

近代化学的奠基人波义耳

在三百多年化学科学发展的历史上，波义耳是一位名列榜首的化学家。因为，他第一个用实验事实，科学地阐明了化学元素的本性，从而使化学走向了科学的道路。波义耳是怎样一个人？他是如何做出这样重大贡献的呢？

自幼酷爱科学

如果翻开那些大科学家们的历史看一看，你一定会发现，他们大都是从小就勤奋学习、酷爱科学的人。英国著名化学家、物理学家波义耳就是他们中的一个。

1627年1月25日，波义耳生于爱尔兰的利斯莫尔城堡。父亲理查德·波义耳，是爱尔兰首府科克郡的伯爵，是个有名的大富翁，共有14个儿女。罗伯特·波义耳是这14个儿女中最小的一个，但在儿子的行列中他是第7位。别看 he 在这个贵族家庭中排名位置不佳，可自幼就表现出非凡的记忆力和语言才能，有“神童”之称。8岁那年，他结束家庭的初级教育去伊顿上学时，就已经能用希腊文和拉丁

文讲话了。在那所贵族子弟学校里，他是一个出色的学生，对自然科学有着极浓厚的兴趣。

他的父亲是个对孩子很严厉的人，但对小儿子想搞科学的愿望很支持。他常对罗伯特·波义耳说：“你要想成为一个科学家，就必须得努力学习。”他给儿子聘请了优秀的家庭教师。

罗伯特·波义耳在伊顿学习到 12 岁以后便由家庭教师陪同到法国、意大利、瑞士等国游学。在这期间，他学习了天文学家伽利略的著作、数学家笛卡儿的著作以及大量的化学、医学、哲学等方面的书籍。在日内瓦，他还受到宗教的感化，但他没有因此反对科学，却认为科学能支持“神的启示”。

1644 年，17 岁的波义耳回国时，他的父亲已在战争中死亡，给他留下了一份足够他维持生活的遗产。父亲去世后，在家里支持他搞科学的，就算是他的姐姐雷尼拉夫人了。

在姐姐家里的辩论

在姐姐雷尼拉夫人的家里，经常有一些科学家、文学家、哲学家在一起聚会，讨论学术方面的问题。气氛十分热烈。波义耳回到伦敦后，也成了这种聚会的积极参加者。

法国著名的数学家和哲学家勒内·笛卡儿是雷尼拉夫

夫人家里的座上宾。他也常来参加聚会，并且成了年轻的波义耳辩论的对手。笛卡儿的最大贡献是创立了“解析几何学”。在哲学方面，他主张理论至上，认为清晰明白的概念就是真理。这种错误主张在当时还得到了许多学者的赞同。

波义耳不同意这种观点，他对这位年长且有很高名望的笛卡儿说：“您把理性放在高于一切的位置是不对的。科学应该是实验科学，理性应该是来自实验。”他特别赞同英国哲学家培根的观点，即“真正的知识应该建立在实验研究方法的基础上。”一个哲学家，不应该像蜘蛛一样，把理性花在搞阴谋诡计上，他应该像蜜蜂一样，搜集事实，靠思维把它们酿成蜜。”

波义耳与笛卡儿的学术辩论，一直持续了好几天。在辩论中，还涉及到关于物质的组成问题。当时流行的有毕达哥拉斯的“四元素说”，即物质都是由火、水、气和土四种元素所组成的。还有帕拉塞斯的“三元素说”，即物质是由硫、汞和盐三种元素所组成。波义耳对这两种学说都持怀疑态度。可是，如何解决这样重大的科学问题呢？他认为：“空谈无济于事，实验决定一切。”为实验方便，他要建立自己的实验室。

豪华住宅变成了实验室

波义耳虽出身于贵族家庭，但从从不追求豪华享乐的生

活，把钱都用在了科学事业上。现在，他要筹建自己的实验室时，立刻就想到斯泰尔桥这个地方。这里是他继承的遗产。他决定把豪华的建筑加以改建，变成实验室。自己的卧室、图书馆也安排在这里。

经过紧张的筹建、施工，实验室于 1645 年底便建成并开始使用了。

这个实验室的设备相当不错。波义耳还配备了几位助手和技术人员。在这里，他进行了大量的化学及物理学方面的实验。他的实验室还是对外开放的，社会上的化学和物理学爱好者，都可以来这里进行实验研究。不久，这里便成了一个引人注目的实验研究中心。

在化学研究中，波义耳对物质的组成探讨最为深入，成果也最为突出。1661 年出版的化学名著《怀疑派化学家》，就是他关于物质组成的成功之作。也是化学发展史上的一个重要里程碑。

怀疑派化学家

《怀疑派化学家》这本书是采用朋友之间对话的形式写成的。书里的人物共有四位。一位是怀疑派化学家，他代表了波义耳本人的观点；一位是逍遥派化学家，他代表“四元素说”的观点；一位是医药派化学家，他是“三元素说”的代表；还有一位是中立派化学家，他在争论中保持中立。



图-1 波义耳在进行实验研究

有一天，四位朋友在长尼兹的花园中相会，便讨论起“元素”问题。

逍遥派化学家的观点是 宇宙万物都是由土、水、气和火四种元素所组成。这四种元素又是由四种物性即冷、热、干、湿 两两结合成的。冷与干结合成土 湿与冷结合成水；热与湿结合成气（风）；干与热结合成火。四种元素按不同比例结合 就形成各种各样的物质。这样 只要改变四元素的比例，普通金属也能变成黄金。

医药派化学家则认为 万物都是由硫、汞（水银）盐三种元素按不同比例组成的。认为汞是一切金属的本质，硫是一切可燃物所共有的，硫与汞结合可以得到各种金属。普通金属与黄金、白银的差别 就在于含硫、汞的比例不同和纯度不同。如果找到一种“哲人石”就可以把金属中的下贱成分除掉 使普通金属变为金、银。

这两派的观点 虽说法不同 但本质上是一样的。他们都为炼金术士们提供了“理论”依据。今天听来这些十分可笑的错误观点 在波义耳时代 却是极为盛行的。

代表波义耳的怀疑派化学家，以大量的实验事实驳斥了他们的观点。波义耳举出了黄金的例子。他说：黄金不怕火烧 经过烈火也未见黄金分解 更没分解出硫、汞和盐，也不可能含有土、水、气和火。但黄金可以跟其它金属形成合金 也可以用王水溶解 溶解后再经处理 底层就会沉淀出一层金粉，其数量和性质跟原来溶解的黄金一样。这说明黄金无论经过什么化学反应，黄金的微粒是不变的。他还举出水银的实验、铜的实验来说明这个观点。

怀疑派化学家在这里还批驳了“火能使复杂物质分解为元素”的说法。他说“砂子和碱混合熔化，会生成透明的玻璃，但玻璃不再被火分解成原来的物质或更简单的物质。在他列举出许多事实之后，得出的结论是：“化学家从来也没有证明，化合物能通过化学分析正好分解出三种可以当作元素的特定物质。”他断言“物质的形成是复杂的。”“四元素说”、“三元素说”都是错误的，就像一个人只认识三四个密码，却要破译一本用大量密码写成的书。这是不可能的。

从大量实验事实出发，他给元素下了一个明确的定义。他说：“我指的元素，应当是不由其它任何物质所构成的原始的、简单的、纯净的物质”；“是具有确定性质的、实在的、可觉察到的实物，是用一般化学方法不能再分解的最简单的实物”。

从现代观点看，他说的元素就是单质。尽管如此，在当时，波义耳关于元素的论证，有力地批判了炼金术士们陈旧的、唯心的元素观，使化学研究走向了科学的道路。

继 1661 年《怀疑派化学家》这一名著发表之后，第二年，他又发表了以他的名字命名的“波义耳定律”。

波义耳定律的发现

波义耳不仅是一位杰出的实验化学家，还是一位出色的实验物理学家。在物理学方面，使他最感兴趣的，是气体

的研究。

首先，他注意到气体有弹性，即可被压缩。液体蒸发时，蒸汽会弥散在整个空间。这使他得出一个合理的推论，那就是气体是由保持一定距离的小微粒组成的。气体有弹性，就是微粒间的距离可大可小。

他还用一个抽掉空气的圆筒，第一次证明一块铅和一根羽毛在没有空气阻力时会同时着地。这正是伽利略的自由落体定律：一切物体在真空中下落的速度相等，而与物体重量无关。

当他知道葛利克制成了研究气体的设备空气抽气机后，便在助手虎克的协助下，自行设计制成了效率更高的抽气泵。这种抽气泵得到的真空，被叫做“波义耳真空”。

利用自制的抽气泵，波义耳多次做了气体的体积与压力有关的实验。在波义耳之前，意大利的科学家托赛利，于1643年就做过空气有压力的实验。但未能发现气体体积与压力之间的定量关系。波义耳就是要在前人的基础上，深入探究这样的问题。

他的实验清楚而有趣地表明：气体的体积与压力是成反比的。当压力增大一倍，体积就减少一半；当压力减少一半，体积又增大一倍。这是他用多种方法、多次实验，通过细心测量得出的结论。不论在压力高于大气压，还是压力低于大气压的情况下，都是如此。这就是著名的波义耳定律。它是1662年物理学上的重大发现。1676年，法国物

理学家马略特也发表了一篇论文，说明气体体积与压力成反比的定量关系。所以，这一定律也称波义耳-马略特定律。

在波义耳定律发表的第二年，即 1663 年，世界知名的英国皇家学会成立了。波义耳被一致选举为该会会员。这时的波义耳名声愈来愈大。到处受到尊敬。不少公司请他任职，甚至还经常应邀入宫。但是，这一切荣耀丝毫也没有引起波义耳的关注。他所全力关注的还是科学事业。这时正是他创造力的极盛时期，一篇接一篇的科学论著不断发表出来。

1664 年，他发表了《关于颜色的试验和思考》；1665 年，又有《酸碱假设的思考》问世，后来还出版了《矿泉水的原始史简编》。这些都是波义耳在分析化学方面的重大贡献。

紫罗兰变色引起的思考

一天，在波义耳的实验室里，一束深紫色的、非常漂亮的紫罗兰忽然冒起烟来。走近一看，原来是做实验用的浓盐酸溅到花上了。波义耳立即拿起花束，放在水里清洗。结果，魔术般的奇迹发生了，紫罗兰变成红色，成了“红罗

这一偶然发现，却引起了波义耳的认真思考：紫罗兰若遇到其它的酸溶液，会不会也有这种现象呢？如果不是紫

罗兰而是其它有色植物呢？如果有色植物遇到的不是酸，而是酸的对立物——碱，又会有什么结果呢？

波义耳解决这一连串问题的唯一办法，就是实验。于是他让助手们离开实验室，去花园、去田野搜集各种有色植物。当助手们回来的时候，实验室几乎变成一座花房。这里不仅有上好的紫罗兰，还有玫瑰、樱草、洋红、石蕊、姜黄、苏木、五倍子等等。波义耳和他的助手们先把这些有色植物的浆汁浸渍出来，再将浸液分别与酸、碱作用。有的在酸作用下变色，有的则遇碱才改变颜色。最有趣的是，紫色的石蕊浸液遇酸变红，遇碱则变蓝。这样一来，不就可以用这些植物浸液来辨认什么是酸，什么是碱了吗？这些浸液就是酸碱指示剂。为了使用方便，波义耳还想出了用吸收浸液后又烤干的纸，来检验酸碱的办法。至今还在使用的石蕊试纸，就是当年波义耳的发明。

在这项研究中，他还进一步了解到，除酸碱反应外，还有许多化学反应可以生成有颜色的物质。利用这些颜色的变化，就可以检验更多的物质。例如，硝酸银溶液与盐酸相遇，就会产生白色沉淀（即氯化银，当时波义耳称它为“月牙”）。碳酸钾溶液（植物中的碱）与氯化汞作用，则产生黄色沉淀。铜盐溶液中加些氨水，蓝色就会明显变深。如果蘸点铜盐在火上烧一烧，火焰就会呈现绿色等等。

分析化学，就是检验分析物质的成分和含量的。波义耳的上述发现，为分析化学的发展打下了很好的基础。所

以 人们都尊敬地称他是分析化学的奠基人。

一个科学家，哪怕是一个最伟大的科学家在科学工作上，也不可能没有缺点和错误。波义耳在研究燃烧现象时所提出的“火微粒说”就是一例。

“火微粒”在哪里？

波义耳的燃烧实验 最初是同虎克共同完成的 虎克是波义耳的最得力的助手，也是一位出色的物理学家。年轻时曾在牛津基督教堂当过合唱队员。后来做科学研究工作 他研究弹性物体发现了著名的“虎克定律”。他自称发现万有引力定律比牛顿还要早。 1666 年伦敦大火后 他参加了伦敦的重建工作。担任测量检查员，发了大财。他把大量钱财紧锁在铁箱里，死后才被人发现。他一生发明了许多科学仪器和设备。波义耳实验室里那个可以抽真空的空气泵，就是他协助波义耳设计制造的。

利用这个空气泵 不仅做了大量的气体压力的实验 从而发现了波义耳定律，还做过许多有关燃烧的实验。

硫黄在空气中燃烧 会产生蓝色火焰。可是 当用空气泵把玻璃罩内的空气抽走，硫黄受热却只见冒烟不见着火 蜡烛的火焰、氢气的火焰 离开空气也会熄灭。这说明 空气是物质燃烧不可缺少的。

但是 后来波义耳研究火药燃烧时 却发现了意外的情

况。火药在真空中放置的红热铁板上 却能燃烧很久 且不发生爆炸。怎么回事？没有空气也能燃烧吗？是不是制火药的硝石中混进了空气呢？于是，他改用在真空中结晶的硝石制成的火药，得到了同样的实验结果。由此他得出的结论是 与硝石混合的物质 在没有空气时才能燃烧 是因为硝石受热时可以得到“与空气相似的活化气体”。他这里说的“活化气体”就是现在说的氧气。当时 他只是说明了燃烧需要空气或“与空气相似的气体”但却没弄清 空气或“与空气相似的气体”在燃烧时究竟起了什么作用。

正因为如此 他不了解燃烧的本质 才导致他在解释金属燃烧后增重这一现象时，提出了一个错误的“火微粒说”。

波义耳亲自做了锡燃烧的实验 并通过称量 确知燃烧后生成的灰渣比原来的锡更重了。他认为，这是“火微粒”通过烧瓶的玻璃 被金属吸收了。在这里 他错误地把火当成了一种实实在在的有重量的物质。在他的题为《固定火焰并使之可称的新实验》论文中，就提出了这样一个公式：

$$\text{金属} + \text{火微粒} = \text{金属灰渣}$$

火是发光放热的一种现象，并非有重量的物质。波义耳产生这种把火看作物质的错误原因，就在于他在实验中只注意到燃烧物金属的重量变化，却忽视了在燃烧物周围的空气有没有变化。这真是“智者千虑必有一失”。

尽管波义耳的科学观点也有错误之处，但从他一生的

科学业绩来看。仍不失是一位伟大的科学家。他在化学、物理学以及哲学方面，都为人类做出了重大贡献。正因为这样，1680年英国皇家学会推举他担任主席。但是，一向不贪求名誉的波义耳，却谢绝了这个崇高的荣誉。他所希望的是有一个平静的晚年。

波义耳的晚年

波义耳的晚年似乎比别人来得更早一些。因为他的身体素质一直不好，年轻时就经常搜集药方给自己配药。他身上还常常带着温度计 随气温的变化 及时更换衣服。他终生未婚，书和实验室就是他的生活伴侣。53岁的波义耳身体健康已有明显恶化。难以正常工作了。他不得不离开实验室，搬到祖传的庄园去住。

在庄园的日子里，他并没有完全休息。他总结自己35年的科学研究工作，写了不少著作。他还花了不少时间研究哲学和神学，而且写出一些有影响的哲学和宗教论文。

晚年时期的波义耳宗教思想日益浓厚。为研究圣经，他曾学习过希伯来语。为宗教的发展，他还资助在东方的传教活动。

1691年12月30日，64岁的波义耳在伦敦逝世，死后他留下了一大笔财产。根据本人遗嘱，这笔巨款用于举办以传播宗教为内容的“波义耳讲座”。但是他死后留给人

们的真正财富不是金钱。而是用他一生的努力所形成的丰富的科学成就。是他提出了科学的元素概念，才宣告了“炼金时代”的结束，开辟了化学作为一门独立科学的新纪元。

揭开燃烧之谜的化学家拉瓦锡

燃烧是生活中常见的一种现象，也是人类最早的化学应用。然而，在漫长的历史年代里，人们却只知道利用燃烧，而不知道燃烧究竟是怎么回事。到了 17 世纪，有不少化学家对此做了研究，企图揭开这个多年未解的燃烧之谜。波义耳就提出过“火微粒”的说法，后来施塔尔（1660 年～1734 年）德国医生兼化学家又系统地提出了“燃素学说”。但这都没能揭示燃烧的本质。真正揭开这个燃烧之谜的人就是被誉为“化学之父”的法国著名化学家拉瓦锡。

律师的儿子

1743 年 8 月 26 日，拉瓦锡生于巴黎。父亲安东尼·拉瓦锡是巴黎的一位有名的律师。少年时代的拉瓦锡，就在家庭教师的辅导下，学过天文学、数学、化学、植物学、矿物学和地质学。他那好学的精神、聪明的头脑，还有那不寻常的口才，经常受到老师和父亲的夸奖。

拉瓦锡就读的中学——马扎兰学校，是一所有名的专

为富有子女开设的学校。在那里不仅要学习数、理、化等课程，还要学习拉丁文和希腊文。拉瓦锡以自己的刻苦努力，取得了优异成绩。1761 年的春天，他带着‘优秀毕业生’的荣誉，走出了中学的校门。

当他满怀毕业的喜悦心情回到家中时，父母和朋友们都来向他祝贺学业的成功，并希望他到大学攻读法学，将来继承父业成为著名的律师和法学家。他父亲根据自己的经验，坚信儿子的才能是很适合做法学家的，必将会有一个锦绣前程。对此，儿子却不像老子那样充满信心。

拉瓦锡作为一个律师的儿子，并未反对父亲的意见，还是进了大学攻读法学。1763 年，他从法学系毕业，并获得了学士学位和律师开业证书。

当年仅 20 岁的拉瓦锡，坐在他父亲那个名气很高的律师事务所里工作时，他丝毫没有值得庆幸之感。甚至他没呆上几个小时就想离开这里了。一个有了法学学位的人，为什么对律师工作这么不感兴趣呢？

化学在强烈地吸引着他

也许，因为拉瓦锡的家庭条件优越又加之自己好学，少年时期的他就博览了许多自然科学方面的书籍。或许，由于他父亲朋友中有不少科学界的名流，使他同化学家、矿物学家、植物学家有过密切的接触，因而对自然科学也就产生

了浓厚的兴趣。

就在他中学毕业的那个暑假里，他放弃休息，跟随他父亲的朋友、著名的矿物学家盖塔尔，到山区参加了绘制法国地质图的活动。在那里，他学到了许多有趣的矿物知识。在大学里，他一面坚持上法典课，一面还抽时间去听化学教授、大化学家鲁埃尔的课。鲁埃尔是法国著名的实验化学学派的创始人。而且是一位出色的演讲人。拉瓦锡对这位大化学家的讲课产生了极浓厚的兴趣。除了听课以外，课下他还到图书馆借阅了大量的化学书籍。波义耳的著作，他竟反复读了好几遍。当他学到的化学知识愈来愈多的时候，他也就愈感到化学中还有许多问题有待于人们去解决。也正是这种信念，才促使他毕业后干法学这一行没有多久，就决定放弃律师的工作，转向化学研究了。

在化学研究方面，拉瓦锡于 1765 年发表的第一篇论文是关于“石膏的分析”。从他这第一项研究成果中就可以看出，与其他研究者不同，他特别注重准确的测量。他把石膏加热除去水分，然后，用天平准确地测出水分的重量。他确认石膏含一定量水分（结晶水），是硫酸和石灰化合而成的。1766 年 3 月他又向法国科学院提交了第二篇关于石膏的论文。

25 岁的科学院院士

拉瓦锡关于石膏的研究，可以说是他在化学研究上取