简便起见，各章主要参考文献列于书后，不在论述处一一注明出处。在此，对本书所引用论著的作者表示谢意。

本书共分 8 章。前三章主要介绍生命与生命科学、激光与激光技术的基本概念和知识，第四章介绍激光与生命组织的作用，后四章分别介绍激光在生物工程、育种、医学诊断与医疗方面的应

需要全本请访问 www.ertongbook.com

用。

激光与生命科学涉及的学科范围很广，囿于作者的学识局限，书中不足甚至谬误处在所难免，诚求斧正。

李酉吉教授审阅了全书，在此表示最诚挚的感谢。

编　者

1994.12

目　录

第一章　生命与生命科学 …… (1)
§1.1　生　命 …… (1)
§1.2　生命之核——核酸碱基的结构 …… (10)
§1.3　遗传与变异 …… (20)
§1.4　光和生命 …… (28)
§1 5　生命科学 …… (34)
第二章　激光基础知识 …… (44)
§2 1　激光的基本物理特性 …… (45)
§2.2　激光产生的物理机制 …… (51)
§2 3　激光器 …… (62)
第三章　激光技术 …… (70)
§3 1　调Q技术 …… (70)
§3 2　锁模技术 …… (78)
§3 3　激光调制技术 …… (82)
§3 4　激光选模 …… (85)
§3 5　稳频技术 …… (88)
§3.6　激光束的聚焦与准直 …… (92)
第四章　激光生物效应 …… (99)
§4 1　生物物质结构及生物组织光学性质 …… (99)
§4.2　激光生物热效应 …… (112)
§4.3　激光生物光化效应 …… (118)
§4 4　激光生物机械效应 …… (128)
§4.5　激光生物电磁场效应 …… (138)
§4.6　激光生物刺激效应 …… (142)
第五章　激光生物技术 …… (150)
§5 1　激光基因工程 …… (150)

§5 2 激光细胞工程 …… (155)
§5 3 激光催陈技术 …… (158)
§5 4 激光提取技术 …… (165)
第六章 激光育种 …… (170)
§6 1 农业生物的激光育种 …… (170)
§6.2 激光育种的特点 …… (175)
§6.3 激光育种机理简析 …… (181)
§6.4 激光繁育 …… (190)
第七章 激光医学诊断与检测 …… (199)
§7.1 生物分子的激光荧光特性 …… (199)
§7.2 激光荧光光谱法 …… (204)
§7.3 激光多普勒散射技术 …… (212)
§7 4 激光散射喇曼光谱法 …… (218)
§7 5 激光散斑技术 …… (224)
§7 6 激光全息技术 …… (228)
§7 7 其他激光检测与诊断技术 …… (237)
第八章 激光医疗 …… (249)
§8.1 激光治疗方法 …… (249)
§8 2 激光治癌 …… (255)
§8 3 激光角膜矫正术 …… (260)
§8.4 激光治疗心血管症 …… (266)
§8.5 常用激光医疗仪器 …… (278)
§8.6 激光综合治疗仪 …… (291)
§8 7 激光在兽医疗中的应用 …… (294)
参考文献 …… (300)

第一章　生命与生命科学

§1.1　生　　命

一、生命的本质

生命是什么？其本质何在？这不仅是科学上的大问题，也是哲学上的大问题。自古以来，在这个问题上一直存在着唯物主义与唯心主义、辩证法与形而上学、科学与宗教的斗争。

形形色色的唯心主义者认为，生命的主导力量是超物质、超自然的，是某种神秘力量使非物质变成了生命物质。

随着社会的发展，科学的进步，人类已经逐步揭开生命的奥秘。19世纪30年代末期，科学界在发现细胞的基础上创立了细胞学说，50年代末期达尔文创立了进化论，20世纪20年代细胞遗传学的创立，30年代基因突变的发现，40年代遗传物质DNA和一个基因一种酶原理的发现，50年代后DNA分子结构的发现，蛋白质合成机制的揭示，各种氨基酸遗传密码的建立，遗传信息的传递，以及分子生物学、量子生物学的建立等等，都说明组成“生命”的生物体是由细胞组成的，而细胞内外的元素都是来自周围自然界里早已存在的元素，其中94%是普通元素氧(O)、碳(C)、氢(H)、氮(N)。由这些自然界里的元素组成的大分子和化合物相互间形成有机的相互联系、相互制约的整体，构成以核酸和蛋白质为主要成分的特殊的物质体系——原生质或蛋白体。正是这些原生质和蛋白体构成了生命的物质基础。生物体内的种种有机物，包括大分子在内，都可以通过化学途径来合成，根本不需要，也不存在

什么超自然、超物质的力量或因素。这就粉碎了各种唯心主义关于"生命"的种种神秘、不可知的论调。

只有坚持唯物辩证法才能正确地了解生命的本质。恩格斯曾提出："生命是蛋白体的存在方式，这个存在方式的基本因素在于它和周围的外部自然界的不断的新陈代谢，而且这种新陈代谢一停止，生命也随之停止，结果便是物质的分解。"可见，新陈代谢乃是生命的本质，生命的基本特征。这就是辩证唯物主义的生命观。

随着科学的发展，对生命的定义不断完善。前苏联生物学家杜比宁等人，给生命下的定义为："生命是物质运动的最高级自然形态，它具有各种水平的开放系统的自我更新、自我调节、自我复制的特点，这些开放系统的物质基础是蛋白质、核酸和有机磷化合物。"我国张学明等人下的定义为："生命是主要由核酸和蛋白质组成的具有不断自我更新能力的多分子体系的存在形式。"这些定义都是在恩格斯的生命定义基础上发展的。它们概括了生命的基质和功能两大方面的内容。随着科学的发展，对"生命"的定义还会包括更深的内涵。

非生命物质也有新陈代谢现象，也经常与周围环境交换物质。但是非生命物质的新陈代谢与生命物质的新陈代谢有本质的不同。非生命物质如果发生新陈代谢就转化成其他物质，自身也就不存在了。正如恩格斯在反杜林论中所说："岩石经过风化就不是岩石，金属氧化后就变成锈。"

总之，生命是蛋白体运动的一种方式，新陈代谢是最基本的生命过程，其他生命过程，如生长、发育、生殖、遗传、变异、适应、进化等，都是在新陈代谢的基础上进行的。新陈代谢是生命的本质。

二、新陈代谢

活细胞能进行物质代谢，能量交换，能自身生长和复制，能有效地调控自己的生命活动。活细胞分为原核细胞和真原核细胞两类。原核细胞无核，形态结构小且简单。真核细胞结构复杂，可分

为核、线粒体、内质网、高尔基体、溶酶体、叶绿体、胞液和细胞膜等组分，在一定条件下可将它们分开。活细胞内各种有机分子主要由C、H、O、N、P、S等元素组成，此外尚需Cl、K、Na、Mg、Ca、Mn、Fe、Co、Cu、Zn等微量元素。某些特殊细胞还需B、F、Si、V、Cr、Se、Mo、Sn、I等微量元素。

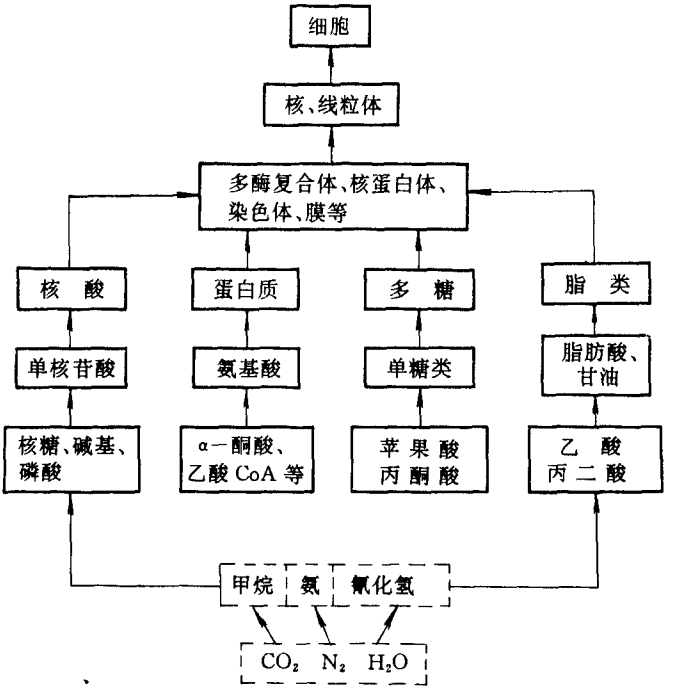


图 1 1 1 细胞分子组成及其层次性

水是所有活细胞中最丰富的化合物。活细胞还含有不同类型、不同层次的有机分子，主要有糖、脂、蛋白质和核酸。它们或参与细胞结构建成，或充当碳源、能源。此外，细胞中还存在某种维生素和激素，它们分别具有参与辅酶、辅基合成和代谢调控等功能。图1.1.1为细胞组成略图。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

随着生命科学的发展，不断赋予新陈代谢新的内容。按照新的解释，代谢的物理方面更多地涉及能量代谢；代谢的化学方面涉及生命物质的降解和建成，总称物质代谢。物质代谢和能量代谢两类生化系统紧密联在一起，互成因果关系。目前人们常用同化作用和异化作用来描述有机体的矛盾对立统一关系。同化作用表明细胞将各种从内外环境中取得的低分子量物质同化为各种高分子量物质，这是一种需能反应。异化作用是指高分子量物质经酶促反应降解为低分子量化合物，这是一种产能反应。

生命机体代谢具有严格的细胞定位关系、特异酶促反应、严谨的反应序列和高效的调控机构等特点。图 1.1.2 为生化系统的两大侧面——合成和分解。

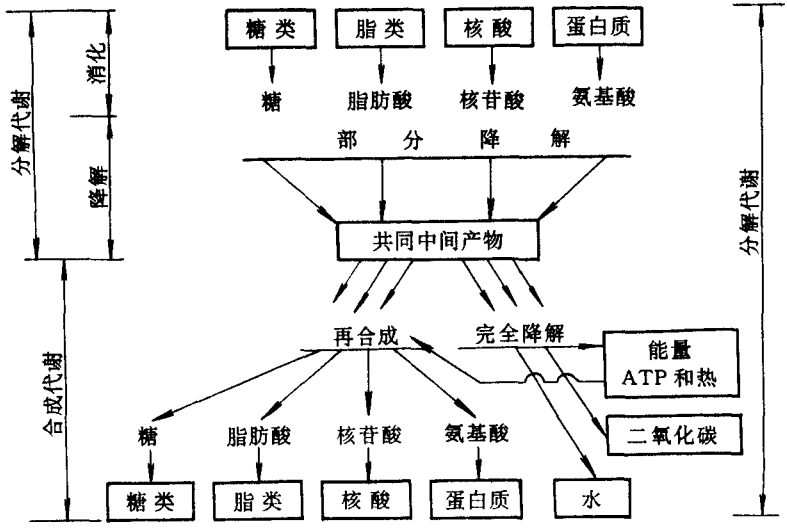


图 1.1.2 生化系统的两大侧面——合成和分解

随着现代科学技术的发展，代谢研究已从整体、组织、细胞水平的研究发展到亚细胞水平的研究。研究结果表明，生物机体代谢不仅包括物质代谢和能量代谢，而且包含信息代谢. 见图 1.1.3。

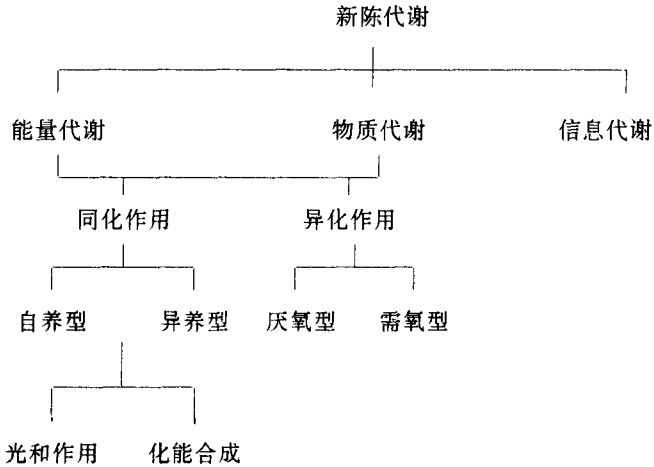


图1 1 3 新陈代谢的基本类型

三、信息代谢

我国著名生物物理学家贝时璋教授早在1964年就提出这样的观点.生物系统的代谢,不仅包括物质代谢和能量代谢,还应包括"信息代谢"。生物信息代谢是生命活动的本质。生物系统能量的传递主要在传递信息。一切生命都是靠生物系统中成千上万个生物信息高度有序、协同一致来实现的。破坏了这种有序性,生命就无法维持。为了维持生存,生物体与周围环境必须进行极频繁的连续不断的物质、能量和信息代谢。

人的视觉、听觉、嗅觉、触觉等器官都可以说是生物体与外界信息交换的窗口。在中医学中强调通过望、闻、问、切等手段综合收集作为人体表征的"态、色、声"等病理信息,进行辨证治疗。中医学以阴阳五行说为核心理论,认为"阳化气,阴化形","气行血行",无形的气可以驱使有形的"血"运行,阴是看得见摸得着的有形物质,而阳为无形物质,如同气一般,看不见摸不着,却对人体生理功能

起着作用。

气功师认为人体可以发出一种气，他在给别人授功时他的信息可以在言谈话语中，或以其他方式将信息传递给别人。气功师还认为，人体周围和自然界中也存在着一种气。有的科学工作者认为，气功师们讲的气，很可能是存在于生物体内的某种电磁波信息。因为生物体细胞的活动能引起电磁波活动，形成生物体固有的体波，即在生物体周围存在一个固有的生物体波场。生物体除了摄入食物、空气和水以转化为支持细胞发射这种信息的能量外，外界能量的影响也为不可忽视的因素。生物体发射的这种电磁波影响着自身，也在生物体间互相影响着。

尽管生物体形形色色，但构成它们的化学单位并不特殊，譬如所有蛋白质都是由 20 种氨基酸按不同的排列顺序组成的多聚物，而 DNA 则是由四种脱氧核糖核苷酸组成的多聚物。事实证明，与生命的基本过程有关的性质或生物功能，都跟物质分子结构，尤其与组成分子的原子外层电子的运动有关。诸如遗传、变异、免疫、细胞功能、生长、发育和繁殖等生命现象都与生命的物质基础——蛋白质和核酸等的生物分子的特定结构（包括电子结构）和运动规律有密切的关系。生命的奥秘部分地存在于微观世界中。某些生命缺陷（如癌、突变）仅从群体、个体、系统、器官、组织、细胞乃至分子水平上认识是不够的，必须从原子或电子水平上研究，才能真正弄清其本质。

量子生物学的任务就是在电子水平上描述和探索生命的奥秘，揭示生命信息代谢的实质。量子生物学运用量子力学原理，通过数学运算来实现其研究目的。电子计算机的出现和发展，不仅使得许多复杂的量子生物学计算问题得到解决，而且凭借其记忆、判断和逻辑推理功能，已能直接进行某些生物分子和药物分子的鉴别和合成路线设计。

量子生物学的研究表明，在生物分子及大而复杂的体系中起主要作用的力是带电粒子之间的静电引力。这种相互作用的静电

引力分为强力(属于强相互作用的有共价键和离子键等)和弱相互作用力——弱力(如范德瓦斯力和氢键等)。前者维持分子的基本结构(一级结构),后者在维持生物大分子的构象和功能活性中起着重要作用,也可以说是维持生物大分子的二级、三级、四级结构。当生物分子受热时,这些弱相互作用首先受到破坏,并以四级、三级、二级结构的顺序丧失生物大分子的高级结构,从而对生理功能造成明显的影响。

我们知道,要直接测定两个微观对象(原子和分子)之间的相互作用力是不可能的,但却可通过物理或化学的方法测出相互作用能量。例如图 1.1 4 为 NaCl 离子键的势能曲线。

可用下式计算势能.

$$U = U_1 + U_2 = -\frac{q^2}{r} + be^{(-r/a)} \qquad (1\ 1.1)$$

式中,U_1 表示电量分别为 q 和 $-q$ 的离子相距 r 时的势能,U_1 为负值时表示引力,U_2 表示当 r 很小时原子核之间的斥力产生的势能,a 和 b 均为常数。

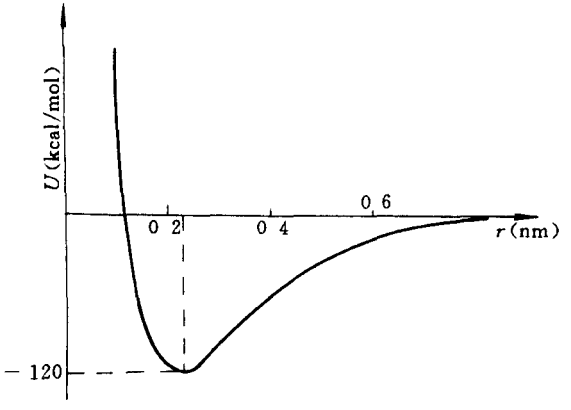


图 1 1 4　NaCl 离子键的势能曲线

通过量子力学计算分子的能量来推测生物大分子的空间构象、电子结构、轨道对称性,以寻找生物生命现象的高度专一、有序

的信息代谢机制。目前虽然还没有得到满意的解释，但已在逐步揭开生命的奥秘。就目前的认识水平，简单地说，信息代谢的实质就是原子之间、分子之间相互作用电荷迁移的结果。

四、熵

生物物理及生物信息论工作者对生命系统的结构与功能、空间与时间的有序化做了大量的信息分析工作，如疾病诊断与治疗，生长与衰老过程，神经系统信息处理，反馈调控过程，遗传信息贮存，传递与编码，生物分子进化等等。这些信息分析工作多数是以信息熵计量无序度。熵是对系统混乱程度的普遍度量。熵是一个热力学概念，代表体系的混乱程度，体系越混乱，熵值越大，反之熵越小，信息熵在信息论中为信息出现的概率，代表系统有序的程度，信息量越大系统越有规则，而信息熵越小，故信息熵为负熵。信息熵可用熵函数

$$H = -\sum_{i=1}^{n} p(x_i)\log p(x_i) \qquad (1\ 1\ 2)$$

表示。式中 x_i 表示组成系统的元素，$p(x_i)$ 表示各元素 x_i 的概率，系统的 $p(x_i)$ 之和等于 1，当对数的底为 2 时，熵的单位为 bit。熵概念的泛化不仅可以适用于热力学，而且应用于宇宙学、气象学、生命科学、广义进化论、经济学、社会科学等。

著名物理学家，诺贝尔奖金获得者薛定谔在其所著的《生命是什么?》一书中指出“生命之所以能存在是因为从环境中不断获得‘负熵’，或者说是进了‘负熵’获得‘有序’以维持自身组织”。薛定谔开拓了以物理语言描述和分析生命的新陈代谢的先河。

以普里高金为代表的布鲁尔学派，把热力学和统计物理学推进到非平衡热力学和非平衡统计物理学的高度。他们认为，由于生命无疑是属于热力学体系中的一个开放系统 为维持生存，它与周围环境间必须进行极频繁的，连续不断的物质、能量和信息交换（或代谢）。

要研究非平衡态必须有一套热力学函数来定量地描述。为此，普里高金学派首先引入局域平衡假说，即所处非平衡开放系统在小的局部的热力学平衡态。于是可以在这样的局部定义局域热力学函数。例如：局域熵用 S_v 代表，由于熵具有加合性，总体的熵可以对局域熵求和得到.

$$S = \int S_v dV \qquad (1\ 1.3)$$

但必须注意，这些热力学函数都是随着时间 t 而变化的。假定经过了很短一段时间 dt，系统的总熵产生一个小的变化 dS，对于不断与外界进行物质、能量和信息交换的开放系统来说，这一段的熵变 dS 应由两部分引起.一部分来自与外界交换，称为熵流，用符号 des 表示，另一部分来自系统内部，由系统内部的各种变化、生理反应等不可逆过程所产生，称之为熵产生，用符号 dis 表示。于是有.

$$dS = des + dis \qquad (1.1\ 4)$$

使系统不发生混乱，那就要让 $dS=0$，只有在熵流 des 为负值时才能实现。这就意味着只要给生命系统足够的负熵流(就是信息)就不仅能维持原有的有序结构，而且还可以变得愈来愈有序。

对于生物系统中一些局部的组织和结构，在正常情况下，各自具有表征正常状态的一定 H 值，我们把这样的系统称之为信息系统。而用信息熵 H 表示系统的结构处于某种程度的有序状态，这种有序性的相对程度可以由剩余度(R).

$$R = (H_{max} - H)/H_{max} \qquad (1\ 1\ 5)$$

表示。上述分子($H\max - H$)代表相对于最大信息熵的负熵值。当生物体系处于病变情况下，或者当生物体对外界出现危险作出保护性反应时，信息系统的信息指标(H,R)将发生变化。原则上说，这些数值的变化是具有一定趋向性的。班达林以大量实验表明：在生物体系中有一类信息系统，它们的熵值的变化具有热力学中熵增原理的典型倾向，即它们的信息熵值会随着疾病的恶化而增加，

需要全本请访问 www.ertongbook.com