

一个与生命起源有关的问题——

宇称不守恒、极化正电子和生物分子的手征性

陆 祖 荫

一、巴斯德的发现

将偏振光射入某些物质，就会发现出射光的偏振面向左或向右转动了一定角度，这些物质称为具有左(L)或右(D)的旋光性。

第一个发现细菌的伟大科学家法国的路易·巴斯德也是第一个发现生物分子有旋光性的人。1861年他发现葡萄糖有右旋光性。从葡萄汁制成的酒石酸也只有右旋光性，而化学合成的酒石酸，则左、右旋光性都有。他把一堆无旋光性(外消旋)的化学合成酒石酸放在显微镜下，用精细的镊子把它的晶体分开为两类，一类溶解于水中，其溶液为右旋的；另一类则是左旋的。

以后发现糖类都有旋光性。例如蔗糖、葡萄糖是右旋的，而果糖是左旋的。所有生物的氨基酸都是左旋的。这些生物分子都有确定的旋光性，而在自然界中化学生成的分子，左旋和右旋两种异构体是同时存在的。两种不同旋光性的化学异构体如何在漫长的进化过程中变为单一旋光性的生物分子，这是生物学中带有根本性的问题。尽管曾经有过种种猜想，但是一直到现在还没有可信的解释。

1950年发现了携带遗传信息的去氧核糖核酸(DNA)的结构为右手螺旋，于是解释生物分子旋光性的问题提高为解释生物分子的手征性(镜像不对称性)的问题。这是研究生命起源的一个大问题。

二、宇称不守恒和凡斯特-尤布里许特假说

1956年李政道和杨振宁提出弱相互作用宇称不守恒以后，人们很自然地想把宇称不守恒和旋光性、手征性联系起来，提出了一些假设、一些模型，也进行了一些实验，但是迄今尚未取得一致肯定的结论，问题的探索尚在进行中。

最早把宇称不守恒和生物大分子的不对称性相联系起来的，是美国耶鲁大学的凡斯脱和尤布里许特，这里有一段有趣的故事。

1957年1月，有机化学家尤布里许特到耶鲁大学附近的一家中国人开的洗衣店去取送洗的衣服，他随手翻了翻店主的纽约时报，突然看到当天纽约时报第一版上有一条惊人的消息：“哥伦比亚大学的物理学家发现：宇称在 β 衰变中不守恒”，这条消息立即抓住了他的心。他写道：“当时我并不了解宇称是什么东

西，但是看来这里有些什么东西与镜像有关系，有些什么东西是有机化学家可以了解的。”他又看到发现宇称不守恒的三个有关科学家——吴健雄、李政道、杨振宁也都是中国人。惊人的消息加上偶然的巧合使他又激动又兴奋。第二天早上，他的同事凡斯特手里也拿着一张纽约时报闯进他的实验室喊道：“你看到这个没有？”两个人便兴致勃勃地研究起宇称来了。他们想，宇称不守恒说明了物质本身存在着不对称性，这与有机化学家熟悉的不对称性有什么关系呢？所有生物体内的氨基酸都是左旋的，看来并不偶然，也许是正好反映了宇宙中物质结构的不对称性。这个新思想当时在系里引起一片混乱，他们的化学教授认为这是一个疯狂的念头。物理系的教授也分裂为赞成他们和反对他们两派。他们就到哥伦比亚大学去找吴健雄和李政道，使他们惊讶的是李政道竟很快接受了他们的想法。李说，这两种不对称性有可能有联系，极化的 β 辐射可能会影响化学反应得到的L、D异构体在数量上的平衡，并且建议他们进行一些实验来证明他们的想法。

凡斯特和尤布里许特提出了一些假设，其中之一是纵向极化的电子(即电子的自旋指向或反平行于它的运动方向。 β 衰变的电子就有这种特性)与物质相互作用产生圆偏振的轫致辐射。这些偏振辐射与有机分子作用。有机分子因本身的旋光性不同，因而辐射所引起的合成或降解程度也不相同，从而发生了有机分子的不对称性。

为了证实这个假设，人们用极化电子来照射外消旋的混合物，希望得到某种光学活性。

1968年盖莱用0.36毫居的 β 放射源 $^{90}\text{SrCl}$ 照射在稀碱溶剂中的酪氨酸(一种氨基酸)达18个月之久，结果认为D酪氨酸比L酪氨酸分解得更多些。

1974年庞纳用61700居里的 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ β 放射源照射同样物质达1.34年，总计量达 4.1×10^8 拉德，并未观察到有差异。他还观察了在中性、酸性和碱性溶液中以及固态的一些外消旋的氨基酸，也没有观察到光学活性。

1975年庞纳用能量为120千电子伏的纵向极化电子照射固态DL-谷氨酸(又一种氨基酸)，宣称观察到了两种异构体的分解程度不同。但是，这个实验照射的时间很长，此时谷氨酸降解的程度很大，达50—75%。

以上这些长时间的 β 照射都是涉及底物大量变化

的实验,只有在它们的产物能够测量得很精确时才有意义,这是不易做到的。例如,装样品的容器在大剂量 β 照射下,容器壁释放气体,作为杂质渗入产物中。它的量就是一个无法控制的因素。其次, β 粒子在底物中的慢化过程中,要产生几十倍、几百倍的次级电子。大量次级电子与底物的化学反应,完全把初级电子与底物的直接效应湮灭了。因此,我们很难分辨出一些与初级电子特性(如极化)有关的效应。

1974年莱孟用极化超热 μ 介原子分别照射固态的L及D丙氨酸(一种氨基酸),测量两种异构物的效应。这种方法比测量外消旋样品的方法,当然好得多。若是极化的超热 μ 介原子对不同旋光性异构体的作用不同,则作用以后 μ 子极化应当有变化。但是实验结果并未看到差异。他们还测量了液态L+D辛酸,也没有看到差异。

以上的实验结果,有正有负,不能得出肯定的结论。

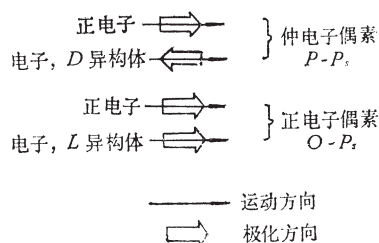
三、螺旋电子气模型

1973年盖莱发表了一个引人注目的实验,他将纵向极化的正电子射入固态的D、L异构体,观察到正电子与D、L异构体的电子形成正电子偶素(o-Ps)及仲电子偶素(P-Ps)的比例不同。正电子偶素的正电子和电子的极化平行,它衰变为三个 γ 光子,寿命为140微微秒。仲电子偶素的正电子和电子极化反平行,它衰变为两个 γ 光子,寿命为125微微秒。他的实验结果见表1。

表1 正电子湮灭时间谱的 $I_2^*(\%)$

	$I_2(\%)$	
	L	D
苯氨基丙酸	11.0	13.4
酪氨酸	4.4	4.7
三羟苯氨基丙酸	1.6	2.2
色氨酸	12.0	18.0

根据这个实验,拉斯科和盖莱提出了“螺旋电子气模型”。他们认为,L-异构体的手征性分子电子的螺旋性主要为正,而D-异构体的电子螺旋性主要为负。



螺旋电子气模型

螺旋性是粒子的极化矢量在动量方向上的投影。螺旋性为正表示电子以右手螺旋方式前进。由于正电子放射源的正电子为正,因此它们与L-异构体的螺旋性为正的电子形成正电子偶素,而与D-异构体螺旋性为负的电子形成仲电子偶素(见图)因此两者的湮灭几率 I_2 不同。在长期的演化中,这种差异逐渐扩大,最后导致单一手征性。

但是,1974年、1976年都有人采用同一种氨基酸进行实验,在百分之几的误差范围内,未发现不对称性。

1977年占恩等发表了他们的实验工作,他们认为用固态物质做实验,由于物质本身存在种种缺陷,影响正电子偶素的生成,因此得出的 I_2 值不可靠。应当用液态的物质才行。他们测量了在不同温度下酒石酸二乙酯等六种有机分子的旋光性,果然在固体时呈现出明显的不对称性,而液态时则没有明显的差别,见表2。

表2 辛酸的 I_2 值

温度 $^{\circ}\text{C}$	相	$I_2(\%)$	
		L 异构体	D 异构体
100	液	24.62 ± 0.83	23.64 ± 0.46
60	液	22.16 ± 0.95	22.50 ± 0.30
22	液	21.91 ± 0.40	21.28 ± 0.32
-78	固	18.84 ± 0.79	20.89 ± 0.10
-196	固	21.84 ± 0.71	24.01 ± 0.50

因此他们认为,除非不对称性的效应很小,否则盖莱-拉斯科的假说有问题。因为根据形成电子偶素的奥尔模型,放射源发射的能量为几百千电子伏的正电子,需要经多次碰撞慢化到几个电子伏以后,才会与原子中的电子结合形成电子偶素。多次碰撞会使正电子丧失原来的极化方向,所以实际上这些实验还是不能对盖莱-拉斯科假说提供证明。也就是说,这个假说还没有实验证明。

当然,也可能正电子在其慢化过程中,与它所激发的电子相结合成为电子偶素,这就是痕迹模型。但是无法证明被激发出来的电子是否还保持原来的螺旋性。因此测量由这种机制形成的电子偶素,不能认为是可靠的。

四、目前的进展

利用低能极化正电子来探测D、L异构体的不对称性,可以避免正电子在与电子形成电子偶素之前,因多次碰撞(慢化)而造成的极化方向的变化。里奇等在1979年发现将正电子射入镀有氧化镁的金箔中,在出射的正电子中,可以得到能量在1电子伏左右的极化

* I_2 是正电子湮灭的寿命谱中长寿成分的强度,它与形成热能的正电子偶素的数目有关。

正电子,用它来做实验,可以期望得到比较可靠的结果.

但是,最近福特等对异构体引起的不对称性作了重新估算.他们认为手征性分子的螺旋性只是轨道-自旋耦合相互作用的次级效应,因此估计不对称性可能小到十万分之几,而不是原来认为的百分之几.里奇等希望在1983年能把测量精度提高到十万分之一,则可对旋光性和螺旋性关系作出可信的判断.

但即使是这样,问题并未结束,人们进一步在探讨,不到万分之一的不对称性是怎样最终导致完全的不对称性呢?有人认为,存在着一种自催化作用,将不对称性逐步扩大,以致最终达到完全不对称.但是有

人认为这种不对称性比自然界物质本身的异构体不对称性的涨落还小,它湮没在涨落中,因此谈不上催化放大的问题.

五、结 语

自从凡斯特和尤布里许特在1957年提出他们的假说以来,廿五年中经历了一些反复曲折的过程.由于实验的复杂性,迄今还没有公认为可信的结论.对于宇称不守恒和生物分子手征性的关系的认识,也还是仅仅迈出了不大的几步.无论是在实验上,还是理论上都还需要坚持不懈地作出更大的努力,才能达到这个有关生命起源问题的顶峰.