

弱作用和生物手性



罗辽复

(内蒙古大学物理系)

弱作用宇称不守恒的发现,打破了科学家头脑中宇宙完美对称的图象。正如 Anderson 所说,伴随着物理学的成熟,人们了解到简单性中孕育出复杂性,而破缺对称性则提供了“从简单根源中发生复杂行为的框架。”看来从基本粒子到茫茫星际,我们的宇宙并不那么对称。作为宇宙演化最高级的产物——生命,也是不对称的。不用说生命整体是不对称的,就拿生物大分子来说,DNA 的核苷酸链是右手螺旋型的,蛋白质 α 螺旋也是右手螺旋型的氨基酸链。这是指它们的高级结构,而且每一氨基酸的立体化学结构也是左右不对称的,左手性的或右手性的,互为镜像,称为对映异构体。对映异构体具有完全相同的化学性质(稳定性、反应速率、能级

等)。二十种生物氨基酸中,除甘氨酸特别简单不具有手性外,都是左手型(L型)的。同样,核苷酸的糖环都是右手型(D型)的。地球上有一百五十万种生物,一个高等生物具有几万种蛋白质。在这个五彩缤纷、千变万化的生命世界中,却具有内在的单纯性。它们都由8种核苷酸和20种氨基酸组成,而且氨基酸是L型的,核苷酸的核糖是D型的。Crick把生物大分子的这种手性称为“生物化学的第一原理。”

把一束平面偏振光通过手性分子的溶液,由于它的左、右旋成分波速不同,光的偏振面将发生旋转,旋转角和波长有关,这称为旋光色散。又由于左右旋成分的吸收率不同, λ 射的平面偏振光出射后变成椭圆偏振。椭圆偏心率与波长有关,这称为圆二色性。旋光色散和圆二色性都依赖于分子手性,所以人们常把分子手性叫做光活性。但实际上旋光的方向和分子结构的手性并无单一对应关系,前者还受很多理化因素的影响。

为什么生物大分子只有一种手性?这是由于手性是分子高级结构的基础,而高级结构则决定了生物的功能。例如,把D氨基酸插入一个L氨基酸构成的 α 螺旋中,将使螺旋破坏,形成散乱的 α 螺旋限制区。因此酶中的部分L氨基酸用D氨基酸取代,会导致它的高级结构破坏和活性降低。对于核酸也是如此,如果采用D核糖核苷酸和L核糖核苷酸的混合物,就不能形成规则的双螺旋结构,而使得复制无法进行。另外,生物体中用一套而不是两套对映异构体,这对所需酶

的数目是一种有效节省。例如,D核糖转变为D脱氧核糖需要一种酶。如有L核糖,L核糖转变为L脱氧核糖还需要一种酶。至于D核糖转变为L脱氧核糖就可能还要几种酶参与方能实现。所以生物分子只有一种手性是符合经济原则的。

地球上生物进化的早期,大约三十七亿年前有一个化学进化阶段。这是一个有机物产生、复杂化和组织化的阶段。光活性物质就在这个阶段产生,它的产生又加速物质组织化的进程。遗传机制是一个高度有序的系统,组成这种机制的物质,只能是一种对映异构体。所以有人认为光活性和遗传机制是一个车子的两个轮,它们相关地进化。光活性进化完成之日,也是遗传机制确立之时。随之而来的便是原始生命。由此可见,分子手性的起源和生命的起源息息相关。它是古代神话中的 Ariadna 之线,具有帮助人们探索生命起源、走出迷宫的作用。

那么,生物分子手性起源的物理原因是什么?何种物理力的驱动导致氨基酸都是L型的?这方面众说纷纭,归纳为两不问题。第一,它是某种不对称力作用下产生的,还是自发的对称破缺现象?若是前者,这种不对称力又是什么?第二,是先产生纯手性(纯L型或纯D型)的氨基酸,然后聚合成多肽链,形成L型蛋白质;还是两种对映异构体共存条件下,由于L氨基酸的选择优势,形成L多肽链?先讨论第一个问题。

上一世纪中叶,当巴斯德第一次实现光活性物质的拆分,把D型和L型的酒石酸钠铵分开之后,便写道:“宇宙本身是一个不对称的集合体。我倾向于认为,生命正如它向我们所表现的那样,必然是宇宙不对称的一种产物。”原始地球是否为有机合成和形成生命提供一定的不对称环境呢?答案是肯定的。例如地磁的方向和地球的转动都提供了特殊的局域的不对称力。阳光在大气中散射,部分地变为平面偏振光,平面偏振光在地磁影响下,在地面或水面反射时,变成右圆偏振略占优势,圆偏振光可对消旋体(L型和D型各占50%)进行不对称的光分解。但这些效应都非常微弱,另一种可能是不对称晶体的作用。例如水晶(二氧化硅)有右水晶和左水晶之分,水晶可通过对光活性有机物的不对称吸附,构成不对称催化剂,使一种对映异构体的反应比另一种更快。因此,如果单向水晶局地存在于某个地区,就可解释光活性的起源。但这还难以解释全球生物单一的手性。

生物手性机理的最有兴趣的解释是利用弱作用的左右不对称性。从弱电统一理论的中性流弱作用出发,可导出L和D型氨基酸能级差别约 10^{-11} eV,它和热运动能量KT之比为 10^{-11} 。尽管有人期望由此解释分子手性,但这个差别毕竟太小了,任何一点小扰动都可能把它掩盖掉。我们研究了弱作用宇称不守恒的各种效应对手性形成的影响,发现最显著的效应来自

原子核 β 蜕变的极化电子。这种电子是左旋的,用它们轰击手性分子,L型和D型的非弹性碰撞截面的相对差别约为 10^{-6} 。因此在 β 电子照射下,L型和D型物质的反应速率之差也是 10^{-6} 的量级。速率常数的不对称性将在反应扩散方程中加入不对称外力项。如不对称外力为 η 的量级,则方程解的不对称性可达 $\eta^{1/3}$ 的量级。因此在 β 电子照射下,D型和L型分子的浓度差可达百分之一的量级。至于究竟是D型还是L型分子多一些,这和旋光的方向(旋光强度的符号)有关。地球上最早出现的氨基酸有Gly, Ala, Asp, Glu, Val等,其中除Gly(无手性)外,它们的L型都具有正向旋光性, β 射线照射的结果都有利于L型分子。一旦这些氨基酸的手性确定了,通过化学反应由它们生成的其他氨基酸自然也是L型的了。以上是理论研究得到的L/D型氨基酸差异,这是预期的弱作用不对称力的最大效应。研究 β 射线照射下左右手氨基酸不对称分解的实验工作已不少(我国王文清教授也做了这方面工作),但结果还不很确定。

原始地球能否提供足够多的 β 蜕变电子?我们知道,地球上特别是海水中的放射性元素 ^{40}K 是主要的 β 射线源。40亿年前,地壳每公斤每秒的衰变事例数为3000,海水每公斤每秒的衰变事例数为1200。由此可估计出 β 电子和手性分子非弹性碰撞的跃迁时标为1万年,也就是平均经过1万年,便能显示出L/D型氨基酸的浓度差异。

除了不对称力外,另一种理论观点是把氨基酸的手性归之于非线性化学动力学的自发破缺。但自发破缺具有随机性和偶然性,为什么地球上一切生物的氨基酸都是L型的?在这种观点下仍然是一个谜。

现在来谈第二个问题。前面讲了弱力可以产生1%的L/D氨基酸浓度差。但是蛋白质中氨基酸100%是L型的,这又如何解释呢。这要从氨基酸单体形成多

肽链的过程中寻找答案。一个氨基酸经过缩水连接到多肽链的末端需要能量,形成手性不同的排列(L-D)需要能量高一些,形成手性一致的排列(L-L或D-D)需要能量低一些。这个情况很象一维自旋阵列构成的磁性系统。相邻自旋异向,作用能高些;相邻自旋同向,作用能低些。当温度足够低,全部自旋都转到一个方向上来。这就是铁磁性。物理上称为顺磁——铁磁相变。氨基酸聚合成多肽链的过程类似,当温度低于某个“相变温度”,也会发生相变。相变后最有利的状态是全部氨基酸皆为L型或D型的单一手性态。事实上如果多肽链是手性混合态,它也将不能保持确定的二级三级结构,实现不了生命功能而被淘汰。因此只可能有两种单一手性的蛋白质。由于原来L型氨基酸多一些,相变的结果必然是有利于生成L型蛋白质。

Avetisov等最近分析了手性起源问题,认为只有两种可能的模式,或者是先产生单一手性的氨基酸,然后聚合成这种手性的多肽链;或者是在L型和D型混合的媒质中聚合,由于L-L(或D-D)结合的选择性远大于L-D,结果总生成单一手性的多肽链。似乎觉察到无法证明L-L(或D-D)具有绝对的选择优势,他们倾向于前一模式,并把单一手性氨基酸的产生归因于对称性自发破缺。在这个分析中没有考虑合作效应。最近我们从理论上证明:考虑了氨基酸间的合作效应后,在微量的L型氨基酸浓度优势和低温下L-L结合选择优势驱动下,已有可能通过相变产生单一手性的L型蛋白质。

上面对地球上生物手性起源问题作了简单介绍。如果弱力确实在此中扮演了关键角色,那么地外生命的氨基酸也必然是L型的,我们就可以从球外样品或陨石中检查氨基酸的手性来探测地外生命。虽然迄今还没有肯定证据,但这个探索的前景却是很鼓舞人心的。

来 稿 须 知

《现代物理知识》是高级物理科学杂志,主要报道现代物理各学科的新知识、新发展。根据本刊宗旨和国家著作权法有关规定,特对来稿提出如下要求:

来稿务必论点明确,论据可靠;文字优美,图文并茂;形式活泼,语言流畅。综述文章不超过5000字,其他文章限4000字以内,欢迎千字文。来稿需用16开单面400字稿纸抄写;用黑墨与硫酸纸插图,图中文字与符号用铅笔标出,并在正文中预留位置。翻译稿需提供原文。来稿字迹清楚,勿在字身上涂改;简化字以国家公布者为准;外文字母、符号须分清大、小写,正斜体;希文用红笔标出;上、下角的位置应特别明显。来稿请采用法定计量单位。应提供英文标题、作者姓名、通讯地址及邮政编码,并书写工整。无论刊登与否,恕

不退稿,需退稿或不同意编辑部删改者,请预先声明。
3个月未接到通知者,请通知本刊后自行处理。

黑龙江二届中专物教研讨会在泰安举行

黑龙江省第二届中专物理教学研讨会于去年8月4日至8日在山东泰安举行。来自全省中专、师范、技工、职工中专的代表共44人出席了大会。全国中专物教工作委员会副主任孙启天发来贺信,常委赵清福、安文学、韩建荣、李岚茵、李杰主持会议。

会议回顾了各分会成立一年来取得的成绩;交流了以“中专物理教学如何适应新形势发展的需要”为专题的学术论文;颁发了优秀论文证书;听取了有关专家的学术报告;召开了理事会议,通过了下步工作意见。本会副理事长兼秘书长、阿城师范学校高级讲师赵清福布置了分会下步工作。