

# 物理学与生物学

——生命的结构和生命的基本过程

施昌勇 译 常哲 校



一、物理学与生物学: 历史上的  
一对姐妹  
物理学和生物学有许多共同起源, 它们相互

促进、共同发展。物理学新方法的发展常常导致生物学的跳跃式进步; 相应地, 也有许多生物学的新发现促使物理学新规律建立的生动例子。

物理学促进生物学发展的一个例子是高分辨率显微镜的建造。1670 年前后, 荷兰德福特市的商人兼博物学家列文虎克建造了世界上第一台高分辨率显微镜。他用这台显微镜第一次观察并逼真地绘制了细胞。他的观察结果否定了亚里士多德的理论, 亚里士多德认为生命起源于有机物的简单混合。值得注意的是, 在列文虎克发现细胞 200 年以后, 生命的细胞理论才被普遍接受。

对生物学产生重要影响的其他物理学发明还包括:

\* 鲁斯卡 1932 年发明的电子显微镜使人们能够了解细胞的内部结构。现代结构生物学正是利用电子衍射和 X 射线断层影像技术才取得了辉煌的成功。

\* 1942 年, 肯德雷夫(John Kendrew)和彼鲁兹(Max Perutz)发现和解决了 X 光衍射的“相问题”。现在该技术在确定蛋白质结构中起重要作用。

\* 核磁共振技术的应用, 第一次使得确定非晶生物大分子的结构成为可能。

当然, 这些用于探索从微米到纳米尺度生物物质结构的现代方法的成功还要归功于计算机的发展。物理方法在医疗技术上的应用更依赖于计算机技术。像核磁共振影像技术、正电子 X 射线断层影像技术 (PET), 这些技术已经引起了医学诊断的革命。

梅逸(Robert Mayer)发现的自由能理论是生物学促进物理学发展的一个重要例子。在爪哇岛上, 梅逸发现热带地区码头工人的血色显得苍白, 因此他

断定热带人比温带地区的人血液中含有更丰富的氧。他将相应的低氧消耗归结于在热带地区身体向环境释放较少的热量, 并得到一个直观推论: 热和机械功等价。赫姆霍兹根据这种形式的观察得到自由能的一般理论表达。

植物学家布朗(Robert Brown)发现石松子的种子在水中不规则运动。据此, 爱因斯坦总结出分子的布朗运动理论。布朗运动理论不仅在现代统计物理学发展过程中发挥了重要作用, 而且还帮助人们接受了物质的原子结构概念。20 世纪初有关原子结构的观念还存在很大争议。

下面的事实也说明生物学对现代物理学发展的重要性: 19 世纪最具影响的两个物理学家杨和赫姆霍兹最初的职业都是医生, 他们将许多生物学相关的问题引入物理学。这些例子提醒我们今天的物理学家应更积极地研究复杂的充满生机的生物物质世界。只有这样, 物理学才能在“生物世纪”中继续保持科学中心的地位。

我们还需牢记, 作为现代分子生物学开创者之一的物理学家德布鲁克(Max Delbrück)在 1943 年和卢里阿(Savador Luria)一起第一次进行了精确的细菌遗传试验。试验显示细菌通过变异可以抵抗它们的天敌——噬菌体。他第一次提出基因可能由大分子组成的概念。

## 二、生物物质的魅力——

自组织在复杂结构中创造有序

虽然大自然仅用少量的化学元素构建生命物质(除主要成分氢、碳、氮、氧、磷外, 还有少量的金属元素, 像  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 等), 但生物物质极其复杂。例如, 一个细菌由 6000 个不同类型的分子组成。要了解生物大分子就必须注意这样一个事实: 大多数生物分子仅包含氨基酸、核甙酸基、脂肪酸、聚烯和糖分子等基本构造单元。

怎样区分生命物质与物理材料?

• 生物物质产生于自组织。构造单元的形式和亲水、疏水及带电集团的排列, 决定结构的发展。生物分子的原初结构(例如, 一个生命有机体的各种蛋

蛋白质原初结构)是由遗传确定的。然而在细胞的功能单元中(比如光合作用中心),不同蛋白质之间的相互作用决定于分子之间的作用力。因此物理因素起着决定性作用。图1所示的生物膜提供了带有遗传密码的分子结构和分子作用力之间相互影响的令人印象深刻的例证。

- 生物物质之间是相互影响、相互作用的。其结构和功能的调节由生物化学信号链和这些过程中产生的信息体以及控制生物分子的基因表达来完成。此外,生物物质的物理特性和它们对外部干扰的反映对生物化学和遗传信号链也有反馈效应。通过机械负荷控制骨头生长或软骨再生是这方面的一个例子。物质相互控制方面的例子是蜻蜓的翅膀,蜻蜓的翅膀由聚合物网络组成;聚合物网络相互连环的程度,使它在飞行中适应空气动力环境。

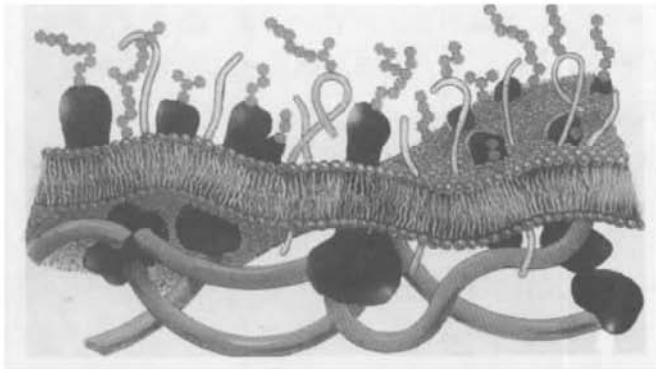


图1 大分子网络(细胞支架),显示带有遗传密码的分子结构和分子之间作用力

- 生物物质属于软材料,它们以一种奇特的方式保持稳定性和柔韧性的和谐统一。特别印象深刻的一个例子是红细胞膜。因为特别的双层液态类脂(蛋白)与局域截断形成的大分子网络复合型结构(细胞支架,见图1),这些细胞极具承受弯曲与剪切的韧性。红细胞膜的韧性远远强于由工程材料加工得到的同样大小和形状壳体的韧性。同时,如果企图拉伸细胞膜,它又表现得像金属一样坚硬。弹性性质的这种组合使得红细胞在大约120天生命期内,流经几百千米狭窄的毛细血管相互挤压而不破裂。

- 生命系统只能存活于远离热力学平衡的状态,它们的发展遵循时空模式结构规律。它们可以在亚稳态生存很长时间,当然需要周围环境不断提供物质和能量来维持这种状态。维持时空模式的过程

是不可逆的,是熵增加过程,或者说是增加了无序程度。玻耳兹曼与后来很著名的由薛定谔撰写的书《什么是生命?》都把生物体的生存斗争描绘成“角力熵”。按照普里高津的说法,这种情况下的时空模式是“耗散结构”。

生物学为物理学提供了大量的模型系统,用以研究时空模式结构的基本物理规律以及不同模式结构受外界干扰后的跃迁规律。正是这种过程决定了我们的存在,即使在中枢神经系统和四肢形成的胚胎发展期也是这样。

在这里有一座通往生态学、经济学与社会学的桥梁,勇敢的物理学家通过这座大桥可以进入一个崭新的领域。鉴于对我们在这个有限世界生存的重要性,可以预见这些领域在未来几十年中将得到长足发展。

### 三、从原子大小到毫米尺度的结构探索

正像以细胞膜为例演示的那样,生物过程在许多尺度下发生。因此,结构研究必须涉及从原子大小到毫米尺度的范围。物理上我们有许多方法可用于了解分子结构,除了X射线衍射、核磁共振技术及其他的光谱学方法(像分子荧光光谱学)外,还包括精确度可达到原子水平用来扫描探测分子表面的扫描探针显微镜。

但是,用于分辨细胞器官介观结构(例如细胞核和染色体)的方法仍然在发展的前期。这个尺度结构的传统研究方法是电子显微镜,目前这张细胞精细结构的照片就是通过它获得的。一个很有前途的新发展是X射线断层影像技术。通过改进电子源和自

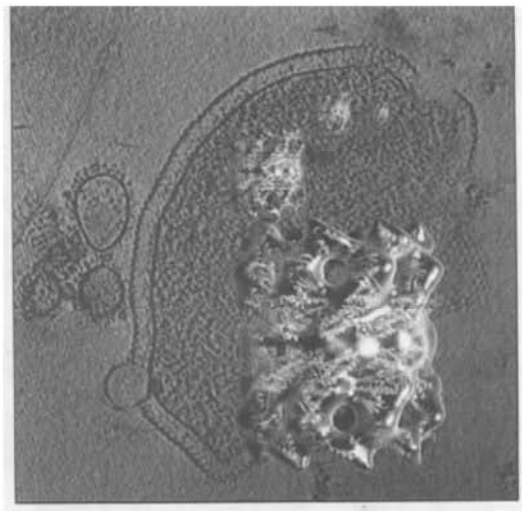


图2 原始细菌的X射线断层影像

动成像系统, 该技术的应用成为可能。今天, 已经可以用 X 射线断层影像技术在细胞或细胞组织中分辨单个大分子, 并在 2~5 纳米精度范围内分析大分子的结构。这使我们能够观察细胞中蛋白质之间的相互作用。图 2 说明了这一点。该图是通过断层影像重建获得的一张被大分子蛋白质复合体覆盖的原始细菌的细胞图像。

这种大分子蛋白质复合体属于褶皱蛋白 (起伴衬作用), 它们构成几个纳米的储存空间。就像在酒坛中酿酒一样, 在该空间里蛋白质反复折叠直到具有完整的功能。如果没有这种保护, 那些一开始没能正确折叠的蛋白质将很快被蛋白酶破坏。

一些新的光学显微镜方法被用于微米范围的结构研究。例如荧光光谱方法可以在细胞中固定单个

分子并观察它们执行功能的过程。譬如荧光化的蛋白质依附在指定蛋白分子上, 在这里荧光化蛋白的作用就像分子灯“一样”监视着被标定的分子及它与其他分子之间的相互作用。用这种方式获得的蛋白质结构、动力学过程和功能之间的关系对认识遗传疾病的分子机理是非常必要的。

结合了生物化学与物理方法的核磁共振图像是研究生物组织毫米级结构最有效的方式。比如这种技术可用于刺激神经系统的个别细胞。此外, NMR 影像还可以对听立体声时人的大脑皮层听觉中心的活动进行原位观察(见图 3)。

#### 四、从单个分子到系综:

##### 生物信息学和物理学之间的桥梁

复杂性和独特性是生物物质两个互补的特质。过去分子水平上的研究仅仅局限于分子系统。用多次测量结果的平均值来精确描述微观生物系统是非常困难的。现在, 物理学提供了一系列方法使得能在单个分子上进行实验。此外, 分子生物学技术有了长足发展, 使得制造并操纵生物分子成为可能。这意味着在过去几年中, 研究单个蛋白质或 DNA 性质的能力有了神奇的进步。准确确定个别大分子的物理特性和行为同样使得从整体上认识大分子特性成为可能。下一步, 这也将对生物系统的复杂性产生进一步的认识。

“斑夹具”技术的发明是该领域发展的里程碑。该技术彻底改变了电生理学。它可以用于测量单个离子通道的电导率和受生化过程的控制。第一次向人们展示, 在生理学环境中单个活质分子的功能可以使用物理技术进行测量。

扫描探针显微镜和力学显微镜的发展, 告诉我们怎样在原子精度下定位物理测量探针。膜中生物大分子能被从分子整体中分离出来一个一个地测量。除了电特性以外, 现在分子的机械性能也得到特别关注。今天, 能在纳米尺度上进行单个分子操作, 操作导致的力也可同时测量; 这种力为微微牛顿级, 大约相当于血红细胞所受引力的大小。这使得在细节上揭示分子之间的结合过程(例如感受器和作用体的结合过程)成为可能, 这将促进我们对分子认知的理解。单个蛋白质也能用单分

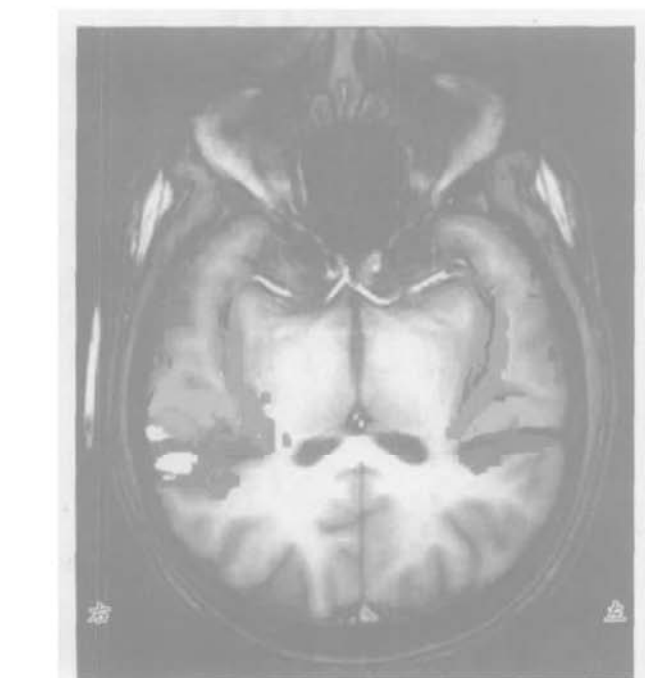


图 3 对听立体声时人的大脑皮层听觉中心的反映进行的直接原位观察。右侧浅色区域标记用核磁共振(NMR)图像方法发现的空间运动声源识别中心



图 4 通过在大分子的一端持续施加外力引起的分子不同折叠态之间的跃迁。肌肉蛋白大分子开始像弹簧一样被拉伸, 几百个相互连接部分最薄弱环节的折叠被拉直(图的右边)。随后, 小版图一个接着一个被展开

子作用分光镜去折叠(见图4)。这使得我们能够对蛋白质的功能和蛋白质折叠的基本机制进行仔细观察。对蛋白质折叠机制的了解非常重要,因为蛋白质的功能依赖于它的氨基酸链的折叠。

使用时间分辨、单分子荧光光谱仪几乎可以观测复杂环境(比如细胞)中的单个分子的动力学行为。单分子测量技术的繁荣与计算机的迅速发展密切相关。用计算机可以求解大分子中原子的运动方程并计算大分子的三维形状和动力学特性。

一个蛋白质完成某种特殊功能的能力依赖于它所呈现的正确三维结构。超出我们想象的奇迹是,蛋白质是怎样从大量可供选择的结构中发现生物意义上正确的折叠序列的。计算机模拟蛋白质运动使我们可以回答这个问题。计算机模拟可以重构作用分光镜的实验细节,并刻画配位基-受体混合体分离的原子模型(图5)或蛋白质由被外力作用展开的过程。

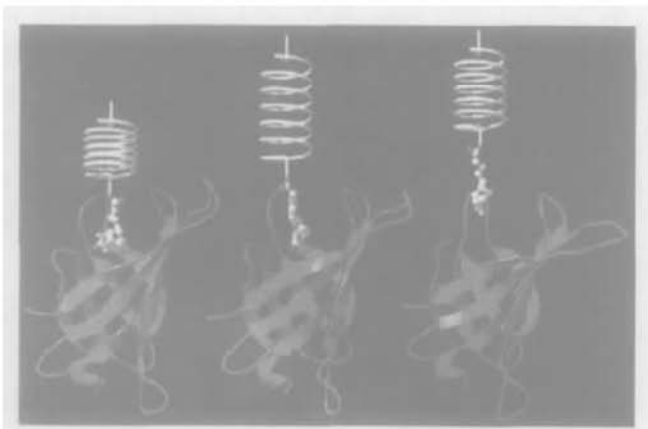


图5 模拟从蛋白质的受限囊中分离出连接弹簧的配位体

分子动力学是生物信息学的一个分支,生物信息学已经发展成为理论物理的研究领域之一,具有广阔的前景。生物信息学也负责管理和解译人类所有蛋白质的大量数据。这些数据由基因组构建,通常被称为蛋白质组。在我们知道基因序列如何转换为蛋白质之前人类基因序列自身并无价值。“后基因组”时代的中心工作是解码蛋白质和描述它们的功能。

蛋白质晶体的动力学X射线衍射实验使我们能够在原子分辨水平上研究局域拓扑(即酶结合囊的形式)。用这种方法,我们能够发现由于某一特定突变引起的局域拓扑的变化。图6显示了肌红蛋白中因一氧化碳受限的囊,这种蛋白负责将

氧气运输到肌肉细胞。你可以非常清晰地看到受限囊的形状调整,以适应氧分子与铁原子的结合过程。不幸的是,一氧化碳有同样的尺寸大小,也同样适合受限的囊,造成囊的深度中毒。然而,如果蛋白的形状和“呼吸”不变化,囊与环境交换氧的速率将非常缓慢。

分子生物信息学是理论生物物理的一个重要研究领域。另外一个同样重要的领域(虽然在这不介绍)就是由中枢神经系统和免疫系统组成的细胞网络中的信息加工理论。在中枢神经系统中,信息从光或声的感觉器官转变为生物激发模式是非常神奇的现象。神经网络的理论研究进展与在毫米尺度上观察生物激发模式实验方法的进展都是生物物理探索的重大成果。

### 五、生物纳米机器

光合作用仪——生物学与量子物理的结合 光合作用是物理学家特别关注的生物学领域,特别是在最初的生物过程:例如,光物理作用将水分解成氧、电子和质子。结果,一方面质子以电场势和化学势的形式存在;另一方面电子转移到我们熟知的电子受体分子。大自然在这里必须解决3个不同的物理问题——即使是在最黑暗的环境中,也能扑捉阳光中的可见和红外部分;不可逆地将电子和质子相互分离;长期存储水中化学不稳定的电子。

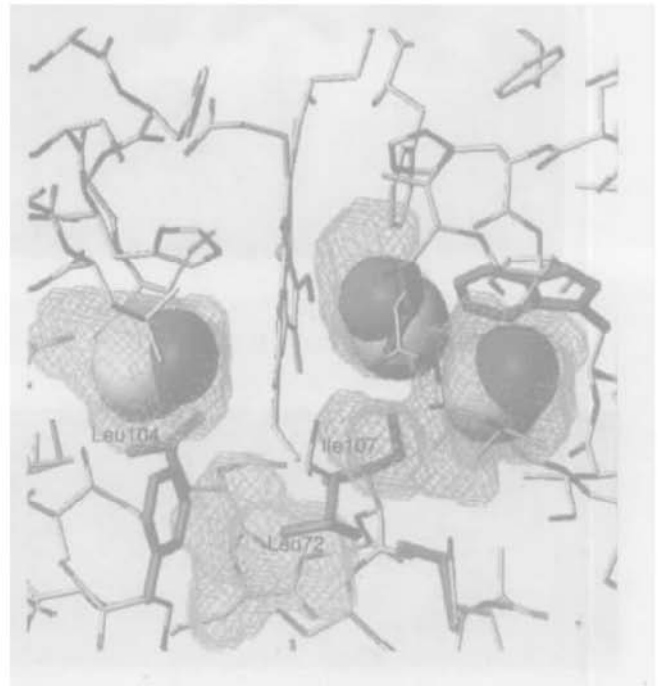


图6 一氧化碳在肌红蛋白中的3种不同的位置。肌红蛋白与蛋白质内部的腔体结合在一起

第一个问题通过巧妙地构建蛋白质单元和色素(像叶绿素)得到解决,我们称为天线复合体。它们扑捉光线并将获得的激发能沿着精心安置处于逐个上升能级的色素分子(像个能量梯)传递到实际光合作用器——反应作用中心。在这里,能量被三明治型的叶绿素复合体分子吸收,通常从复合体中放出一个电子,随后电子逐渐地沿着色素分子链被传送到电子储存分子。第二个问题——电子不可逆转移,通过在万亿分之一秒内实现从一个分子到另一个分子的跃迁得到解决。第三个问题的答案存在于这样的事实中,反应作用中心是嵌入在细胞膜中的。这样,电子和质子能够被细胞膜以相互分离形式储存着。这种电荷的直接分离意味着能量以电化学的电荷分离能量形式存在。

大自然巧妙地利用光物理与电子输运规律把光能转变为电能(见图7)。

反应中心的几何结构已经被X射线衍射实验所证实。这使成功地确定这种蛋白质结构中色素分子的排列成为可能。已经非常清楚地看到,在物理学家、生物学家、化学家多年来的共同努力下,用光谱学方法揭示蛋白质机构的结构和功能方面取得了巨大的成功;而超快光谱学现代方法的广泛使用使得他们对电荷分离的快速过程取得了深入了解。

化学-力学机械和探针:细胞驱动马达 在细胞中,分子马达无所不在。它们负责在我们肌肉中产生能量,执行穿越细胞膜的输运过程,驱动细胞缓慢运动和菌群的游动。大自然和人类一样发明了线型与旋转型马达,但是就像质子泵的情况一样,大自然比人类科技领先了30亿年。

分子中的线型马达由轨道(肌纤蛋白、微小细管

等蛋白质纤维)和杠杆状驱动元素(肌凝蛋白、激动素等)组成。

图8向我们展示了肌纤蛋白-肌凝蛋白马达,该发动机将以高能复合物三磷酸腺苷形式存在的化学能极其高效地转化为机械能。肌纤蛋白电缆由线型肌肉蛋白(肌纤蛋白)组成,肌纤蛋白约十万分之一毫米粗细而且带有锯齿外形。肌凝蛋白驱动器由一个固定在细胞膜中的杆和一个通过交接处连接在杆上的杠杆组成。一旦三磷酸腺苷分子被分裂,能量释放出来时,肌凝蛋白分子的行为就是改变杠杆的形状。肌凝蛋白杠杆折叠,肌凝蛋白(伴随着细胞膜)沿着肌纤蛋白轨道漂移十万分之一毫米。如果没有能量供应,肌凝蛋白分子就被紧紧地绑定在肌纤蛋白纤维上。

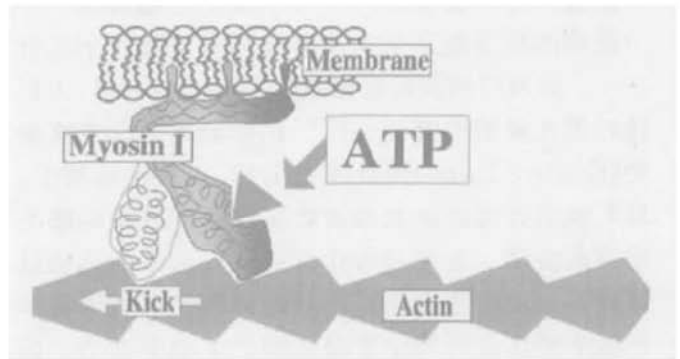


图8 分子线型发动机:ATP驱动的由肌凝蛋白和细胞膜一起沿着肌纤蛋白轨道漂移十万分之一毫米引起反冲运动

在生理学环境下,肌凝蛋白驱动器随即被三磷酸腺苷分子激活。为了产生直线运动,大自然应用了棘轮机械和绕杆的技巧,这种技术只允许沿一个方向的运动。由于肌纤蛋白的锯齿状结构,只有当杠杆在图8用深色标识的位置时,肌凝蛋白才能被绑定

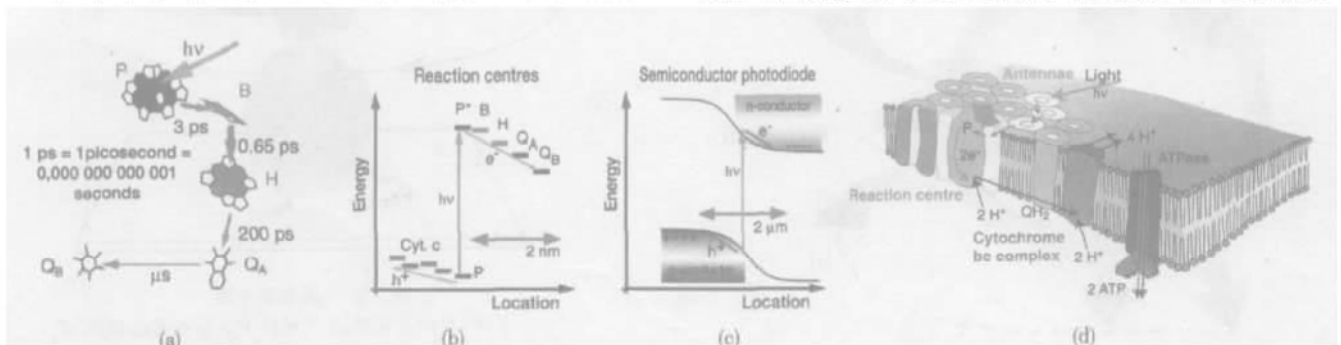


图7 光合作用

电子储存在光合菌中(a图),光被光线收集复合体(类似于天线)吸收。因此而获得的能量迁移到反应中心,这个纳米机械将电子与质子分离并将它们暂时储存在分子接受器中或以电化学质子浓度梯度形式储存。三磷酸腺苷酶机械(d图)转换浓度梯度成能量形式——三磷酸腺苷(ATP)。a图显示了电子怎样沿着色素梯跃迁到临时电子储存分子。在反应中心发生的这个过程(b图)类似于发光二极管(c图)

住并传递能量。希望对线型发动机的研究将对怎样将热扰动转变为直线运动这样长期悬而未解的问题产生新的洞悉与顿悟。最近几年,光学激光钳一类的微机械方法的应用与化学过程转变为机械运动的漂亮理论相结合,使得对这些问题的理解取得了很大进展。但是,要弄清无数个分子发动机是怎样协同工作以产生推动肌肉的力量,我们还有很长的路要走。

线型发动机也被用于驱动精子和鞭毛体的运动。但是,对于非常小细菌的快速运动,大自然选择了一种质子驱动连着鞭毛体的旋转型发动机(如图9)。在驱动原理上,这种转变的理由是纯物理的。在水中,细菌的雷诺数非常小。雷诺数用于测量运动动能与由于摩擦产生的能量损失的比例,雷诺数与游动器官的尺寸大小成比例地增加。一个细菌的雷诺数只是人体游泳时雷诺数的十亿分之一。如果将细菌的雷诺数应用到人的环境,人们就好像在蜂蜜中游动一样。正如流体力学专家泰勒(Geoffery Taylor)所证实的那样:在这种环境中,最有效的行进方法就是旋转螺旋状杆或激起鞭毛的弯曲波动。这就是为什么细菌在水中的运动就像螺丝通过一块木头。泰勒还向人们展示了在非常低的雷诺数环境中弯曲波动产生的平动力。因此这种类型的驱动不适合水中游动的鱼。我们只能以无限敬佩的眼光去观察大自然是如何巧妙地应用流体力学定律的。

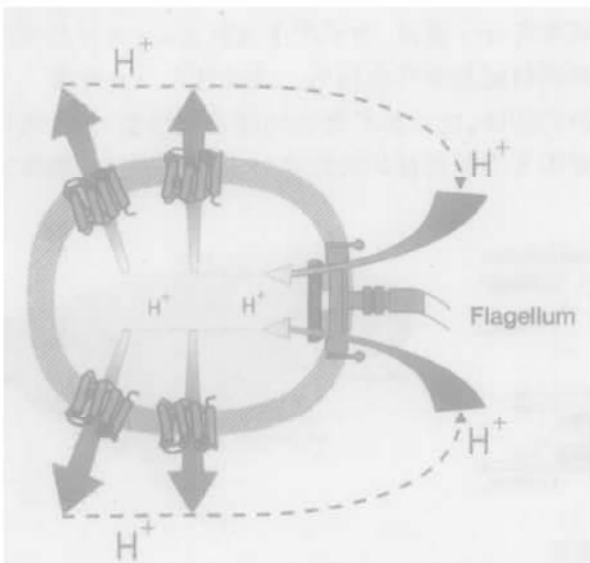


图9 带鞭毛发动机的原始细菌。连着马达的鞭毛体大约4微米长、每秒钟转动150圈,由20种不同蛋白组成的细胞膜引导着发动机,驱动由质子流完成

旋转型发动机是由质子中心浓度的梯度来驱动的。这种浓度的梯度是由质子泵(比如菌视紫素)产生的。利用离子浓度的梯度是广泛应用于大自然中的一个原则。

然而,大自然设计的最小的旋转型发动机以三磷酸腺苷形式将质子浓度梯度变换成三磷酸腺苷。如果三磷酸腺苷过剩,这个机构将颠倒泵送的方向、以增加质子浓度梯度的形式储存三磷酸腺苷。就像抽水发电站用过剩的电能将水重新抽回储水水库一样。

由三磷酸腺苷驱动分子发动机不仅对细胞、细胞器官及细菌的运动非常重要,而且对基本的生物化学过程(像聚合酶运输和DNA的复制机构)也非常重要。

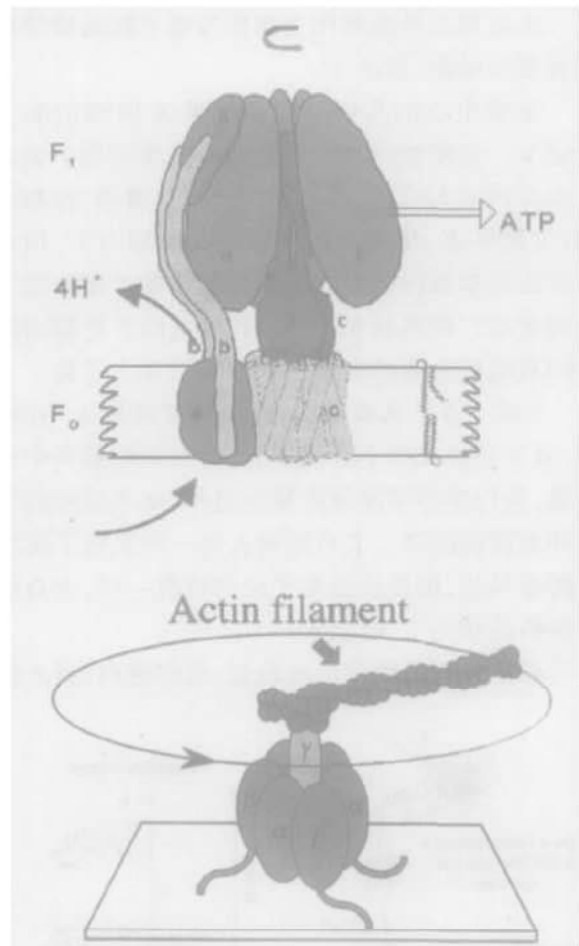


图10 三磷酸腺苷酶

上图:利用从高浓度区域质子流动到低浓度区域,纳米机械产生三磷酸腺苷。比如,不同的浓度是由光合作用产生

下图:为了能够在喷射出细胞膜时观察到“发动机头部”的旋转,一个大约1纳米长的荧光肌纤维蛋白丝被镶嵌在发动机头前。当头部旋转时,通过细胞膜传递质子,它使得二磷酸腺苷变换成三磷酸腺苷和磷酸盐。

## 六、未来展望

本文的目的是选择少量的研究方向,展示生物材料和生命物质中的物理将是非常迷人的、有广阔前景的发展领域。非常明显,如果物理学家准备好接受生物物质的复杂性并着眼于生物问题,他们将会在生命科学中扮演领导角色。物理学家从复杂问题中抽象出一般规律的超凡能力将开辟生物学研究的光明前景,也将发现极有价值的新研究领域。

在该领域,顾及从小到大所有的研究对象的前提下,我们遵循大自然给定的从单分子到细胞网络结构的顺序。我们的目标当然不局限于新方法的发展,我们更努力尝试在物理学的基础上理解生物材料的自组织和功能,企图用物理原理解释生物过程的规律。

已经出现若干重要的生物物理研究方向。分子生物物理领域的例子包括:

- \* 改进高分辨、快速同步辐射 X 射线衍射方法,以便能够弄清短寿命蛋白质中间态的结构或蛋白质动力学在酶反应中的作用。

- \* 单分子力学探针分光镜和超快速光物理方法的进一步发展,中心目标是应用这些方法研究细胞中的单个分子和纳米机械。

- \* 用中子衍射和 NMR 光谱仪研究局部同位素标定的分子,将揭示由遗传工程产生新的特定蛋白质突变的可能性。

- \* 电子断层影像技术的进一步发展,用于在细胞中定位和识别生物大分子。

然而,只有与先进的分子动力学模拟技术相结合,这些分子方法才能完全发挥它们的作用。分子动力学模拟技术需要新一代高性能计算机的支持。在这个领域,也要发展一些新的概念以便描述缓慢且隐蔽的蛋白质折叠过程。从前被认为不可想象的事,现在正对理论物理学家打开认识的大门。

对复杂生物系统感兴趣的理论物理学家的另外一个重要任务是细胞网络(例如大脑)中的信息处理。在这里仅仅简短涉及到该领域。入侵方法(像微电极阵列)和非入侵图像方法(像核磁共振图像和正电子放射 X 线断层影像技术)的快速发展,使定域激发场成为直接可视的想法逐步在实验室变成现实。

我们这里没有讨论但前景非常光明的固体物理

与生物学结合是在纳米电光器件上构建生物功能系统(例如点接触晶体管阵列)。为此,必须在不影响他们的功能前提下固定蛋白质、DNA 和细胞。值得一提的实例是,在半导体元件上构建的神经网络系统(见图 11)。

模拟生物体的生物仿真物理,需要物理学家、化学家和生物学家密切配合,目标是发展智能生物传感器。智能生物传感器不仅适用于快速检验药物反应,而且适用于识别特定蛋白质的生物反应与病理突变表现。

另外一个有前景的由生物学催生的物理领域是用大自然创造生物体的方法制造新材料。例如表面再生能力的产品、极其好的抗污特性的产品(就像荷花叶子一样)、通过模仿海豚的表皮或用多糖喷涂表面以减少在流体中阻力的产品。另外一个实例是通过仿制我们自己听觉系统中的末梢细胞来构建高灵敏电机传感器。

对物理学家来说,一个更具挑战性的工作是了解细胞组元的结构和物理特性(例如膜、细胞基干或电机接受器)是如何通过遗传和生物化学校准过程而被柔性控制的。问题可以归结为细胞怎样得知物

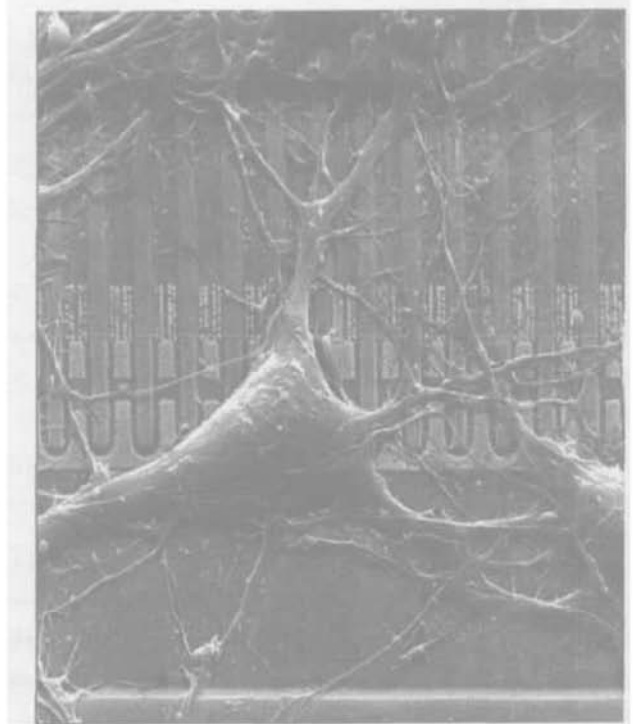


图 11 老鼠大脑的单神经细胞被固定在线型排列的场效应管上,场效应管是由硅片制成。细胞中的离子信号以电信号形式直接传递到半导体上。电子显微镜影像:影像宽度大约 40 纳米

# 时空的对称性

宫自强

时空的对称性是大自然的奇妙特性之一，这种特性几乎是无处不在。例如，从宏观的角度看，人和动物的形体结构是左右对称的，植物的结构也是左右对称的，飘落的雪花的结构也是对称的。从微观的角度看，所有晶体都是对称排列的，水分子的排列也是具有严格的对称性。

对称性无论在人们的日常生活中，还是在科学研究和应用技术领域，都具有非常重要的作用和地位；它潜移默化地影响着人类的观念和思维，这点可以从人类建筑的对称结构和人的对称审美观来说明；尤其在物理科学的研究中，例如基本粒子的研究、半导体物理的研究等等，时空对称性都是处于核心地位的重要概念。

实际上对称性是有严格科学定义的。1951年德国数学家魏尔给出了如下的定义：“对一个事物进行一次变动或操作，如果此操作后，该事物完全复原，则称该事物对所经历的操作是对称的，而该操作就叫做对称操作”。

在物理科学中，时空对称性也具有严格的定义：“如果有一个物理定律经过一定的操作后，物理定律的形式保持不变，我们称该物理定律具有对称性”。由于物理操作的不同，将有不同种的对称性。研究表明，对应于每一种对称操作，都有物理学的一个守恒定律与其对应。下面我们给出比较详细的讨论。

时空对称性包括空间对称性和时间对称性。空间对称操作包括空间反射操作、空间转动操作和空间平移操作等。它们都是通过使事物的空间位置(坐标)发生数量上或符号上的变化而完成对称操作的。时间对称操作包括与空间反射类似的时间反演操作和与空间平移操作类似的时间平移对称操作等。它们是通过使与事件相关联的时间的量值和符号的改

理材料的性质(像弹性、机械力特性)；或者细胞怎样抵制环境的影响并适应环境。比如由于疾病(如癌症)引起细胞附着力与细胞之间的识别变化时，如何用特定的边界层力和细胞膜的弹性去控制细胞附着力与细胞之间的识别。正确回答这些问题，需要发展能够精确测量细胞或组织中细胞膜物理特性的物理

变而完成对称操作的。

## 空间左右对称性

首先我们给出左右对称操作的定义：“设 $X$ 轴垂直于镜面，原点就在镜面上。将一半图形的坐标值 $X$ 变成 $-X$ ，就得到了另一半图形。这 $X$ 坐标的变号就叫做左右对称操作。”由于它与人们照镜子这一反射后成虚像的现象相同，所以又叫做镜像对称操作，或空间反演操作。也正是由于这个原因，我们又称左右对称称为镜像对称。最直观的例子就是人体对称结构中的所有左右部分，都可经过平面镜成像左右对称操作而互换，左手图像可成为右手图像，左侧图像可成为右侧图像，反之亦然。左右对称操作现已在科学技术中被广泛使用，并起到了重要作用。在物理学中，与空间反演对称性相对应的守恒量叫宇称。它描述反演操作下之行为的波函数的一种物理性质，空间反演就是将三个空间坐标同时对原点反号，若波函数反演后不变则其宇称为 $1$ (或称“偶宇称”)，若波函数在反演只改变符号则其宇称为 $-1$ (或称“奇宇称”)。宇称守恒指的是：在经过某一相互作用后，粒子系统的总宇称和相互作用前粒子系统的总宇称相等。可以证明，对应于左右对称的是量子力学中的宇称守恒定律。由于宇称的概念比较抽象，我们这里不作一般证明。

## 空间转动对称性

转动对称操作的定义为：“如果使一个物体绕某一个固定轴转过一个角度后，它又和原来完全一样，我们就称这个操作为转动对称操作。这种对称叫做转动对称。”由于这种对称常与固定轴的空间位置有关，故又称为轴对称。例如，对一个球体而言，它对通过其球心的任意方向的固定轴都具有对称性，而一个圆锥体只有对通过它的轴线的固定轴具有对称性。还有，

方法。仍然存在许多新的领域需要物理学家去探索。为此，科学家要克服狭义的专门化概念，继承19世纪科学的美德，在更广阔的基础上追踪科学。

(译自 Physics; 施昌勇 北京服装学院基础部 100029; 常哲 中国科学院高能物理研究所 100049)