

外国优秀科普著作译丛



美] I.阿西莫夫 著

下

# 最新科学指南

科学普及出版社

外国优秀科普著作译丛

# 最新科学指南

[美] I. 阿西莫夫 著

(下)

科学普及出版社

## 内 容 提 要

本书全面介绍了生物科学各个分支的发展状况和所取得的重要成就，首先讨论了有机分子和蛋白质的性质、细胞的结构和生命的起源，然后讲述了在微生物研究领域，特别是在抗菌、免疫和治疗癌症方面，取得的进展，继而叙述了酶、维生素、无机盐和激素对人体的作用，接着描述了生物的进化和人类的起源，最后讨论了头脑的精神活动和人工智能。附录介绍了数学在自然科学中的应用。本书对科技工作者了解相邻学科的发展、大中专学生扩大知识面和干部学习科学基础知识有重要参考价值。

(京)新登字026号

I. Asimov

ASIMOV'S NEW GUIDE TO SCIENCE

Basic Books, Inc., Publishers 1984

最新科学指南 (下)

[美] I. 阿西莫夫 著

程席法等译 杨中汉等审校

责任编辑：贾凤坡

封面设计：范惠民

技术设计：王羽非

\*

科学普及出版社出版 (北京海淀区白石桥路 32 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京邦达公司电脑照排 北京顺义李史山胶印厂印刷

\*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：16.875 字数：435 千字

1991 年 9 月第 1 版 1991 年 9 月第 1 次印刷

印数：1—3400 册 定价：10.20 元

ISBN 7-110-01593-9/N · 35

# 第十一章 分 子

## 有机物

分子（源自拉丁语，意为“小的质量”）一词最初是指物质的基本的、不可分割的单位；从某种意义上说，分子的确是一种基本微粒，因为如不丧失其特性就不能将其再分割。诚然，糖或水的分子可以分成单个的原子或原子团，但这样一来它们就不再是糖和水了。即使是 1 个氢分子，一旦分解为 2 个氢原子，也会丧失其特有的化学性质。

正如原子使 20 世纪的物理学获得了许多令人振奋的发现一样，分子也使化学获得了许多振奋人心的发现。现在，化学家们已经能够描绘出甚至是极其复杂的分子的详细结构图，能够辨别特定分子在活的机体中的作用，能够创造出复杂的新分子，并且能够以令人惊异的精确度预测某种已知结构的分子的性状。

到了 20 世纪中期，人们业已运用现代化学和物理学所能提供的各种技术，对构成活组织的关键成分——蛋白质和核酸——的复杂分子进行研究。**生物化学**（研究在活组织中进行的化学反应的学科）和**生物物理学**（研究与生命过程有关的物理力和物理现象的学科）这两门科学融为一体，形成了一门崭新的学科——**分子生物学**。由于分子生物学方面的种种研究成果，仅仅经过一代人的努力，现代科学就几乎消除了生命与非生命的界限。

然而，在将近一个半世纪以前，人们却连甚至最简单的分子的结构都搞不清楚。19世纪早期的化学家所能做到的，就是把所有的物质划分为两大类。他们早就知道（甚至在炼金术士的时代就已经知道），物质可根据其受热时的反应而分为明显不同的两大类。其中一类，如盐、铅和水，受热后基本保持原样。一经加热，盐会变得灼热，铅会熔化，水会蒸发，但是，当它们冷却到原来的温度时，它们就又恢复到原来的样子。显然，这番经历并没有使它们产生丝毫变化。但是，另一类物质，如糖和橄榄油，一经加热就会发生永久性变化。经加热，糖会变得焦黑，冷却之后依然是焦黑；橄榄油则被蒸发，烟雾虽经冷却也不会凝结成液体。后来，化学家们终于认识到，抗热物质一般来自空气、海洋和土壤构成的无生物界，而可燃物质通常来自生物界，即或直接来自活物质，或来自生物遗体。1807年，瑞典化学家贝采利乌斯——他发明了化学符号并着手编制第一个名符其实的原子重量图表（见第六章）——将可燃物质称为**有机物**（因为它们直接或间接地来自活的机体），而将其余的所有物质称为**无机物**。

早期的化学主要是研究无机物。正是对无机气体性状的研究，才导致了原子论的发展。原子论一经建立，人们很快就弄清楚了无机分子的性质。分析结果表明，无机分子一般是由为数不多的不同原子按一定的比例组成的。例如，水分子含有2个氢原子和1个氧原子；盐分子含有1个钠原子和1个氯原子；硫酸含有2个氢原子、1个硫原子和4个氧原子，等等。

当化学家们开始开析有机物时，情况就似乎大不相同了。两种物质可以具有完全相同的成分，但却显示出截然不同的性质。（例如，乙醇是由2个碳原子、1个氧原子和6个氢原子所组成，二甲醚也是如此，但前者在室温条件下是液体，后者却是气体。）有机分子比简单的无机分子含有更多的原子，而且这些原子的结合方式似乎也令人莫名其妙。简单的化学定律能够非常圆满地解释

无机物，但对有机化合物却简直是无能为力。

因此，贝采利乌斯断言，生命化学属于另外一种学科，它遵循自己的一套神秘莫测的规律。他认为，只有活组织才能制造有机化合物。他的这种观点就是**生机论**的范例。

后来，在 1828 年，贝采利乌斯的学生、德国化学家维勒竟然在实验室里制造出了一种有机物质！当时他正在加热一种叫做**氰酸铵**的化合物，而这种物质当时普遍认为是无机物。维勒十分惊奇地发现，这种物质在加热过程中变成一种在性质上与**尿素**（尿的一种成分）完全相同的白色物质。按照贝采利乌斯的观点，只有活组织才能形成尿素，然而维勒却由无机物将它制造了出来，而且仅仅是加了一下热。

维勒将这个试验重复做了许多次，最后才敢公布他的发现。贝采利乌斯和其他一些人起初根本不相信这是事实。然而，另外一些化学家却证实了这一结果。不仅如此，他们还陆续由无机原料合成了许多其他的有机化合物。第一位将元素合成有机化合物的是德国化学家科尔贝，他于 1845 年按这种方式制造出了**醋酸**（使醋产生味道的物质）。正是这项成就才真正地摧毁了贝采利乌斯的生机论。事情变得越来越清楚，适用于无机分子的化学定律，也同样适用于类似的有机分子。最后，人们对有机物和无机物之间的区别下了一个定义：凡是含有碳的物质（个别简单的化合物如二氧化碳例外）统称为有机物；其余的则称为无机物。

## 化学结构

要研究这门复杂的新化学，化学家们需要有一套表示化合物的简洁符号。幸运的是，贝采利乌斯已经提出了一个简便而合理的符号系统，即各元素都用它的拉丁文名称的缩写来表示。这样，C 就代表碳，O 就代表氧，H 就代表氢，N 就代表氮，S 就代表硫，P 就代表磷，等等。如果两种元素的名称的第一个字母相同，则再

用第二个字母，以资区别：例如，Ca 代表钙，Cl 代表氯，Cd 代表镉，Co 代表钴，Cr 代表铬，等等。仅在少数情况下，拉丁文或拉丁化名称（和首字母）不同于英文，例如：铁用 Fe 表示；银用 Ag 表示；金用 Au 表示；铜用 Cu 表示；锡用 Sn 表示；汞用 Hg 表示；铋用 Sb 表示；钠用 Na 表示；钾用 K 表示。

有了这个符号系统，很容易表示出某种分子的组成。水写作  $H_2O$ （由此表明该分子由 2 个氢原子和 1 个氧原子组成）；盐写作  $NaCl$ ；硫酸写作  $H_2SO_4$ ，等等。这就是化合物的**经验式**；它能告诉我们该化合物是由什么物质组成的，但却没有说出它的结构，即没有说明分子中的各个原子是以何种方式结合的。

1831 年，维勒的一位合作者李比希进一步研究出一系列有机化学制品的成分，从而将化学分析应用到了有机化学领域。他小心地燃烧少量的有机物，并用适当的化学制品来捕获燃烧时生成的气体（主要是  $CO_2$  和水蒸气， $H_2O$ ）。然后，他称出用于捕获该燃烧产物的化学制品的重量，看它在捕获了燃烧产物之后增加了多少重量。根据这一重量，他就能测定出原有机物的碳、氢和氧的重量。这样，根据各元素的原子量，就很容易计算出原有机物分子中各种原子的数目。例如，他用这种方法确定乙醇的分子式为  $C_2H_6O$ 。

李比希的这种方法无法测量出有机化合物中氮的含量。1833 年，法国化学家杜马发明的一种燃烧方法却能收集由物质释放出来的气态氮。1841 年，他用这种方法以空前的精度对大气的成分进行了分析。

**有机分析方法**变得日益精密，后来，奥地利化学家普列格尔发明的微量分析方法更是精益求精，可算是真正的奇迹。普列格尔于 1909 年开始研制一项能够精确分析肉眼勉强能看见的微量有机化合物的技术，并因此而获得了 1923 年的诺贝尔化学奖。

令人遗憾的是，仅仅确定有机化合物的分子式对于阐明它们

的化学性质并没有多大帮助。同一般仅由两三个、至多也不过十几个原子构成的无机化合物相反，有机分子的原子数目却往往大得惊人。李比希发现，吗啡的分子式是  $C_{17}H_{19}O_3N$ ，马钱子碱是  $C_{21}H_{22}O_2N_2$ 。

要研究如此大的分子，或者搞清楚它们的分子式，化学家们无不感到一筹莫展。维勒和李比希试图将原子归并成较小的集合即**原子团**，并试图创立一种理论，以证明不同的化合物是由数目不等、组合方式不同的特定原子团组成的。他们的有些方案是极为巧妙的，但没有一种方案能真正说明问题。尤其难以解释清楚的是，为什么分子式相同的两种化合物，如乙醇和二甲醚，竟会具有不同的性质。

19 世纪 20 年代，李比希和维勒率先使这一问题的解决展现出一道曙光。当时，李比希正在研究一组叫做**雷酸盐**的化合物，维勒则正在研究一组叫做**异氰酸盐**的化合物，结果他们发现，这两组化合物具有完全相同的分子式，也就是说，它们的元素的数目是相同的。当时的化学界权威贝采利乌斯得知这一消息后，竟不相信这一发现。直到 1830 年他本人也发现了一些这样的实例，才不再怀疑。贝采利乌斯把这些元素组成相同但性质各异的化合物命名为**同分异构体**。在那个年代，有机分子的结构的确是一个难解之谜。

19 世纪 50 年代，陷入有机化学这个迷宫中的化学家们开始看到一线光明。他们发现，每种原子都只能同一定数目的其他原子相结合。例如，氢原子显然只能与一个原子结合：它可以形成氯化氢  $HCl$ ，但永远形不成  $HCl_2$ 。同样，氯和钠各自都只能有一个伙伴，因而它们形成的是  $NaCl$ 。可是，一个氧原子却能够同两个原子作伴，如  $H_2O$ 。氮能够同 3 个原子结合在一起，如  $NH_3$ （氨）。碳能够同多达 4 个原子结合，如  $CCl_4$ （四氯化碳）。

总之，每种原子好像都有一定数目的钩子来钩住其他原子。

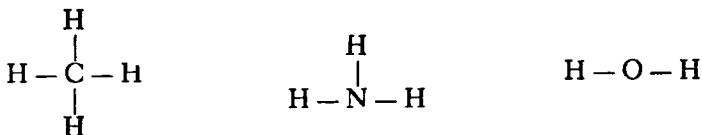


1852年，英国化学家弗兰克兰首次清楚地阐述了这一理论，他将这些钩子称为价键（为一拉丁词，意思为“力”），用于表示各种元素的结合能力。

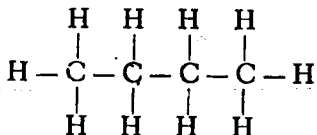
德国化学家凯库勒发现，如果假定碳的价键是4，并假定碳原子能够利用这些价键（至少是部分价键）彼此相连成链，那么就可以走出有机化学家这个迷宫，绘制出分子的结构图。苏格兰化学家库珀提议将原子间的这种结合力（通常称之为键）画成短线的形状，从而使凯库勒的描述方法变得更加直观。这样有机分子就可以建立起犹如“结构玩具”<sup>①</sup>所组成的许许多多的结构。

1861年，凯库勒编著的一本教科书问世，其中就有许多这样的图例，证明既方便又实用。从此，结构式就成了有机化学家的印记。

例如，甲烷（ $\text{CH}_4$ ）、氨（ $\text{NH}_3$ ）和水（ $\text{H}_2\text{O}$ ）的分子可分别写做：

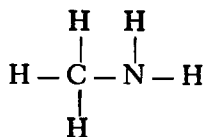
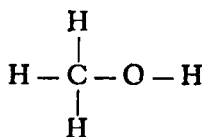


有机分子可以用两侧各连接若干个氢原子的碳链来表示。例如，丁烷（ $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ）具有如下结构：

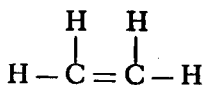


<sup>①</sup> 一套各种形状的零件，儿童可用螺控等自由地组合成车辆、房子等结构。——译注

以甲醇 (CH<sub>4</sub>O) 和甲胺 (CH<sub>5</sub>N) 为例, 氧和氮可以以如下方式进入碳链中:

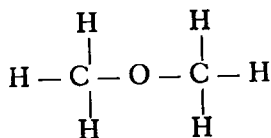
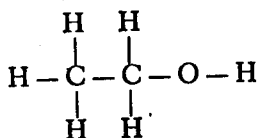


有些原子不止拥有 1 个钩子, 如碳原子有 4 个钩子, 每一个钩子不一定都要与 1 个不同的原子相连; 它还可以同相邻的原子形成双键或三键, 例如, 在乙烯 (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 和乙炔 (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 中:



现在很容易明白, 为什么两种分子所含的各种元素的原子数目可以完全相同, 而二者的性质却不相同。这两种同分异构体必定具有不同的原子排列方式。

例如, 乙醇和二甲醚的结构式可分别写做:



分子中的原子越多, 可能的排列方式就越多, 同分异构体也就越多, 例如, 庚烷分子是由 7 个碳原子和 16 个氢原子组成的, 它可以有 9 种不同的排列方式, 换句话说, 可能有 9 种不同的、各具特性的庚烷。这 9 种同分异构体彼此十分相象, 但仅仅是种族上的相象而已。化学家们已制出所有这 9 种物质, 但从未发现第十种。这是支持凯库勒系统的一个很好的证据。

一种含有 40 个碳原子和 82 个氢原子的化合物约有  $62.5 \times 10^{12}$  种可能的排列方式或同样数目的同分异构体。而这样大的有机分子并不罕见。

只有碳原子能够互相连接形成很长的链，其他原子若能形成含有 5、6 个原子的链就算不错了。因此，无机分子一般都很简单，也很少有同分异构体。有机分子的高度复杂性使之出现众多的同分异构现象，目前已知的有机化合物已达数百万种，而且每天都有新的化合物形成，还有不计其数的化合物有待人们去发现。

现在，人们普遍应用结构式作为探索有机分子性质的必不可少的向导。作为一种捷径，化学家们常常以构成分子的原子团或基，如甲基 ( $\text{CH}_3$ ) 和亚甲基 ( $\text{CH}_2$ )，来书写分子的结构式。因此，丁烷的结构式可以简写成  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 。

## 结构的细节

19 世纪后半叶，化学家们发现了一种特别奇妙的同分异构现象，后来证明，这种现象在生命化学中是极其重要的。这一发现是，某些有机化合物对通过它们的光束具有一种奇异的不对称效应。

### 旋光性

从普通光束的一个截面可以看出，构成该光束的无数波在所有平面呈上下、左右和斜向振动。这类光称为**非偏振光**。但是，当光束通过透明物质的晶体（如冰洲石）时，就会发生折射，使出射光变成**偏振光**。这仿佛是该晶体的原子点阵只允许某些波动面通过（就像栅栏只允许行人侧身挤过，但却不能让人大摇大摆地

正面穿过一样)。有些装置，如苏格兰物理学家尼科耳于 1829 年发明的**尼科耳棱镜**，只允许光在一个平面通过（图 11-1）。目前，这种棱镜在大多数场合已由其他材料，如偏振片（一组镶在硝化纤维中的、晶轴平行排列的硫酸奎宁与碘的复合物晶体），所代替。第一个偏振片是兰德于 1932 年制作的。

正如法国物理学家马吕于 1808 年所首先发现的那样，反射光往往是部分平面偏振光（他利用牛顿关于光粒子极点的论点——这一点牛顿错了，但这个名字却沿用至今——创立了偏振这一术语）。因此，配戴偏振片太阳镜，可以使从建筑物和汽车窗玻璃甚至从公路路面反射到眼睛的强烈阳光减弱到柔和的程度。

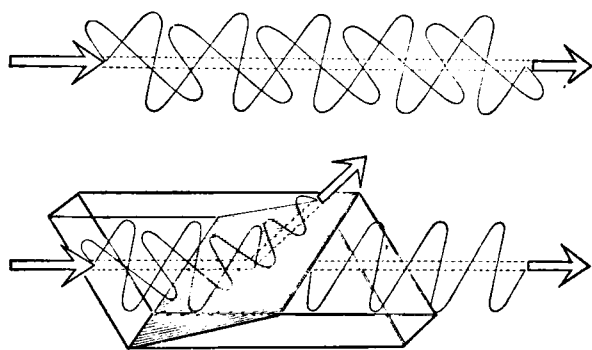


图 11-1 光的偏振。光波正常情况下在所有平面振动（上图）。尼科耳棱镜（下图）只允许在一个平面内振动的光通过，其余的光都被反射掉。因此，透射光为平面偏振光

1815 年，法国物理学家毕奥发现，当平面偏振光通过石英晶体时，偏振面会转动。也就是说，光以波浪形进入一个平面，而以波浪形从另一个平面射出。具有这种作用的物质就叫做**旋光性物质**。有些石英晶体能使振动平面按顺时针方向转动（**右旋**），而有些石英晶体能使其按逆时针方向转动（**左旋**）。毕奥还发现，有些有机化合物，例如樟脑和酒石酸，也具有同样的作用。他认为，

光束转动的原因，很可能是由分子中原子排列的某种不对称性造成的。但是，在以后的几十年间，这种见解依然只是一种纯理论的推测。

1844年，巴斯德（当时他只有22岁）被这个有趣的问题给迷住了。他研究了两种物质：酒石酸和外消旋酸。二者虽然具有相同的化学成分，但酒石酸能使偏振光的振动平面转动，而外消旋酸却不能。巴斯德猜想，或许能够证明，酒石酸盐的晶体是不对称的，而外消旋酸盐的晶体是对称的。出乎他的意料，通过在显微镜下观察这两组盐的晶体，他却发现二者都是不对称的。不过，外消旋酸盐晶体具有两种形式的不对称性：一半晶体与酒石酸盐晶体的形状相同，而另一半则为镜像。也就是说，外消旋酸盐的晶体，有一半是左旋的，一半是右旋的。

巴斯德煞费苦心地将左旋的和右旋的外消旋酸盐晶体分开，然后分别制成溶液，并让光速通过每一种溶液。果然，与酒石酸晶体有着相同不对称性的晶体，其溶液像酒石酸盐那样使偏振光的振动面发生转动，而转动角度也相同。这些晶体就是酒石酸盐。另一组晶体的溶液则使偏振光的振动面向相反方向转动，转动角度相同。由此可见，原外消旋酸盐之所以没有显示出旋光性，是因为这两种对立的倾向互相抵消了。

接着，巴斯德又在这两种溶液中加入氢离子，使这两类外消旋酸盐再变为外消旋酸。（顺便说一句，盐是酸分子中1个或数个氢离子被钾或钠这类带正电的离子取代后生成的化合物）。他发现，这两类外消旋酸都具有旋光性，其中一类使偏振光转动的方向与酒石酸相同（因为它**就是**酒石酸），而另一类使偏振光转动的方向则与之相反。

以后又发现了许多对这样的镜像化合物即**对映体**（源于希腊语，意为“相反的形状”）。1863年，德国化学家维利采努斯发现，乳酸（酸牛奶中的酸）能形成这样的化合物。他进一步证明，

除了对偏振光所产生的作用不同外，这两种乳酸的其他性质完全一样。后来证实，这一点对于各种镜像化合物是普遍成立的。

到这时为止，事情都还算顺利。但是，不对称性是如何产生的呢？又是什么东西使两种分子彼此互为镜像的呢？巴斯德未能回答这些问题。提出存在分子不对称性的毕奥，尽管活到 88 岁的高龄，生前也未能看到他凭直觉得出的结论被证明是正确的。

直到 1874 年，即奥死后的第 12 年，才最后找到答案。两位年轻的化学家——一位是名叫范托夫的 22 岁的荷兰人，另一位是名叫勒贝尔的 27 岁的法国人——各自独立地提出了关于碳的价键的新理论，从而解答了镜像分子的构成问题。（自此以后，范托夫毕生从事溶液中的物质性状的研究，并证明了支配液体性状的定律类似于支配气体性状的定律。由于这项成就，他于 1901 年成为第一个获得诺贝尔化学奖的人。）

凯库勒把碳原子的 4 个价键统统画在同一个平面内，这并不是因为碳键确实是这样排列的，而只是因为把它们画在一张平展的纸上比较简便而已。范托夫和勒贝尔则提出了一个三维模型。在这个模型中，他们将 4 个价键分配在两个互相重直的平面内，每个平面各有两个价键。描绘这一模型的最好办法，是设想 4 个价键中的任意 3 个价键作为腿支撑着碳原子，而第 4 个价键则指向正上方。如果假定碳原子位于正四面体（4 个面都是正三角形的几何图形）的中心，那么，这 4 个价键就指向该正四面体的 4 个顶点。因此，这个模型被称之为**碳原子的正四面体模型**（图 11·2）。

现在让我们把 2 个氢原子、1 个氯原子和 1 个溴原子连接在这 4 个价键上。不论我们把哪个原子与哪个价键连接，总是得到同样的排列。读者不妨亲自动手试试看。首先，将 4 根牙签以适当的角度插入一块软糖（代表碳原子），这样就有了 4 个价键，然后将 2 颗黑橄榄（代表氢原子）、1 颗绿橄榄（代表氯原子）和 1

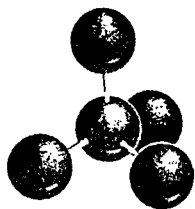


图 11-2 碳原子的正四面体模型

颗樱桃（代表溴原子）任意插在牙签的另一端。如果你让这个结构的 3 条腿站立在桌面上，而上方所指的是一颗黑橄榄，那么，3 条腿上的东西按顺时针方向依次是黑橄榄、绿橄榄和樱桃。现在你可以将绿橄榄和樱桃的位置交换一下，那么顺序就变为黑橄榄、樱桃和绿橄榄了。如果你想恢复到原来的顺序，你只需将这个结构翻转一下，即使原来作腿的那颗黑橄榄指向空中，而使原来指向空中的黑橄榄立于桌面。这样，3 条腿的顺序就又是黑橄榄、绿橄榄和樱桃了。

换句话说，如果同碳原子的 4 个价键连接的 4 个原子（或原子团）中至少有两个是完全相同的话，那么，就只能有一种排列方式。（显然，若所连接的原子或原子团有 3 个或所有 4 个都是相同的，当然也是这种情形。）

然而，当连接在碳键上的 4 个原子（或原子团）都不相同时，情况就会发生变化。这时就能够有两种不同的排列方式——一个是另一个的镜像。例如，如果你在朝上的腿上插一颗樱桃，在 3 条立着的腿上分别插上黑橄榄、绿橄榄和洋葱片。如果你将黑橄榄和绿橄榄调换一下位置，那么按顺时针方向的顺序则依次为绿橄榄、黑橄榄和洋葱片。在这种情形下，无论怎样旋转这个结构，都不能使恢复到调换前的顺序，即黑橄榄、绿橄榄和洋葱片。可见，

当碳键所连接的 4 个原子（或原子团）都不相同时，总是得到两种不同的、互为镜像的结构。读者不妨试试看。

范托夫和勒贝尔就这样揭开了旋光性物质不对称性的秘密。原来使光向相反方向转动的镜像物质的碳原子，其价键连接着 4 个不同的原子或原子团。这 4 个原子或原子团有两种可能的排列方式，一种使偏振光右旋，另一种使偏振光左旋。

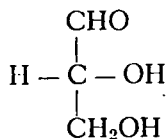
越来越多的证据有力地支持了范托夫和勒贝尔的碳原子正四面体模型。到 1885 年，他们的理论已得到普遍承认（这要部分归功于维斯利采努斯的热情支持）。

三维结构的概念还被应用于碳原子以外的其他原子。德国化学家迈尔成功地将这一概念应用于氮原子，而英国化学家波普则将其应用于硫、硒和锡原子。德国血统的瑞士化学家韦尔纳将其应用到更多的元素。他还于 19 世纪 90 年代着手创立一种**坐标理论**，即通过认真研究某一中心原子周围的原子和原子团的分布，来解释复杂的无机物的结构。由于这项成就，韦尔纳获得了 1913 年的诺贝尔化学奖。

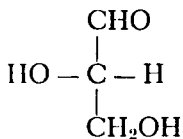
巴斯德将分离的两种外消旋酸分别命名为 **d 酒石酸（右旋的）** 和 **l 酒石酸（左旋的）**，并且为它们写出了镜像结构式。然而，哪一个是真正的右旋化合物，哪一个是左旋化合物，当时尚没有办法分清。

为了向化学家们提供用以区分右旋物质和左旋物质的参照物或对比标准，德国化学家 E. 费歇尔选择了食糖的近亲，即称之为**甘油醛**的简单化合物。它是当时研究得最为透彻的旋光性化合物之一。他任意地将它的一种形态规定为是左旋的，称之为 **L 甘油醛**，而将它的镜像化合物规定为是右旋的，称之为 **D 甘油醛**。他将这两种甘油醛的结构式分别写作：





D 甘油醛



L 甘油醛

任何一种化合物，只要能用适当的化学方法证明（这是一项相当细致的工作）它具有与 L 甘油醛类似的结构，那么，不管它对偏振光的作用是左旋的还是右旋的，都被认为属于 L 系列，并在它的名称前冠以 L。后来发现，过去认为是左旋形态的酒石酸原来属于 D 系列，而不属于 L 系列。现在，凡在结构上属于 D 系列而使光向左转动的化合物，我们就在它的名称前面冠以 D(-)；同样，有些化合物则要冠以 D(+)、L(+) 和 L(-)。

现在看来，潜心研究旋光性的细节具有重要意义，决不是在好奇心的驱使下所做的徒劳无益的工作。说来也巧，活机体中几乎所有的化合物都含有不对称的碳原子。而且，活机体总是只利用化合物的两种镜像形态中的一种。另外，类似的化合物一般属于同一种系列。例如，在活组织中发现的所有单糖实际上都属于 D 系列，而所有的氨基酸（组成蛋白质的基本单位）属于 L 系列。

1955 年，荷兰化学家比杰沃特终于确定了什么样的结构会使偏振光左旋，什么样的结构会使偏振光右旋。人们这才知道，在左旋形态和右旋形态的命名上，E. 费歇尔只不过是碰巧猜对了而已。

### 苯环自相矛盾的现象

在凯库勒的结构式系统牢固建立之后的若干年内，人们仍然不能写出一种分子相当简单的化合物的结构式。这种化合物就是苯（它是法拉第 1825 年发现的）。化学分析结果表明，它是由 6 个碳原子和 6 个氢原子组成的。那么，多余的碳键哪里去了呢？（以