学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

少年哲学向导丛书

构筑科学大厦的脚手架

—科学方法漫谈

BOOK
内部资料 非卖品

构筑科学大厦的脚手架

——科学方法漫谈

主编　谭鑫田

一、大自然的勘察——谈科学观察

应该先学会观察、观察，不学会观察，你就永远当不了科学家。

——巴甫洛夫

1．从扁鹊诊病谈起

传说战国时代，有一位名医叫扁鹊。有一次，他在虢国（今陕西宝鸡东）给人看病时，听说虢国太子死了，并且死得很突然。他知道，突然死亡的人，不一定都是真死，不能一概做死亡处理。于是，他急忙赶到王宫，详细地询问了太子临死时的情况，并且要求观察太子的尸体。

当扁鹊见到太子尸体的时候，他仔细地看了看太子的神态，再将耳朵贴在太子的鼻子上听了听，然后用手摸了摸太子的腿和心窝，并给太子切了脉。经过诊断，扁鹊断定太子没有死，而是得了昏厥症（即休克）。于是，扁鹊立刻采取措施进行急救，不一会儿，就把“死”了半天多的太子救活了。从此，人们称扁鹊是能够“起死回生”的神医。

从扁鹊看病的故事中，可以看到扁鹊是通过眼看。耳听、口问、手摸等手段，也就是中医诊断中的望、闻、问、切，来了解病人的形色、气息、病情、脉搏等身体症状，从而才能做出正确的诊断，在此基础上再进行辨证施治。

中医诊断疾病所采用的望、闻、问、切等方法，实质上就是一种观察方法。观察，作为一种科学认识方法，就是通过感官和仪器，有计划、有目的地从未被人为干预的自然现象中获取信息的一种方法。

下面我们就对水进行一次观察，看看能获得什么样的信息。

假如你身边有一玻璃杯蒸馏水，透过水就可以看见周围的物体，这就是说水是无色透明的。你再闻一闻、尝一尝，就会发现水什么气味和味道都没有。通过眼、鼻和舌，我们观察到：水是无色、无臭、无味的液体。

观察分为定性观察和定量观察。所谓定性观察是指对研究对象进行性质和特征方面的描述。例如：植物学中对植物的根、茎、叶、花、果、种子等形态的观察；天文学中对天体的形态的观察；动物学中对头、胸、腹、四肢等的形态观察，就都属于定性观察。

定量观察是指对研究对象的数量、位置、运动快慢等量的特性方面的测量，因此，定量观察也叫做观测。例如：植物生长期的观测就包括种子发育

期、幼苗期、营养生长期、生殖生长期，在后者中又包括初花期、盛花期、初果期、盛果期等；在气象学中，要对气温、气压、温度、风级、降水量等各种气象要素进行测量，这些都属于科学观测的范围。

观察方法的起源可以追溯到遥远的古代，当时生产力还很低下，人类还不能对自然现象进行人工控制，人们只是对各种自然现象进行了简单的观察记录。在欧洲文艺复兴时期，近代自然科学开始发展起来。科学家们公然抛弃了《圣经》和古代权威们的说教，开始投身到大自然中去寻找关于自然界的答案。伽利略就曾说过，真理不是在蒙满了灰尘的权威著作中，而是在展示于我们面前的自然界这本最伟大的书中。要到自然界中去寻找真理，那就要对自然界进行观察了。随着显微镜、望远镜等新式观察仪器的出现，人类对自然界的观察范围开始扩大，对自然界的认识也逐渐加深了。在科学技术高度发达的今天，观察方法仍然在起着重要的作用。特别在天文学、气象学、地质学、动植物分类学、古生物学等一系列学科中，观察方法是进行科学研究的最基本的方法。

人类的认识活动是以实践活动为基础的。观察作为一种基本的实践活动，是人们搜集、记载和描述感性材料的重要手段。自然科学要正确地反映自然界，就必须对自然界进行科学的观察。不对自然界进行观察，人们也就无从获得关于自然界的知识。这就像建大厦一样，如果不事先通过勘察获得有关的地质资料，就不可能把大厦建立在一个牢固的地基上。科学离开了观察，科学理论大厦也就失去了其存在的基础。

2．获取大自然信息的窗口

由于观察是一种基本的认识手段，所以，它就成了人们直接接触大自然、并从中获取大自然信息的窗口。基于此，在人类认识大自然的过程中，观察首先就起了一种奠基性的作用。下面我们分别谈谈观察的作用。

经验的源泉

几千年来，我国劳动人民在长期观察天气变化的过程中，积累了极其丰富的天文经验。这些经验又经过人们不断地充实和提炼，形成了生动、通俗易记的天气谚语。

《诗经》中有：“习习谷风，以阴以雨。”屈原的《九歌》中也有：“东风飘兮神灵雨。”这些说的是东风多雨的意思，与现在的“东北风，雨大公”的谚语相似。当然，东风多雨，多指一般情况，并不是绝对的。我国群众还区别不同情况总结出“旱刮东风不下雨，涝刮东风不晴天”的观天经验。

通常，人们把所观察的天气现象分为：冷。热、风、云、雾、雨、雪、霜、露、雷、电、物象等种类，因此，根据这些因素的变化，人们就总结出

了与之相应的谚语。例如：“南风吹到底，北风来还礼”是以风测风的谚语；“雷公先唱歌，有雨也不多”是以雷电为依据的测天谚语；“十雾九晴”、“鸡早晴，鸭早雨”及“烟不出门，大雨将临”是属于物象方面的谚语。

劳动人民还经常通过观察天色的变化来判断天气的好坏。一般来说，天色由蓝变灰、变黄，是天气变坏的预兆。“人黄有病，天黄有雨”、“朝霞不出门，晚霞行千里”等都是通过观察天色来判断天气变化的谚语。

在长期的农业生产中，我国人民还通过观察动植物的生长发育情况和气候变化的关系，掌握了丰富的物候知识。例如：“枣发芽种棉花”、“榆树开花一串钱，多种谷黍棉”等等，这对于不违农时地进行农业生产起了重要的作用。

古代不少诗人，也十分重视对物候的观察。有些诗句，不但脍炙人口，而且反映了气候与生物活动的关系。苏轼在《惠崇春江晚景》中写道：

竹外桃花三两枝，春江水暖鸭先知，
蒌蒿满地芦芽短，正是河豚欲上时。

这首诗描写了生物在春回大地时的景象，桃花始开，河水变暖，鸭子活跃，芦苇发芽……这真是一幅生机勃勃、春意盎然的美丽图画。

陆游在《鸟啼》中也对物候与农事的关系，进行了细致地观察和生动地描写。

野人无历日，鸟啼知四时；
二月闻子规，春耕不可迟；
三月闻黄鹂，幼妇悯蚕饥；
四月鸣布谷，家家蚕上簇；
五月鸣雅舅，苗稚厌草茂；

今天，候鸟的活动仍然是物候观测的一个重要内容，对于农业生产有着重要的指导意义。

发现的起点

“问渠何得清如许，只缘源头活水来。”科学观察犹如源头活水，通过它可以发现前人没有涉及到的新事物和新现象；可以收集一系列的事实材料，从而在此基础上创立新的理论体系。在科学发展史上，许多重大的科学发现和新的理论体系都是观察的结晶。

丹麦天文学家第谷，通过近 30 年的天文观测，积累了丰富的材料，其精度几乎达到了肉眼的观测极限。第谷在临终之前，把自己用毕生心血积累起来的全部观测材料，交给了他的得意门生开普勒。开普勒对老师留给他的这些材料进行了认真的分析和计算，最终发现了行星运动的三大定律，从而使天文学真正成为一门严密精确的科学。因此可以这样说，没有第谷的观察，

也就没有开普勒的发现。

被誉为 19 世纪自然科学三大发现之一的细胞学说，也是以观察为基础建立起来的。

1665 年，英国科学家胡克用显微镜观察软木塞时，发现上面有许多类似蜂窝状的小室，他把这些小室命名为细胞。这是人类有史以来第一次观察到的细微构造。此后不久，荷兰人列文虎克又用显微镜发现了动物的红血球。他还观察了轮虫、滴虫、细菌等微小生物。英国的格雷、意大利的马尔皮基等人也对动物细胞进行了一系列的观察活动。由于当时的显微技术还比较落后，所以在以后的一个多世纪里，在动植物细胞的显微观察方面，没有取得大的进展。到了 19 世纪初，随着显微镜放大倍数的提高和染色技术的应用，英国植物学家布朗于 1831 年观察到了植物细胞的细胞核。与此同时，许多科学家对动植物细胞进行了广泛而细致地观察。在这些观察结果的基础上，德国植物学家施莱登和动物学家施万结合自己的观察结果，于 19 世纪 30 年代末期提出了细胞学说，从而打破了把植物和动物分开的形而上学的壁垒，使动植物在细胞基础上实现了统一。

著名生物学家达尔文，之所以能够创立进化论，也是与大量的观察活动分不开的。在他以博物学家的身份，随“贝格尔号”军舰进行环球考察期间，他曾对各地的地质构造和动植物分布进行了广泛地观察，收集了大量的原始材料。例如，他在加拉帕戈斯群岛逗留期间，就观察收集了近 200 种的植物；他还对该岛上各种各样的鸟类进行了仔细观察，并发现了大量的新种。在历时 5 年的考察中，达尔文写下的考察笔记就有 24 本之多。

经过 20 多年的辛勤观察，达尔文终于写成了著名的《物种起源》，实现了生物学上的一次大飞跃。达尔文在谈到自己时，说：“我既没有突出的理解力，也没有过人的机智。只是在觉察那些稍纵即逝的事物，并对其进行精细观察的能力上，我可能在众人之上。”

3．真理的试金石

通过科学观察所收集到的事实，可以证实或否定某一种假说。正如爱因斯坦所说：“理论所以能够成立，其根据就在于它同大量的单个观察关联着，而理论的‘真理性’也正在于此。”

哥白尼在提出日心说之后，为了论证这个体系的正确性，他在波兰某一教堂的角塔上，用自制的简陋仪器进行了长期的观测。他曾对日食、月食、火星冲日、木星冲日、土星冲日、黄赤交角等进行过细致的观察，这些实际观察结果都比较符合按照日心说计算的结果。因此，哥白尼坚信日心说体系正确地反映了天体的真实运动。

到了 1610 年，伽利略用自制的天文望远镜观察到了月球表面有山谷、太阳上有黑于，他看到了金星的盈亏现象，他还观察到木星也有卫星绕它旋转，

这就像地球的卫星绕地球旋转一样。这些发现有力地证明了哥白尼日心说的正确性。

在哥白尼的日心体系里，只有六颗行星。这是由于这些行星，即：水星、金星、火星、木星、土星离地球比较近，显得很明亮，因此，它们在远古时代就被人们观察到了。那么，太阳系中是不是就只有这六颗行星呢？1781年，迁居英国的德国音乐家赫歇尔用自制的大型望远镜发现了天王星。这就是太阳系的第七颗行星。

自从牛顿发现万有引力定律以来，人们就用它来计算行星的运动。通过计算，人们已经能够比较准确地预告水星、金星、火星、木星和土星的运动状态。天王星发现后，天文学家也对它进行了细致的观察，结果发现天王星的运行轨道与根据万有引力定律计算出来的轨道不相吻合，也就是观测结果与理论计算相矛盾。于是，许多人开始怀疑万有引力定律的正确性。但是，更多的人对万有引力定律却坚信不疑，他们认为天王星运动之所以“失常”，是由于受到了它轨道外面一颗尚未发现的行星的干扰。可是，要想证明这个想法对头，就必须把这颗行星找出来。

英国的亚当斯经过两年的努力,终于在1845年9月计算出了这颗行星的位置。他把计算结果送给了格林威治天文台的艾里，希望他能帮助寻找。由于艾里不相信亚当斯的计算，也就没有及时进行观测。9个月后，才由剑桥大学天文台的工作人员开始对这颗行星进行观察，但为时已晚。

1846年8月，法国的勒威耶也计算出了这颗未知行星在天空中的位置，并把结果寄给了柏林天文台的伽勒，请他用望远镜帮助寻找。在收到信的当天晚上，伽勒就把望远镜对准了勒威耶所预言的位置，半个小时之后，他果然看到了这颗新行星。这就是太阳系的第八颗行星——海王星。

海王星的发现有力地证明了哥白尼日心说和牛顿万有引力定律的正确性。

4．观察可靠吗

既然观察方法对科学研究如此重要，那么在观察时，应该遵循什么原则呢？

列宁在《哲学笔记》中提出了辩证法的16条要素，其中第一条就是“观察的客观性”。这就是科学观察的最基本的原则。坚持观察的客观性，就是要采取实事求是的态度，防止主观性和片面性。但是，要做到这一点，是很不容易的。

例如：一个人将一只手浸入热水，另一只手浸入冷水，然后他同时将双手再浸入温水中，这时，两只手的感觉就会不一样。先浸入热水中的手感觉是冷的，而另一只手的感觉却正好相反。

古希腊著名的历史学家希罗多德曾记载过这样一个相类似的现象。有一

条小溪流，清晨水是温和的，当市场热闹起来时，小溪水凉了许多，到中午已经很凉了。因此，这个时候，人们就用它浇花，下午日头西斜，溪水又开始回温，到太阳落山时，溪水又变得温和起来。

有一回，在哥丁根召开的心理学讨论会上发生了一件非常奇怪的事情。当会议正在举行时，突然从门外闯进一个人来，后面紧跟着一个手持短枪的人。两个人在会场内混战时，蓦地响了一枪，两个人又一起跑了出去。整个事件仅仅待续了 20 秒钟。这一件事是精心安排好的，与会者事先并不知道这件事。

这时，会议主席站起来，请所有与会者写下他们目击的经过。在场的都是一些熟悉观察的心理学家，可是在他们写出的 40 篇报告中，只有一份报告的错误少于 20%，14 篇有 20%——40%的错误，25 篇有 40%以上的错误。在半数以上的观察报告中，有 10%以上的细节是纯属报告人主观臆造出来的。

由此可见，在观察中出现偏差、甚至谬误是很普遍的现象。造成观察误差的原因是多种多样的。例如：“ 观察的片 9
面性，无意中产生的错觉，先入之见的干扰，观察中的疏忽大意，观察器官和仪器的局限性，等等。

在科学研究中，要使观察具有客观性，就必须设法消除以上这些导致观察容易出错的因素。针对以上各种情况，就应该采取相应的措施。例如：要进行全面、系统地观察，要增强观察的主动性和自觉性，要做观察中的有心人，要提高仪器的分辨率，等等。关于这几个方面的问题，我们将在下面几节中进行讨论。

5．观察的一生

“ 横看成岭侧成峰，远近高低各不同。 ”这就是说从不同角度出发，会看到庐山的不同景色。在观察中，如果从不同角度看问题，就会产生主观片面性。

怎样才能避免观察中的片面性呢？列宁曾指出：“ 要真正地认识事物，就必须把握、研究它的一切方面、一切联系和‘ 中介 ’。我们决不会完全地做到这一点，但是，全面性的要求可以使我们防止错误和僵化。 ”（《列宁选集》第 4 卷，第 453 页）因此，要消除观察中的片面性，就应当对事物进行全面的、系统的观察，并保持观察活动的连续性和完整性。

我国著名气象学家竺可桢之所以能在气候学和物候学领域内取得重大成就，就是与他坚持长期连续的、全面系统的科学观察分不开的。

为了研究气候以及气候与各种生物的关系，竺可桢从青年时代起，每天要做的第一件事就是把当天的气温、气压、风向、风力以及花开花落、候鸟迁徙的日期等逐一记录下来。

建国初期，竺可桢家住在北海公园的东北边，他的工作地点中国科学院院部却在北海公园的西南边。为了观察方便，他从不坐小汽车，而是一直坚持步行上下班。不管刮风下雨、严冬酷暑，人们总是看到竺可桢，每天两次经过北海公园：早晨从北海公园的北门进，南门出；傍晚又从南门进，北门出。

竺可桢每次经过北海公园时，都仔细观察物候的变化情况。他详细地记录了北海公园冰冻和融化、植物始花、燕子归来、布谷鸟初鸣等物候现象的日期。有时候竺可桢因故出差或有事耽误了观察，他就动员老伴、女儿甚至邻居的孩子帮他留心观察。

就这样，竺可桢数十年如一日，坚持不懈地进行气象和物候的观察，从不间断。竺可桢用长期观察所获得的资料，绘制了一幅北京春季物候现象变化的曲线，还写了一本内容丰富的《物候学》。

1974 年 2 月 6 日，83 岁高龄的竺可桢病情严重、卧床不起，他再也不能亲自到室外观察了。当他从收音机里听到气象预报的时候，他仍然按照几十年来的习惯，用颤抖的手，拿起笔记录下了当天的天气状况：最高气温零下 1℃，最低气温零下 7℃，东风 1—2 级，晴转多云。并在后面特地注明“局报”二字。

6．辩日之辨

《列子·汤问》中有一篇《两小儿辩日》，文中说：孔子在东游的路上，看见两个小孩正在争吵，便上前询问他们争吵的原因。一个小孩说：“早晨太阳刚出来时，看起来要比中午大得多，按照远小近大的道理，这不就是说太阳刚出来时离我们近，而中午离我们远吗？”

另一个小孩辩论道：“太阳刚出来时不如中午的太阳热，按照近热远凉的道理，难道这不是说太阳刚出来时离我们远而中午离我们近吗？”

孔子听了两个小孩的回答后，感到双方说得都有道理，自知不能解答，便起身离去。

两个小孩讥笑道：“谁说孔子是知识渊博的人呢！”

现在，我们知道地球是在一个椭圆形的轨道上围绕太阳运行，同时，地球本身也在自转着。地球的自转就形成白昼和黑夜。因此，在一天之内，太阳和地球之间的距离几乎没有什么大的变化。

但是，为什么早晨和中午的太阳，看上去不一样大呢？

这其中的部分是由眼睛的错觉造成的。

俗话说：“眼见为实，耳听为虚。”其实，眼睛也会时常出错。将同样大小的物体放置在不同的背景里，它们就会显得大小不等，这叫做“对比错觉”。例如直径相等的两个圆圈，在大圆圈的衬托下，就显得小；在小圆圈的衬托下，就显得大。

下面是另一种类型的错觉，图中外面两个大圆和里面两个小圆分别相等。但看上去白色的小圆要比黑色的小圆大，这叫做“光渗错觉”。物体在人眼视网膜上形成的像，总被一圈光包围着。在深色的背景上，这圈光就会使物体的轮廓扩展开来，所以，看上去要比实物大。

早晨的太阳显得比中午的大，是因为刚出来的太阳接近地平线，周围有房屋、树木等景物作陪衬。中午的太阳则悬挂在浩瀚无垠的天空中，没有其它东西作陪衬，所以显得比早晨时小。

此外，早晨的天空还朦朦胧胧，太阳却比较亮；而中午的太阳和天空都很明亮，所以与早晨的太阳相比，中午的太阳显得小些。由此可见，早晨的太阳之所以比中午的太阳大，与对比错觉和光渗错觉有不可分割的关系，而与太阳离地球的远近却毫不相关。

上述例子说明：在观察过程中，由错觉产生的假象导致了认识上的错误，使观察结果偏离了客观事物的实际情况。因此，要保证观察的客观性，就必须避免错觉的干扰。例如：合理地选择观察对象，注意观察对象所处的环境和条件，对事物进行多方面的观察，提高观察的精确性等等，只要这些方面做到了，就会有效地防止错觉的产生。

7．不要过分相信自己

在科学观察中，我们还应当注意“先入之见”的影响。

例如下面这个图上本没有三角形，可是人们一看见这三个角，就会立刻联想到三角形。

人们一旦对某种事物形成了深刻的印象。再想改变就很不容易。科学观察是一种有目的的活动，因此，在观察中人们就会有意识地寻找符合自己观点的现象，这就会很容易地把他固有的经验和认识不知不觉地渗入到观察中去，或者把一些观察到的新现象强行纳入自己的理论轨道。

《两小儿辩日》中用“近热远凉”的道理来判断太阳远近，就受到了先入之见的影响。我们都有过这样的体验：离火炉越近，就越感到暖和；相反，离火炉越远，就感到越凉。人们由此产生了“近热远凉”的经验。因此，当感觉到中午的太阳比早晨的太阳热时，就断言中午的太阳要比刚出来时近。这实际上是不正确的。

我们已经知道，早晨太阳斜射大地，阳光要经过比较厚的大气层才能到达地面，因此，地面上得到的阳光就会减少，地面就凉。中午太阳直射大地，光线穿过的大气层比较薄，地面上得到的阳光就多，人们感到太阳就比较热。因此，早晨和中午的冷热不同，并不能说明太阳离我们远近有别。

不光一般人会受到“先入之见”的影响，就连杰出的科学家也容易被“先入之见”引入歧途。

1934 年，意大利物理学家费米认为，经过中子轰击的元素，会增加一个

原子序数而变成新元素。如果用中子轰击当时元素周期表上的最后一个元素铀，就会得到“超铀元素”。为此，费米进行了实验。实验结果似乎很符合他的“理论”，于是，他宣布发现了“超铀元素”，并且给它们起了名字叫做“类铼”。“类锇”、“类铱”。这条消息震动了物理学界。但4年以后，经过许多科学家的认真分析，才证明费米得到的并不是什么“超铀元素”，而是铀核被击碎后裂变放还的原子碎片。

在观察中，要善于借助于已有的经验和认识，但不要把自己的视野禁锢于某种观念之中。一经进入观察过程，就必须摒弃一切主观成见，不迷信、不盲从。法国生理学家贝尔纳说过：“过于相信自己的理论或设想的人，不仅不适于作出新发现，而且会做很坏的观察。”赫胥黎也曾说过：“我要做的是叫我的愿望符合事实，而不是试图让事实与我的愿望调和。你们要像一个小学生那样坐在事实面前，准备放弃一切先入之见，恭恭敬敬地照着大自然指的路走，否则，就将一无所得。”

8．专心·细心·耐心·留心

“世上无难事，只怕有心人。”在科学观察中也是如此。唯独有心人，才能避免观察中的疏忽大意，从而减少观察误差。做一个观察中的有心人并非易事，他必须具备下面几个品质，即：专心、细心、耐心和留心。

专心观察

古希腊第一个哲学流派——米利都学派的创始人泰勒斯，很重视对大自然的观察。他兴趣广泛，对天文、地理、气象、几何等都有精深的研究，成为那个时代的一位有声誉的哲学家，并被尊为古希腊七贤之首。

据说他在埃及逗留期间，曾应用相似三角形对应边成比例的原理，测出了金字塔的高度，使埃及法老大为惊讶！

有一天，泰勒斯正在专心致志地观察天象，由于注意力过分集中在天空，竟忘记了自己脚下的路。不料一脚踩空，泰勒斯掉进了一个大水坑，路旁行人见此情景，便大声呼救。人们听见喊声，纷纷赶来，把泰勒斯从水坑里救了上来。

泰勒斯浑身上下沾满了泥水，但他却注视着受惊的人们，不慌不忙地说：“明天肯定会下雨！”第二天果真下起雨来。有人嘲笑说：“泰勒斯虽然会观测天象，但却看不见自己脚下的路。”

泰勒斯得知后，只是笑了笑，就又专心地进行观察了。为此，大哲学家黑格尔意味深长地说：“只有那些永远躺在坑里，从不观察天空的人，才不会掉进坑里！”

正是由于泰勒斯能够专心地从事天象观察，他才积累了丰富的天文学和

气象学知识，并由此引出了历史上一个有名的故事。

那时，在美地亚和吕地亚两国之间发生了战争。双方连续打了 5 年，也没有分出胜负。泰勒斯看到战争使劳动人民生灵涂炭、流离失所，就想用自己的知识来阻止这场战争。

通过长期专心地观察和认真计算，泰勒斯预测到某一天将会有日食。他便声称上帝反对战争，某月某日必用日食来警告。到了那一天，两军正在酣战之际，忽然，大地暗了下来，太阳的边缘出现了一个缺口，缺口越来越大，后来太阳完全看不见了。这时，百鸟归巢、明星闪烁，黑夜仿佛提前降临。

面对这天地间的大变动，双方将士极为恐惧，于是停战和好，后来两国还互通了婚姻。据考证，泰勒斯预见的这次日食发生在公元前 585 年 5 月 28 日。

细心观察

在科学研究中，观察事物需要细心。英国科学家乔治说过：“ 观察者最好不仅注视，而且必须搜寻每一个细节。 ”著名生理学家巴甫洛夫也是一个善于细心观察的人。在他实验室的墙上有这样的座右铭：“ 细心、细心、再细心。 ”

巴甫洛夫为了研究狗的胃腺的分泌活动，就通过手术在狗的胃上接了一根很细的玻璃瘘管，以便让胃液通过这根管子流出来，这就好像在狗的身上开了一个“ 小窗口 ”，通过这个窗口就可以对狗胃中的消化情况进行观察和研究。

这是一个难度很高的手术，接连做了好几次，都没有成功。手术后的狗很快就死去，时间最长的也没活过两天。后来，有一条叫茹其卡的小狗活了下来，可是，流出来的胃液对周围皮肤组织却有腐蚀性，使伤口难以愈合，巴甫洛夫对此很担心。

几天后，实验室的工作人员发现菇其卡抓下墙上的石灰，然后躺在上面，就告诉了巴甫洛夫。他仔细地观察了被抓破的墙、地上的灰土、狗身上的管子，思考了片刻，就对身边的工作人员说：“ 它是故意这样做的。 ”大家到处看了看，却并没有发现什么特殊的情况，巴甫洛夫把狗放在另一个墙角，让大家明天再来观察。

第二天，茹其卡又把墙抓坏了，并躺在石灰土堆上。巴甫洛夫让大家蹲下仔细观察一下狗伤口周围的皮肤，结果发现狗腹部的皮肤长好了。巴甫洛夫向大家作了解释：“ 灰土就像一条吸水的褥子，吸掉了从小孔里流出来的胃液，这样，狗的皮肤就不会再被腐蚀，伤口才好得快。 ”

巴甫洛夫这样细心观察的科学态度，给周围的工作人员留下了极为深刻的印象。

耐心观察

法国著名昆虫学家法布尔从小喜欢昆虫。每天放学以后，他就跑到田野水边，去捕捉各种各样的昆虫，如知了、蟋蟀、蝴蝶、蜻蜓等，成了一个地地道道的“小昆虫迷”。

随着年龄的增长，法布尔也没有失去对昆虫的兴趣。他了解到以前的昆虫学家只做了昆虫的搜集和分类工作，却忽视了昆虫那千奇百怪的生活习性。法布尔决定投身到这一研究领域中去，看一看昆虫到底是如何生活的。然而，观察昆虫的生活习性可不是一件容易的事情，因为有些昆虫一会儿在这里，一会儿又飞到那里，有些昆虫生活在地下，另一些昆虫则生活在树上，这都给观察带来了极大的困难。如果在观察的过程中，没有坚强的毅力和吃苦耐劳的精神，要想探知昆虫的生活秘密是不可能的。为了弄清某种昆虫的生活习性，法布尔往往要耐心地观察几天、几个月甚至几年。

有一次，法布尔在路上看见一群蚂蚁正在齐心协力地搬运一只死苍蝇，他认为这是观察蚂蚁生活习性的好机会。于是，他就趴在地上，拿出放大镜，耐心地观察起来，一连观察了好几个小时。路上的行人对法布尔的行为感到不可思议，都前来观看，有的说他是“呆子”，有的说他是“怪人”。面对众人的议论，法布尔却毫不在意。

正是由于法布尔的耐心观察，他才能揭开昆虫世界的许多秘密。

据说，为了弄清雄𧊒蚕蛾如何向雌蛾“求婚”的过程，法布尔竟进行了3年的耐心观察。但是，当他正要取得观察结果的时候，蚕蛾“新娘”却被一只螳螂吃掉了。法布尔没有灰心，从头重新观察，又经过了3年时间的耐心观察，终于掌握了𧊒蚕蛾“求婚”的整个过程。

还有一次，法布尔长时间地躺在地上观察高鼻蜂的生活习性时，引起了一个巡警的注意。这个巡警怀疑法布尔是小偷，就想把他带走。法布尔急忙向巡警作了解释。可是，巡警却轻蔑地说：“难道你冒着火辣辣的太阳在这儿躺了大半天，就是为了观察那小小的高鼻蜂吗？”后来巡警发现法布尔身上佩戴着一条红色的绸带，他知道这是法国政府任命的荣誉勋位团团员的标志，误会才解除。

法布尔为了揭开昆虫世界的秘密，共观察了400多种昆虫，他用几十年的观察材料，写出了《昆虫记》这部巨著。在这部书里，他详细地描述了昆虫怎样猎食、建窝、生育、抚养、逃避敌人等许多有趣的现象，向人们展示了一个丰富多彩、奥秘无穷的昆虫世界。达尔文曾赞誉法布尔是一位“举世无双的观察家”。

留心观察

科学工作者要时刻留心身边发生的各种事情，特别是那些“熟视无睹”和“习已为常”的事物，这样才能不失时机地抓住观察中可能出现的意外情况，说不定由此还会导致重大的科学发现呢？

毕达哥拉斯是古希腊著名的数学家和哲学家。据说有一次，他被邀请到朋友家做客。客人们围坐在一起，谈论着各种各样的事情。谈话之间，毕达哥拉斯无意中瞥了一下会客室的地面。地面本是用砖铺成的，人们对此已很熟悉。但是，毕达哥拉斯在一瞥中，却发现在花砖形成的格子中，可能存在某种规律。

他低下头仔细地观看着地面，后来他竟弯下腰，在花砖地面上画起图来。

花砖正面是一样大的等腰直角三角形，有黑白两种类型。三角形直角边上的正方形面积恰好等于两个黑色三角形或两个白色三角形面积之和；而斜边上正方形的面积却等于两个黑色三角形和两个白色三角形面积之和。由于大正方形面积等于两个小正方形面积之和，所以毕达哥拉斯得出了一个结论：两条直角边的平方和等于斜边的平方。

这就是有名的毕达哥拉斯定理。这一发现与毕达哥拉斯的留心观察是分不开的。在我国这一定理叫做勾股定理。毕达哥拉斯对发现这一定理感到非常高兴，就命人杀了一百头牛，和徒弟们一起来庆贺。因此，这一定理又叫“百牛定理”。

9．科学仪器显神通

人的感觉器官是有局限性的。例如，人的耳朵听不见超声波，肉眼看不见紫外线，人们常用“明察秋毫”这一成语来形容一个人的眼力敏锐，在人们看来，能把纤细的毫毛看清楚，就算眼力很好了。对于比毫毛更细小的东西，人们就束手无策了。

那么，能说人类由于感官的局限性就不能更真实地认识无限发展着的客观世界吗？在科学发展史上，确曾出现过这种类型的不可知论。恩格斯对此曾进行了批判。蚂蚁能够看见紫外线，这是人的视力所不及的。但是，人类借助科学仪器对紫外线的认识却远远超过了蚂蚁。所以，感官的感知范围决不是人类认识的绝对界限。

观察仪器作为人类感官的延伸，可以弥补人的感官的不足，增强人对外部世界的感受能力。下面我们谈谈科学仪器的作用。

科学仪器能使感性认识更加客观化、精细化和准确化。

英国物理学家汤姆孙说过：“一切科学上的重大发现，几乎完全来自精确的度量。”从前，判断物体的冷热，靠的是人的感觉。但是，人对于温度的感觉是比较粗糙的。为了解决这个问题，伽利略制造了世界上第一个能测量温度的仪器，这就是原始的“温度表”。由于温度表能对物体的温度进行定量测定，从而促进了热学的发展。同样，天平的发明及其对物体质量的测定，使化学开始成为一门精确的科学。

北京古观象台是世界上古老的天文台之一。台顶的八件巨大的钢制仪器，做工精细，造型美观，充分显示了我国古代劳动人民在观测天体方面的

智慧。通过这些仪器，就能够准确地测量各种天体的出没时间和相对位置。例如：天体仪可以演示恒星升落的情景，推算出太阳和恒星的方位及出没时刻；象限仪用于测定天体的地平高度；赤道经纬仪用来测定星星的经度和纬度；黄道经纬仪可以测量太阳在黄道上的位置。

科学仪器还能从广度和深度上极大地扩展人类的感觉范围。

1609 年，伽利略制成了第一台天文望远镜，使许多新奇的天文现象进入了人类的视野。随着光学望远镜的不断改进，天文学家发现了许多新的天体，如天王星、海王星及其卫星等等。1917 年，科学家又成功地研制了口径为 2.5 米的光学望远镜，并用它证明了早就发现的仙女座大星云是离我们较近的银河外星系，从而开辟了研究河外星系的新领域，人类开始超越银河系的范围。射电天文望远镜建成后，人类的视野又扩展到了与地球相距 150 亿光年的天体。号称 60 年代天文学四大发现的类星体、脉冲星、星际有机分子和宇宙微波背景辐射都是用射电天文望远镜观测到的。

与此相似，随着显微镜的发明和不断改进，使人类发现了一个前所未见的微观世界。现在，借助电子显微镜，人们可以把微小物体放大 200 万倍。例如，在放大 130 万倍的条件下，人们成功地拍摄下了原子的照片。

“工欲善其事，必先利其器”。随着科学技术的发展，新的观察仪器层出不穷，人类的认识能力也在不断提高。特别是现在空间技术的发展，已使人类进入高空进行观察，从而获得了在地面上无法感知的信息。

“不识庐山真面目，只缘身在此山中。”我们观察不到整个地球，是因为我们身在地球上。所以，要想看到地球的全貌，只有飞出地球才行。早在 1860 年左右，人们就利用气球把照像机带到天空，分别拍摄了巴黎和波士顿的城市照片，从此揭开了人类离开地球观察地球的序幕。第一次世界大战中，又有人从飞机上拍摄了地面照片。1957 年，第一颗人造地球卫星诞生了，人类从此进入了太空时代。1961 年，就有人从 250 公里的高处拍下了地球的大幅照片。1969 年 7 月 16 日，由阿姆斯特罗等三名宇航员乘“阿波罗”11 号，从美国的卡纳维拉尔角出发，于 7 月 20 日飞临月球上空的时候，宇航员忽然看到一幅动人的景象：布满环形山的月球表面一望无际，它的“地平线”上有一个蓝色的天体正在上升，这就是地球。

关于人们居住的地球是什么形状的问题，曾经争论了两千多年。后来，哥伦布——特别是麦哲伦环球航行的成功，有力地证明了地球是球形的。到了今天，飞到月球上去的宇航员给地球拍下了全身照，才使我们看清了地球的全貌。23

二、大自然的开采——谈科学实验

科学如果不是从实验中产生并以一种清晰实验结束，便是毫无用处的，充满谬误的，因为实验乃是确实性之母。

——达·芬奇

1．巧摆化装宴，细察致病菌

一百年前，在德国的一个乡村里，发生了一种流行病，致使许多无辜者染病而亡。有一个叫科赫的乡村医生，为不能挽救病人的生命而深感不安。他下决心一定要把这种病菌找出来。

用什么办法才能找到使人死亡的细菌呢？他听说法国科学家巴斯德用显微镜找到了使啤酒变质的细菌和使蚕生病的细菌，也想用显微镜去寻找致病菌。可是，作为一名普通的乡村医生，科赫买不起这种昂贵的仪器。他的妻子爱玛看出了丈夫的心思，就变卖了自己的首饰，选购了一台显微镜，送给了科赫。

科赫十分高兴，他以为有了显微镜就可以把细菌找出来。他取来病人的唾液和排泄物，放在显微镜下仔细观察起来。可是，他左找右察，却没有查出什么结果。

可见，仅仅观察病人所能给予的这些自然而然的东西，是不能观察到病菌的。要想看到病菌，就必须使它抛头露面，显现在我们眼前。

科赫首先置办了味道鲜美的牛肉汤，引诱细菌前来赴宴。在牛肉汤里，细菌肯定会边吃边繁殖，数量就会越来越多。过了不久，科赫把牛肉汤涂到玻璃片上，放在显微镜下观察。他果然看到了大量的细菌。他想，这里面一定有病菌，可是，到底哪是病菌呢？看着争相抢食、混乱不堪的细菌阵营，科赫感到不知所措。尽管通过干预，致使病菌露了面，但却又出现了鱼目混珠的局面。如何控制住局势，从而使“客人们”各就其位，以便与它们一一“面视”呢？这成了科赫的一个很棘手的问题。

有一天，科赫发现在一块半生不熟的土豆上，长满了各种颜色的斑点。他想，每个斑点是不是由相同的细菌组成的呢？他逐一对这些斑点进行了镜检，结果发现每个斑点里生长着同一种菌。科赫由此受到了很大的启发。与肉汤里的情况不同，在土豆上细菌不能到处游动，所以它们就各自安营扎寨，各占一块地盘。因此，如果用土豆繁殖细菌，就可以把它们分开。为此，科赫把土豆煮成半熟，又为细菌设了一次“土豆宴”。可是由于细菌“客人们”的口味不同，真正喜欢土豆的不多，所以，只有少数细菌能在土豆上繁殖。这一次，科赫又没有达到预期的目的。

看来，不考虑细菌的习性爱好，也是不能控制它们的。牛肉汤很适合细菌的口味，但却不能阻止细菌游动，使每种细菌分开。土豆能使细菌阵营泾

渭分明，但却得不到大多数细菌的垂青。科赫想，能不能把这两种食物的优点结合起来，创造既适合细菌口味，又能把它们安顿下来的条件呢？

在妻子的帮助下，经过多次尝试，他终于达到了目的。他把洋菜加在肉汤里一起熬，肉汤冷却后就成了胶冻。科赫把长满各种细菌的肉汁用蒸馏水冲淡后，再用无菌的钩丝蘸了一点，在胶冻平面上按一定距离划出道道浅纹，这样，细菌就在这些纹路上落了座。在这种条件下，细菌不能游荡，饭又可口，就各自在自己的席位上繁殖起来，一个细菌很快就能生出一大家族，成为肉眼看得见的斑点状菌落。科赫从每个菌落上取得纯种细菌，放在显微镜下进行了观察。科赫由此创造了用来分离细菌的“固体培养基”。

科赫在观察细菌的时候，还遇到了一个困难。他发现细菌一般是透明的，很难看清它们的模样。怎样才能改变细菌的状态，使它们更容易辨认呢？

他找来各种染料给细菌染色，可是染了几百次，也没有成功。最后，他终于用苯胺染料，给细菌着了色。经研究发现，有的细菌喜欢酸性染料，有的喜欢碱性或中性染料。这就好像它们有的喜欢穿蓝色衣服、有的喜欢穿红色衣服一样。由于各种细菌染上了不同的颜色，在显微镜下就能很容易地看清它们的形状。这种方法叫“细菌染色法”。

科赫用固体培养法和细菌染色法，人为地创造了使细菌露面的条件，通过显微镜终于查出了在乡村里使人生病的细菌——结核杆菌和霍乱弧菌。科赫也由此成为著名的细菌学家。

科赫查找病菌所使用的方法叫做实验方法。所谓实验方法，是指人们按照研究目的，人为地干预或模拟自然现象，促使主要因素暴露出来，然后再进行观察和研究，从而获取大自然信息的一种重要的科学方法。

科赫正是想方设法地改变了细菌的生活条件和自身形态，才使病菌从混乱的细菌群体中呈现出来，通过观察发现了它们。如果不使细菌群体变得井然有序和染上不同的颜色，只是在自然条件下进行观察，那么，要想找到病菌，就好比大海捞针一样困难。实验就好像采矿一样，只有把矿藏的覆盖物挖去，才能将地下的矿藏暴露出来。实验又好像建造大厦前的挖掘工作，只有打开地面，才能将地下的情况暴露出来，从而为进一步勘查提供了条件。

观察只能在自然发生的条件下进行，观察的现象仅仅是自然界提供给我们的，实验不同于观察的地方，就在于它可以通过干预自然人为地促使某种现象出现，这就为我们进行观察创造了条件。巴甫洛夫说：“观察是搜集自然现象所提供的东西，而实验则是从自然现象中提取它所愿望的东西。”因此，实验比观察更有利于发挥人的能动性去揭示隐藏在大自然中的无穷奥秘。

实验方法在古代就已萌芽。公元前 3 世纪古希腊的斯特拉顿在研究真空问题时，对大气和液体进行了关于虹吸等现象的实验。公元前 2 世纪西汉魏伯阳的《周易参同契》这部世界上现存的最早的炼丹术著作中，就记载了汞和硫的化合以及铅丹被炭还原为铅的实验。当然，这都是一些比较原始的实

验。近代唯物主义的始祖弗兰西斯·培根和同时代的其他哲学家认为实验是认识的基本方法。他们号召人们应该从古代的权威和中世纪烦琐的经院哲学中解放出来，直接与大自然对话。他们主张把实验放在一切思辨及艺术之上，称颂智慧是实验的女儿。为了实践自己的哲学主张。培根还亲自进行了实验。有一次，他为了调查冷冻家禽的效果，受了风寒，不久就病死了。

真正建立科学实验方法的是伽利略，他创造性地用定量实验方法推翻了一千多年来一直被奉为圭臬的亚里士多德力学，奠定了近代力学的基础，成为近代实验科学的开路先锋。

随着生产的发展和科学技术的进步，科学实验无论从深度上、还是从规模上都发生了深刻的变化。今天，实验方法已经成为人们认识自然和改造自然的一种重要方法，在一定程度上可以说：没有实验，就没有现代的科学技术。

2．站在地球上看地球自转

美籍华裔物理学家丁肇中，在获得诺贝尔奖金的演说中，曾有这样一段发人深省的肺腑之言：“我是在旧中国长大的，因此想借这个机会向在发展中国家的青年们强调一下实验工作的重要性。中国有句古话：‘劳心者治人，劳力者治于人。’这种落后的思想，对在发展中国家的青年们有很大害处。由于这种思想，很多在发展中国家学习的学生们都倾向于理论的研究而避免实验工作。事实上，自然科学理论不能离开实验这个基础，特别是物理学，它是从实验中产生的，我希望由于我这次得奖，能够唤起在发展中国家的学生们的兴趣，而注意实验工作的重要性。”

实验方法是人类认识大自然的重要手段。下面我们先谈谈实验在证实或否定已有理论方面的作用。

自从哥白尼创立日心说以来，人们开始认识到日夜交替是由地球的自转造成的。可是由于人们并没有直接看到地球的自转，看到的只是太阳的东升西落，因此，人们对于地球的自转还半信半疑。迟至 1805 年，一位法兰西科学院院士还这样写过：“天文学家要使我相信，我像一只烧鸡穿在铁棍上那样旋转，那真是用心枉然！”

如何才能证明地球的自转呢？这已成为摆在科学家面前的一个难题。

能不能用实验来证明呢？科学家们经过认真地研究之后发现，地球如此巨大，要做到这一点是不可能的。要想亲眼看到地球自转，除非人类离开地球，但那时人们还做不到这一点。

然而，这一难题被一个年轻人出人意料地解决了。他就是法国科学家傅科。

傅科认为，既然地球自转着。那就总会有办法证明的。可是他一时却想不出什么好的办法。这一时期，傅科正在研究单摆的运动。意大利科学家伽

利略曾经发现了单摆的等时性原理，傅科心想，除此之外，单摆的运动还有没有其它规律了呢？有一天，他准备研究一下摆的振幅受空气阻力影响的问题。他首先让一个摆运动起来，并记下初时的角度和时间，然后打开一本书看起来，想过一会儿再量一次。一段时间过去了，傅科放下书，抬起头来，想看一看振幅减少了多少。可是，他一看却不禁愣住了，开始时单摆的摆动方向正对着自己的视线，但现在居然与视线平行了。为了证实这一现象，他找来一些细砂铺在地板上，让单摆下部的尖端在砂面上划过。傅科看到，单摆摆动留下的痕迹果然发生了变化，细砂上形成了两个对顶的扇形。

对于眼前这一奇怪的现象，傅科感到迷惑不解。因为根据惯性定律，运动着的物体在没有受到外力作用的时候，总是保持着匀速的直线运动状态。这就是说，单摆在没有受到外力作用的时候，摆动的方向不应该发生变化。

经过认真的思考，傅科认为这可能是由于地球的自转造成的。如果是这样的话，那不就可以用单摆来证明地球的自转吗？

傅科的计算结果果然证明了自己的设想是正确的。如果我们在北极竖起一个巨摆，让它摆动起来。由于北极处于地球自转轴的顶端，摆架就随着地球一起转动，24 小时转一圈。由于我们和支架随着地球自转一同转动，而摆的摆动方向又不会改变，这样，当我们站在摆下时，就会看到摆动的方向也变化了 360 度。地理纬度越低，摆动方向的改变就越慢。在巴黎需要 31 小时 47 分；在赤道上摆动的方向将不发生任何变化，因为这时支架的方向已经不随地球的自转而改变了。

1851 年，当时的共和国总统路易·拿破仑·波拿巴下令让傅科在先贤祠演示地球自转的实验。傅科在先贤祠 83 米高的穹顶悬挂一条 67 米长的钢丝，配有保持它运动的机构，下面装上一个 28 千克的重球。重球摆动一个来回需要 16 秒，摆动的路程为 14 米。由于地球自转，万神殿的地板也随着旋转，因而可看出摆动平面相对于地上的大沙盘不断地由东向西慢慢地改变方向。重球摆动一个周期，大沙盘就偏离摆动平面 2.5 毫米。这样一次一次地偏移，就雄辩地证明了地球是在自转。

在场的人无不为自己亲眼看到了地球的自转而激动万分。有一位观众指着这个摆感叹地说：“要是当年伽利略能够用这个实验来驳斥宗教裁判所的谎言，那该多好啊！”

就这样，傅科在地球上用实验证实了地球的自转，解决了这一悬而未决的难题。为了表彰傅科的功绩，各国的科学家一致决定，把巨摆命名为“傅科摆”。

在世界许多博物馆和天文馆里就能够看到“傅科摆”。北京天文馆的大厅里有一个傅科摆，由于北京所处的纬度比巴黎还低，所以摆面旋转一周约需 37 小时 15 分钟，如果你能耐心地在旁边观看一会儿，你就能亲眼看到地球的自转。

3．生死之间

法布尔在中学教书的时候，在一本书里读到了迪富尔对沙蜂生活的一些有趣的描写。沙蜂通常把一种叫做玉虫的甲虫捉来放在巢里，把卵产在玉虫身上，当幼虫孵化出来时，就把玉虫当做食物。这些玉虫看上去已经死了，可是样子仍旧十分漂亮，身上的甲是绿色的，长久不褪色，而且不干也不臭，说明它还没有腐烂。

对于这个现象，迪富尔解释说，玉虫被沙蜂杀死时，给它注射了一种类似防腐剂似的毒汁，因此，它能在很长时间里保持鲜艳。

法布尔对于迪富尔的这一看似合理的结论却发生了怀疑。因为昆虫死了以后，在干燥的夏天，很快就会干裂；在潮湿的天气，也会腐烂变质。就是防腐剂也不可能使玉虫保存这么长久。他认为，玉虫本来并没有死，还有一息尚存，所以身体的各个器官才能在很长时间内保持正常。

那么，沙蜂用什么办法使玉虫既不能动弹而又不把它弄死呢？法布尔认为这可能是沙蜂损伤了玉虫神经系统的某一要害部位，从而致使玉虫神经麻痹。

为了证实自己的猜测，法布尔捉到了几只沙蜂和玉虫，把它们放在一起进行研究。他看到沙蜂的确在玉虫的某些部位刺了几针，玉虫随即就麻痹了。为了证实昆虫是否处于麻痹状态，法布尔又用氨水当做麻醉剂，注射到玉虫的神经中枢里，结果做了好几次，也没有效果。但是他并不灰心，继续进行实验，最后终于看到：玉虫经过人工注射麻醉剂以后，可以像被沙蜂刺过一样，完全处于麻痹状态。几个星期之后，各个器官仍然像正常情况一样，十分新鲜。

法布尔通过实验，推翻了迪富尔的结论。这件事使他认识到，有许多事情，虽然前人已有定论，但是不一定是正确的，这就需要有人用实验去进一步验证。“一个科学的结论，只有用各种方法重复实验，并得到证实时，才可以牢固地固定下来。”这就是法布尔从自己的切身经验中总结出来的治学之道。

4．金色的链条

下面从电子的预言到电子的发现这一过程出发，看一看实验在发现新事物和创建新理论方面的作用。

早在 1834 年，法拉第就通过一系列的电解实验，发现了电解定理，从而揭示了电的不连续性。到了 19 世纪 70 年代，人们通过对电解过程的深入分析，指出电可能是颗粒性的东西，是一个个单元。爱尔兰物理学家斯通尼把这种电的单元称为“电子”，用它表示电的一个最小的单位电量。可是当时人们还没有把它真正找出来。那么，电子是一个具有质量的物质颗粒或仅是

一个物理名词，还有待人们进一步去探索。

在爱迪生发明碳丝电灯后，为了解决灯泡寿命太短的问题，进行了各种各样的实验。1883 年的一天，爱迪生把一根铜线封入灯泡中，他想看一看这根铜线是否能阻止碳丝蒸发以延长灯泡的寿命。经过实验，爱迪生发现碳丝还是照常蒸发，可是他却发现了一个奇怪的现象：碳丝加热后，铜线上竟然有微弱电流通过。铜线与碳丝并不联接，怎么能产生电流呢？那时，人们认为电流都是束缚在导体中的，它只能在导体内运动，而绝对不会从两个导体之间通过。爱迪生对此感到不可思议。但是，爱迪生凭着自己多年从事科学发明的丰富经验，认为这可能是一个新的发现，于是他就申请了专利，并命之为“爱迪生效应”。

尽管爱迪生天天与电打交道，但由于受传统理论的影响，所以，他自己并没有意识到，他已经从碳丝上释放出了大量的电子。爱迪生效应实际上就是阴极碳丝加热后向阳极铜线发射自由电子的过程。

当时正任伦敦爱迪生电灯公司顾问的弗莱明知道“爱迪生效应”后，对此进行了大量的实验。1884 年，他在美国见到爱迪生时，谈了对“爱迪生效应”的研究结果，认为这可能是从阴电极流向阳电极的粒子流。可是这些深刻的见解并没有引起爱迪生的多大兴趣。后来，弗莱明以此为基础，制造了第一只真空电子管，从此，人类就迈入了电子时代。

1885 年，英国物理学家克鲁克斯在前人实验的基础上，对阴极射线做了两个重要实验。一个实验是让阴极射线打到一个小叶轮上，结果叶轮转动起来，这表明阴极射线是一种粒子流。另一个实验是把磁铁放在真空管附近，结果发现阴极射线在磁场作用下发生了偏转，证明组成阴极射线的粒子是带电的。

到了 1897 年，英国物理学家汤姆孙通过阴极射线在电场中偏转的实验，证明了阴极射线粒子带的是负电，并测定和计算了粒子的电荷与质量的比值，结果与斯通尼预言的“电子”的有关数值基本一致。从此，“电子”不再被看做是一个抽象的概念，而是一个实实在在的物质粒子。

1896 年，法国物理学家贝克勒耳用实验发现了放射性。1899 年英国物理学家卢瑟福又通过贯穿实验将放射线分成 α 射线和 β 射线。同年，贝克勒耳又用实验证明了组成 β 射线的粒子就是电子。

既然电子能从放射性元素的原子中放出来，这说明电子是原子的一个组成部分，汤姆孙由此提出了一个原子模型。他认为电子就像西瓜子一样镶嵌在带正电的西瓜瓤中。后来，卢瑟福通过 α 粒子散射实验，推翻了汤姆孙的原子模型，提出了原子结构的行星模型。

通过以上简述，我们可以看到，从电子预言到电子的发现，再到原子结构模型的建立，形成了一条科学发现的金色链条，而这链条上的每一环却都是由实验焊接起来的。

5．称地球的人

从实验的作用上，我们可以清楚地看到实验是科学发展的重要推动力量。那么，如何才能做好实验呢？

在科学研究中，要进行好一项实验，首先必须搞好实验设计。纵观科学发展史上浩如烟海的实验，其成功和失败的关键常常就在实验设计这一环节上。

任何科学实验都是按照计划和目的进行的。实验之前，科学工作者要对如何安排实验、使用哪些仪器设备、怎样突出主要因素以及可能得出的实验结果进行周密的思考，也就是对实验进行设计。实验设计必须以一定的科学原理为依据，设计方案还要切实可行。下面的例子可以大体上向我们展示一下实验设计是如何进行的。

地球有多重呢？

在历史上不知有多少人思考过这个问题！要想知道某一件东西的重量，只要放到秤上称一称就行了。这对于不太大的物体来说是一件很容易的事情。在曹植称象的故事里，就是像大象这样的庞然大物也可以通过间接的办法称出其重量来。可是对于地球来说，事情就不这么简单了。根据杠杆原理，在地球上企图称出地球的重量，就像一个人抓住自己的头发把自己提起来一样困难。也许有人幻想，我们可以站到其它星球上来称地球，可是到哪里去找如此大的秤和秤砣呢？不会像曹植称象那样，间接地称量地球吗？可我们又到哪里去找负载地球的大船和海洋呢？

因此，要想设计一个用秤像称东西那样去称地球的实验，几乎是不可想象的！

在否定了用秤去称量地球的想法后，有些科学家曾提出利用质量等于体积乘以比重的公式来计算地球重量的办法。在地球体积已知的情况下，只要求出构成地球物质的比重，不就可以求出地球的重量吗？

这个想法看上去是合理的，但是科学家们很快就发现，这也是不可行的。因为构成地球的各种物质的比重不同，在整个地球中所占的比例又不知道，因此，无法知道整个地球的平均比重是多少。

难道地球的重量对于人类来说，永远是个未知数吗？

在牛顿发现万有引力以后，情况有了转机。牛顿看出，利用万有引力公式，即：$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$，就可以求出地球的质量。因为从公式中可以发现，只要知道地球对一个已知质量（m_2）的物体的吸引方（F）、地球和物体的距离（r）以及万有引力常数（G），那么由公式就能算出地球的质量（m_1）。在当时，只有 G 还不知道。因此，只要把 G 测量出来，就能算出地球的质量。这样，称量地球重量的问题就转化为测量 G 的问题了。如何测量 G 呢？根据万有引力定律，只要测量出两个已知质量的物体相隔一定距离的吸引力，就能计算出 G 值。由此可见，地球称量问题通过 G 为中介就转化为测量引力大

小的问题。

牛顿精心设计了实验，想测出两个物体之间的引力。可是他发现，物体间的引力太小了，以至根本测量不出来。牛顿曾进行过多次实验，但是都失败了。

牛顿去世以后，科学家沿着牛顿的思路，继续探索新的设计方案。1750年，有位科学家爬上了陡峭的山顶，沿着悬崖吊下一根垂线，线的下面拴着一个铅球。他设想只要测出它们受到山的引力而偏离的距离，就可以根据山的质量和铅球的质量求出“万有引力常数G”。可是，由于引力实在太小了，铅球垂线的偏离距离几乎测不出来，实验仍然没有成功。由于许多著名的科学家在测量引力时都失败了，所以，人们便断言：引力是不可能被测出来的，地球的重量也是无法知道的。

在科学禁区面前，有的人止步了，但也有人敢于闯进去，英国的卡文迪什就是其中的一个。

从青年时代起，卡文迪什立志要称出地球的重量。他认真分析了牛顿等人失败的原因后，认为实验设计思想是正确的，前人之所以失败主要是实验设计得不够精巧，以至没法将微小的引力反映出来。他决心设计一个非常灵敏的实验。

有一天，卡文迪什听说剑桥大学的米歇尔在测定磁力的时候，设计了一个巧妙的实验，可以观察到很小的力的变化。卡文迪什就立刻赶去向他请教。米歇尔的实验方法是这样的：用一根石英丝把一块条形磁铁横吊起来，然后用另一块磁铁去作用它，这时候石英丝就发生了扭转，磁铁之间作用力的大小就可以清楚地看出来，卡文迪什观看了这种灵巧的实验方法后，就想能不能用这个方法测出两个物体之间的引力呢？

经过认真地构思后，他设计了一套实验装置。他把一个轻而坚固的T形架，倒挂在一根石英丝的下端，在T形架水平杆的两端各装上一个小铅球。实验装置做好后，卡文迪什用两个大铅球分别移近两个小铅球，由于铅球之间存在吸引力，T形架就会发生摆动，石英丝也会随着扭动，只要测出石英丝扭转程度的大少，就可以进一步求出引力。

可是，卡文迪什进行了许多次实验。却都没有看到哪怕是极其微小的扭动。问题出在哪里呢？根据万有引力定律，石英丝肯定会发生扭转，看来问题主要在于扭转的程度太微小了，仅靠肉眼是观察不出来的。怎样才能加大扭转的幅度呢？显然，通过增加铅球的重量或缩短铅球之间距离的办法是不现实的。可是除此之外，又该怎么办呢？经过长期的思考，卡文迪什还是一筹莫展。

有一天，他看到几个小孩正在闹着玩。他们每人手里都拿着一面小镜子，用来反射太阳光，互相照着玩。卡文迪什看到，只要小镜子稍微一动，远处点光就会移动很大的一段距离。卡文迪什看着看着，忽然一个念头闪过他的脑海，他赶快跑回实验室，对自己的实验装置进行了改进。他把一块小平面

镜固定在 T 形架的竖直杆上。用一束光线去照射它，光线再被镜子反射到一根刻度尺上。这样，只要石英丝有微小的扭动，反射光点就会在刻度尺上有明显的位置变动。就这样，卡文迪什通过一个附加的小镜子，使扭动的程度放大了。这就是著名的“扭秤实验”。根据扭转角度就可以算出铅球之间的引力。为了排除气流对测量结果的影响，卡文迪什把扭秤装置放到密闭室内，在室外用望远镜观测扭转的角度。

卡文迪什用自己设计的这一灵巧的实验装置，进行了多年的实验，一直到 1798 年，即牛顿发现万有引力定律 100 年后，他终于测出了“万有引力常数”的数值，即 6.754×10^{-11} 牛顿·米 2／千克 ^{2}，并由此算出了地球的质量为 5.976×10^{24} 千克，也就是 60 万亿亿吨！卡文迪什为解决这个问题，竟用了近 50 年的时间！

由于卡文迪什第一次测出了万有引力常数，并算出了地球的重量，人们把他誉为“第一个称地球的人”。

6．惰性家族追踪记

英国物理学家瑞利勋爵在做测定氮气比重的时候，为了提高实验的准确度，他分别从空气和氨中制取了两份氮气。他对这两份氮气测定后，发现结果却不一样：来自空气的那份氮，每升重 1.257 克；分解氨得到的氮气，每升重 1.251 克；前者比后者多一点。

难道实验过程出了差错？

瑞利仔细检查了实验装置，把实验重复了好几遍，却仍旧不能消除这个差异。瑞利又从其它含氮的物质中制取了氮气，测定结果总是比从空气里分离出来的氮少一点。

在 19 世纪末，人们关于空气的组成已经形成了统一的认识，几乎所有的科学家都认为，空气只是由氮气、氧气、二氧化碳和水蒸气组成的，除此之外，就没有别的气体了。由于瑞利深受这种观念的影响，对于这个差异百思不得其解。

瑞利有一位朋友叫拉姆齐，是个化学家。他对瑞利的实验结果很感兴趣，但他却不像瑞利那样仅仅拘泥于空气组成的旧框框里。经过认真地分析和思考，他认为空气里除了四种气体外，也许还存在着一种新的气体。后来。他们又从科学文献里查到，早在 100 年前，英国科学家卡文迪什就指出：空气中的氮气并不是单一的，一而是两种气体的混合物。

这时，瑞利才茅塞顿开，他们决定一起来寻找这种新的气体。

拉姆齐先用氢氧化钠吸收了空气中的二氧化碳和水蒸气，又用炽热的铜丝吸收了空气中的氧气，再用灼热的镁屑化合掉氮气。最后，容器里果然剩下了很少的一点气体，经测定它的原子量是 39.9。与此同时，瑞利也分离出了这种气体。他们研究发现这种气体的化学性质很不活泼，很难跟其它物质

发生化学反应。

1894 年 8 月，在英国牛津的一次科学会议上、两位科学家把他们的发现公诸于众。鉴于这种气体不好动、不爱与别的物质进行反应的特性，就给它取名为“氩”，这个字在希腊文里是“懒惰”的意思。

当时，法国有一位化学家叫布瓦博德朗，19 年前他曾发现了元素镓，实验结果发表后，却出人意料地收到了俄国化学家门捷列夫的一封信。信中指出布瓦博德朗对镓的比重的测定值与根据自己发现的元素周期律所预言的理论值不一致，并希望布瓦博德朗再测一次。开始，布瓦博德朗不相信。可是经过重新测定，的确是自己的测定值错了。从此，布瓦博德朗对门捷列夫的周期律的正确性坚信不移。所以，当布瓦博德朗看到发现气体氩的报告后，根据自己与元素周期律打交道的经验，经分析指出：除了氩外，像氩这样性质不活泼的元素还应当有 3 个。他甚至还预言了这 3 个元素的性质和原子量。

拉姆齐也在元素周期表中为氩找到了合适的位置。他认为，不仅是氩，世界上一定还有一些同氩相似的元素，它们可能组成了元素周期表中一个新的元素家族。

在正确理论的指导下，拉姆齐等人仅用了 3 年的时间，就找到了几个脾气和氩十分相像的伙伴，并分别取名为氦、氖、氪、氙又过了两年，这个家族中的最后一位成员“氡”，也被找到了。

人们把这些元素叫做“惰性气体”，他们共同组成了元素周期表中的一个“惰性家族”。

通过惰性气体的发现过程，我们可以看到，科学家是在某种思想指导下进行研究的。只要思想正确，实验者就会少走弯路，获得预期的实验结果。拉姆齐等人正是在门捷列夫元素周期表的指导下，才在很短的时间内发现了惰性气体家族。

同时，我们还看到，在对实验结果的解释分析上，也需要正确思想的指导；否则，即使真理出现在眼前，也很可能视而不见，与真理擦肩而过。瑞利由于受到了传统大气组成理论的影响，才对重量不同的实验结果感到很惊奇，他总认为这是由于实验过程中的疏忽造成的。出于科学研究的高度责任感，瑞利竟把主要精力放在氮气比重的重复测定上。这样，测定结果越来越精确，瑞利也越来越感到迷惑不解，可谓到了“山穷水尽疑无路”的地步。

瑞利的朋友拉姆齐则不然，面对瑞利经过反覆测定才得出的不容怀疑的实验事实，他毅然抛弃了传统的大气组成理论，另辟蹊径，认为大气中还有未被发现的气体，在这一信念的驱使下，他们才从旧的框框里跳了出来，重新解释了实验结果。从此，他们得心应手，一举发现了一个惰性气体家族，步入了“柳暗花明又一村”的佳境。

7．捕捉住光的人们

科学实验的种类是非常多的，我们不能在此逐一介绍。我们只能从科学史上选出几个比较著名的实验，谈谈科学实验这个大家族中的几个成员。下面是关于定量实验的一个例子。

现在，我们知道光速大约是每秒钟 30 万公里，也就是说在 1 秒钟内，它已经绕着地球赤道跑了近 8 圈。这么快的速度是怎样测量出来的呢？

历史上第一个测量光速的人是意大利的伽利略。他认为，如果光的传播速度是有限的，那就可以用测定通过已知距离所需时间的办法把速度计算出来。

1607 年的一个夜晚,伽利略和一名助手各提一只灯笼,分别站在相距 1.5 公里的两个山头上。实验时，伽利略先打开灯前的遮光板，同时开始计时；当助手看到灯光时，也马上打开灯前的遮光板，把光的信号传回来；伽利略一看到助手的灯光时，便停止计时。这样，根据前后的时间差和两个山头的间距就可以算出光速了。可是，伽利略并没有能将光速计算出来。这是怎么一回事呢？

伽利略的实验原理虽然无可非议。但是实际上做起来问题却很大。我们知道光在 1.5 公里的距离上往返一次，只需要十万分之一秒。这样短暂的时间，那时的钟表是根本无法测出来的，并且开灯和看表所花费的时间，会比光在两座山中间往返的时间大几万倍。因此，伽利略测出的时间实际上主要是开灯和看表的时间。所以，当枷利略和助手再到两个相距更远的山头上做实验时，他们发现所测的时间与上次比较竟然没有发生变化。

尽管伽利略测定光速的实验失败了，但是人们对于光速的认识还是前进了一大步。科学家们认识到由于光速太快，要想利用速度公式测量光速，要么加大距离，要么采用更精巧的实验装置测量时间。

开始，人们是沿着第一条思路去做的。由于地面上找不到非常远的测光距离，于是人们想到了天空，想利用天文学有关原理去测量。1675 年，丹麦天文学家雷默第一次利用卫星蚀测出了光速的近似值。他的成功与对天文现象的细致观察是分不开的。当木星的卫星转到木星背面去的时候，我们就看不见它了，这叫“卫星蚀”。雷默发现蚀与蚀出现的周期是随季节变化的。周期最长的一次要比最短的长一千多秒。这个现象使雷默十分惊异。他经过仔细的研究，得出了一个结论：这是由地球和木星之间距离的变化造成的。由于木星是在地球外面绕太阳旋转的，当地球运行到太阳和木星之间的时候，地球离木星近，木星上的光跑过这段距离射到地球上所需的时间少；当地球运行到太阳的另一边时，地球和木星间的距离变大了，所以我们看到卫星蚀的时间也长了一千多秒。这一偏差正好依赖于光线通过地球公转轨道直径所需的时间。根据当时已经知道的数据，雷默算出光速为每秒 22.5 万公里。但是，由于太阳、地球、木星及其卫星在不断地运动，它们之间的距离时刻都在变化，所以这样测出的光速，其精确程度很差。

1728 年，英国天文学家布拉得雷则利用光行差，也求得了一个光速值，

约为每秒 30.3 万公里。

19 世纪以来，随着机械制造业的发展，光学实验技术也有了很大进步。人们开始沿着通过测量时间这一途径来测定光速。

1849 年，法国物理学家斐索，设计了一个高速旋转的齿轮系统，开始在地面上进行测定光速的实验。他选择了两个相距 8 公里远的山头，在一个山上安装了一个旋转的齿轮，在另一个山上放了一面反光镜。他首先让发出去的光线通过齿轮某两个齿之间的空隙，照到另一个山头的镜子上，由镜子反射的光线，再照射到齿轮上。只要适当调整齿轮的转速，就能使反射回来的光线，恰好由紧邻的齿间通过。这样，这套齿轮系统就相当于一个精密的时钟。由齿轮相应的转速就可以推算出齿轮转过一个齿距的时间，而这正是光线在齿轮和反射镜之间往返的时间。斐索由此测得光速值为每秒 31.5 万公里。人们称赞他是“第一个捕捉住光的人”。

后来，许多科学家又进一步改进方法，进行了一系列测定光速的实验。1868 年，法国科学家傅科用一面旋转镜子代替斐索的齿轮系统，测得光速值为每秒 29.8 万公里。1926 年，美籍德国人迈克耳孙特制了一个能旋转的八面棱镜，测得光速值为每秒 29.97 万公里。

随着科学技术的进步，光速测定也越来越精确。1972 年 10 月 18 日公布了用原子钟和激光测定的光速值为每秒 29.979245 万公里。

以上我们介绍的测定光速的实验就属于定量实验。定量实验是确定研究对象的数值或各因素之间的数量关系的一种实验方法。定量实验与定性实验有着非常密切的关系。所谓定性实验就是研究对象某种性质或组分是否存在，是否起作用的实验方法。它的特点是回答“有没有”或者“是不是”的问题。下面我们从大家熟悉的自由落体运动来谈谈定量和定性实验的关系问题。

古希腊哲学家亚里士多德认为，两个轻重不同的物体同时从同一高度自由下落时，较重的物体先落地。这一观点曾统治学术界达 2000 年之久。1586 年，荷兰工程师、力学家斯台文出版了一本力学著作，公布了他否定亚氏论断的自由落体实验。他选取了两个铅球，其中一个比另一个重 10 倍，把它们从 30 多尺的高度同时下落，结果仅听到了一次落地声。斯台文的这个实验就是定性实验。

然而，许多人对这个实验却持有异议。他们认为，如果两者落地的时间差别很小，就是重的物体先落地，也没有办法辨别出来。针对这一点，伽利略才运用数学方法，设计了一个巧妙的斜面实验。通过这个实验，伽利略发现了自由落体的基本规律，这才从根本上否定了亚里士多德的错误结论。这个斜面实验就是定量实验。

一般来说，定性实验是定量实验的基础；定量实验是定性实验的发展，它能更精确地反映事物的特性和规律。

8．烟草花叶病毒是怎样发现的

下面我们再介绍一种重要的实验方法——析因实验。所谓析因实验是一种由已知结果去寻求未知原因的实验。在科学史上这种例子很多。例如，食物腐败是人们司空见惯的现象，但腐败的原因是什么呢？1864 年，法国科学家巴斯德用肉汤做灭菌实验，才证明了食物腐败是由于空气中的微生物侵入其中并大量繁殖造成的。

俄国植物学家伊万诺夫斯基发现烟草花叶病毒的实验也属于析因实验。

19 世纪末，俄国的烟草染上了一种可怕的疾病。烟草的嫩叶抽出不久，就在上面出现了一条条黄黄绿绿的斑纹，接着，叶子卷缩起来，最后完全枯萎、腐烂。这种病叫做烟草花叶病。它蔓延很快，使烟草种植者蒙受了巨大的经济损失。

人们对这种病束手无策，就连有名的植物学家见了，也只能皱起眉头。因为烟草花叶病是什么原因引起的，在当时还一无所知，就更不用说防治方法了。

俄国年轻的植物学家伊万诺夫斯基在亲眼目睹了烟草花叶病给种植者带来的灾难后，就下决心要对发病原因查个水落石出。

那么应该先从何处着手呢？

伊万诺夫斯基想，必须首先找到致病凶手的藏身之所。凶手是藏在土壤里、昆虫身上、空气中还是烟草叶子里呢？伊万诺夫斯基从田里采了几片得病的烟叶，把它们捣烂，加上水调成浆液，然后把这种浆液滴在没有得病的烟叶上。过了几天，这些烟叶也得了花叶病。伊万诺夫斯基由此得出结论：传染烟草花叶病的凶手就藏在叶子里。

当时，人们认为传染病是由细菌引起的，那么，烟草花叶病是不是由细菌造成的呢？伊万诺夫斯基把病烟叶的浆液接种在细菌培养基上，好让它们长成便于观察的菌落，结果没有成功。这种通常用来分离细菌的方法，对这些凶手一点儿也不管用。他又在光学显微镜下对病叶组织进行了观察，结果也没有看到致病凶手的踪影。

病原到底是什么呢？伊万诺夫斯基的研究遇到了困难。

有一天，伊万诺夫斯基看到了一份实验报告，里边说：“花叶病烟草的浆液用两层过滤纸过滤之后，好像失掉了它的传染性。”这样说来，病原就是一种比细菌大的微生物。如果真是这样，那为什么用显微镜看不见它们呢？伊万诺夫斯基重复了这个实验，所得结果正好相反，滤液仍能使烟叶得病，这说明滤纸并不能阻挡这种看不见的凶手。他又选择了一种孔隙更小的过滤器，用它来过滤病叶的浆液，再把经过过滤的滤液，注射到无病烟叶中。几天后，烟叶上出现了黄色的花斑，这说明滤液还是具传染性。由于伊万诺夫斯基使用的是细菌不能通过的过滤器，因此，致病凶手要比细菌小得多。

1892 年 2 月，伊万诺夫斯基在彼得堡科学院会议上报告了自己的实验结

果。他认为：“花叶病的浆液通过细菌过滤器仍旧能引起感染，这说明存在两种可能：一种可能是病原体非常微小，能够通过过滤器；另一种可能是，细菌本身虽然不能通过过滤器，但是它分泌的毒素溶解在浆液里，也能引起花叶病。这个报告引起了学者们的极大兴趣，许多人都投入了对病原的研究，对病原的推测也越来越多。有的认为是一种酶，有的认为是细胞的原生质，还有的认为是一种活的传染性液体。

病原究竟是什么呢？研究工作再次陷入了困境。

6 年过去了，伊万诺夫斯基仍然在继续这项工作。他在用实验推翻了那些没有根据的推测后，又把研究重点放在自己的那两个推测上。

为了验证致病凶手是不是毒素，他进行了下面的实验。

先把得病烟叶的浆液注射进第一株无病烟草的叶子里；等这棵烟草得病后，再把它的叶子做成浆液，注射进第二株无病烟草的叶子里；然后，再把第二株的病叶做成浆液，注射给第三株，这样一株一株的接连注射下去。如果花叶病的病原是毒素，那么，注射进第一株烟草的毒素最多，发病也应该最迅速、最严重。随后注射的毒素仅含有前一株的一部分，这样，注射的毒素一株比一株少；它们发病也应该一株比一株慢，一株比一株轻。

可是，实验结果恰恰相反，得病烟草是一株比一株发病快，一株比一株发病重。这就说明了病原根本不是什么毒素，而是活的有机体。因为只有活着的生命，才可能在烟草中不断繁殖，从而使浆液的毒性越来越强。

就这样，伊万诺夫斯基用实验证明了烟草花叶病的致病凶手是一种比细菌还要小的有机体，这就是最小的生命——病毒。使烟草得花叶病的就叫烟草花叶病毒。现在，科学家已经用电子显微镜看清了烟草花叶病毒的面目。

9．玻璃瓶中的生命起源

地球上最初的生命是怎样发生的呢？

这是一个自古至今人类都在探索的自然之谜。过去，人们认为生命是上帝创造的，这已被科学的发展所否定。后来，又有人提出，地球上的生命来自遥远的天体，是随着陨石或者借助光的压力来到地球上的。从现代科学来看，这种理论也是站不住脚的。

生命既不起源于超自然力，又不是天外来客，那么，地球上的生命起源问题就应当让地球自身来回答。

19 世纪后半期，科学家提出了一种生命起源的新理论。他们认为，地球上的生命是从地球上的非生命物质发展来的，但这是一个经历了几十亿年的漫长发展过程。在大约 50 亿年前，地球还是一个炽热的球体，温度很高，根本不可能存在生命。后来，地球的温度逐渐降低，由于强烈的火山爆发和地震的作用，大量气体，包括二氧化碳、甲烷、氨、水蒸气、硫化氢等，从地壳深处喷发到地球表面上来，形成了地球上最早的大气层。这种原始大气在

紫外线、闪电、各种宇宙射线等的作用下，化合成了一些有机物，如氨基酸、嘌呤、嘧啶、单糖等。经过漫长的演化过程，这些有机物逐渐形成了构成生命的大分子——蛋白质、核酸等，最后，由这些大分子形成了原始的生命。

这个理论提出以后，得到了大多数科学家的支持。然而这终究只是一种假设。我们怎样才能证明这个假设是否正确呢？生命起源大约发生在 30 亿年前，现在事过境迁，我们已经无法直接观察到它了；并且生命的起源是经历了几十亿年才完成的，要想在实验室里重演这一过程，也是不可想象的。因此，许多人断言生命的起源是永远不可认识的。可是，谁也没有料到，生命起源于无机物的设想，却被一位年青的研究生米勒通过模拟实验所证实。

米勒把一个特制的玻璃仪器抽成真空，再在 130℃下消毒 18 个小时以确保实验装置内不残留任何生命。他再用二氧化碳、甲烷、氨、氢气、水蒸气等组成类似地球原始大气的混合气体，并把它们通入实验装置。然后，在高压下进行火花放电，来模拟大自然中的电闪雷鸣和太阳辐射。就这样，米勒在实验室的玻璃仪器里制造了一个微缩的原始地球大气层。

一个星期过去了，米勒从仪器里提取样品进行分析，果然得到了氨基酸和其他有机化合物，其中有四种氨基酸与天然蛋白质中的氨基酸相同。

米勒的模拟实验成功地为我们展示了几十亿年前原始地球上生命起源的生动图景，有力地证明了原始生命是通过化学途径从无机物中产生出来的。

此后，科学家们相继采用类似的模拟实验研究生命起源的化学进化过程。到今天，组成蛋白质的 20 种氨基酸和组成核酸的嘌呤、嘧啶、核糖等都已被合成出来了。1959 年，我国的科学工作者曾用类似的方法，合成了比较复杂的氨基酸。1965 年，我国的科学工作者在世界上第一次人工合成了结晶牛胰岛素。1981 年，我国科学家又人工合成了酵母丙氨酸转移核糖核酸，在生命大分子的人工合成方面做出了重大贡献。

我们把大自然中生命的起源过程称为原型，米勒的实验系统叫做模型。这种通过模型来间接地研究原型规律性的方法就叫做模拟实验。在科学研究和工程技术领域，模拟实验是一种经常被采用的重要方法。例如，在修建大型水库时，先按一定比例做一个小的水库模型；在设计超音速飞机时，先制造一个按比例缩小的飞机模型，在风洞中进行高速吹风实验；为了考察某种药物的疗效和毒性，必须首先在动物身上即模型上进行实验。在那些不易或不允许直接进行实验的情况下，模拟实验往往起着非常重要的作用。

10．实验的代价和报酬

科学实验通常是一种艰苦而持久的劳动，只有那些不怕苦累、不怕失败、甚至勇于牺牲的人，才能攀上科学的高峰。赫尔岑曾经说过：“在科学中是不能不劳而获的，幻想也罢，热情也罢，用整个的身心去渴望也罢，都不能代替汗流浃背的劳动。”

法拉第为了把“磁转化为电”，曾坚持了近十年的实验研究，失败了一次又一次。可是，他从没有灰心，而是以顽强的毅力继续研究下去，直到实验成功。

爱迪生在研制电灯的过程中，为了寻求合适的灯丝材料，对 1600 多种矿物和金属，在一年多的时间里，反覆进行了 2000 多次的实验，才发现白金比较合适。可是白金比较昂贵，不宜普及。爱迪生又重新踏上了寻找新材料的征程。他先后通过对 6000 多种植物纤维的检验，在失败了 8000 多次以后，他终于找到了炭化竹丝这种比较理想的材料，并于 1878 年 10 月研制出了第一只炭化竹丝灯泡。

富兰克林为了证明天上的闪电与摩擦生电的性质相同，竟然在狂风暴雨中，冒着生命危险，进行了“捕捉雷电”的著名的风筝实验。像这种为了科学研究，置个人生命于不顾的献身事例，在科学史上还是很多的。

美国医生卡尔罗为探明传播黄热病的媒介物是什么，就用吮过黄热病患者血的蚊虫来叮吮自己。卡尔罗的年轻助手拉柴，考虑到他还有五个孩子和妻子，要靠他维持生活，就劝阻卡尔罗不要用自己的身体做实验。为了探寻真理，卡尔罗还是坚持进行了这种非常危险的实验，结果他被染上了黄热病，招致终身残疾。拉柴为了帮助卡尔罗进行实验，也染上了黄热病。因高烧不退而献身。他们就是这样用自己的身体证明了蚊虫是黄热病的媒介物，从而为防治这种病提供了可靠的科学依据。卡尔罗和拉柴用自己的生命换来了千百万人的幸福。

大家所熟悉的“诺贝尔奖”的创立人诺贝尔，也是一位勇于实践，不怕牺牲的科学家。

19 世纪中叶，欧洲人使用的炸药仍旧是从中国引去的黑色火药。不过黑色火药的爆炸力小，远远不能满足生产的需要。因此，科学家们就想寻找一种威力强大的新炸药。

1847 年，有一位意大利人无意中制得了一种叫硝化甘油的物质。如果这种物质被加热或者是受到猛烈的震动，就会立即发生爆炸。诺贝尔知道这件事后，就想用它来代替黑色火药。可是，硝化甘油太容易爆炸，没法用到生产上去。怎么办？诺贝尔熟悉黑色火药是用一根裹着火硝的药捻引爆的，他就想，如果能用药捻引爆硝化甘油，使用起来是不是就安全了呢？为此，他进行了实验。有一次实验发生了猛烈的爆炸，整个实验室被炸得无影无踪，牺牲了五个实验人员，其中有一个就是他的弟弟。还有一次，他把雷汞装进一根导管里，用它来引爆硝化甘油。他独自一个人点燃了雷汞，为了看清实验的全过程，他竟然没有离开。随着“轰”的一声巨响，实验室被送上了天，地上也炸成了一个大坑，人们认为：诺贝尔必死无疑了！

忽然从滚滚浓烟里跑出一个人来，他浑身上下冒着烟火，一面奔跑，一面高喊：“我成功了！我成功了！”这个人正是诺贝尔。就这样，诺贝尔发明了雷管。硝化甘油也很快就行销世界各地。

但是，由于这种新炸药经不起震荡，爆炸事故不断发生。有一艘满载硝化甘油的轮船在开往巴拿马的途中，遇到了风浪，船一颠簸，硝化甘油就发生了爆炸，结果轮船被炸沉海底。还有一家工厂也因为硝化甘油的爆炸而变成了废墟。在世界的许多地方都发生过类似的爆炸事件。于是，瑞典政府及其他各国政府都下令禁运诺贝尔的新炸药，甚至连他的邻居也对他下了逐客令。

诺贝尔只好造了一艘船，把船停在湖中心，作为他的实验室。有一天，诺贝尔看见一辆满载液体炸药罐的马车向着湖边驶来。诺贝尔发现有一个炸药罐被震裂了，硝化甘油正在向外流。这本该是要发生爆炸的，但是出人意料的是，硝化甘油并没有发生爆炸，也没有一滴炸药流下来。诺贝尔感到非常奇怪，就走上前去。他仔细一看。原来在炸药罐之间塞着硅藻土。原来，这是赶车人为了防止炸药罐震破而塞在药罐之间的，硅藻土分量轻，但吸收力却很强，从炸药罐里流出来的硝化甘油就是被硅藻土吸收了。诺贝尔从这里受到了启发，经过艰苦的实验，终于研制出了一种固体炸药。这种黄色固体炸药，安全可靠，在世界各地得到了广泛的应用。

然而，这种炸药并非完美无缺。诺贝尔发现新炸药的爆炸力反而不如以前的了。能不能发明一种既具有原炸药那样大的爆炸力，又具有新炸药那样安全特征的炸药呢？年逾 50 岁的诺贝尔又开始了新的探索。

1875 年的一天，诺贝尔在实验室工作的时候，不慎把手指划破了，他就用哥罗丁敷抹了伤口。夜里，手指疼痛，难以入睡，就思考起了炸药的浓度问题。突然，一个想法袭上了心头，何不用与哥罗丁相似的硝棉胶实验一下呢？他立即起床，跑到楼下实验室做起了实验，结果成功了。等到他的助手来到实验室时，看到的是既安全可靠，爆炸力又大的新型炸药——胶质炸药，不禁又惊又喜，连连祝贺。

到了晚年，诺贝尔把他由于发明而得到的财产作为基金，用每年的利息做奖金，奖励那些在科学上、文学上以及和平事业上为人类做出伟大贡献的人们。这就是闻名于世的“诺贝尔奖”。

11．顽皮的猫和防盗的葡萄园

元素周期表对大家来说并不陌生。但是，你们可曾知道，元素周期表中的每一个元素都还有一段有趣的故事呢？下面我们就讲讲发现碘的故事。

19 世纪初，拿破仑发动了一场征伐欧洲的战争。战场上硝烟弥漫、炮声隆隆。随着战事的扩大，火药成了参战各国的抢手货。顿时，火药供不应求，价格飞涨。很多人看准了行情，就立即开办起了生产火药的工厂。当时还没有发明安全炸药，人们都用从中国传过来的传统办法，用硝石（硝酸钾）、硫黄和木炭制造火药。在这三种东西中，硝石是不容易生产的，所以人们都在寻找大量生产硝石的办法。

有一个住在海边的法国人，叫库图瓦。他从海里捞取大量的海藻，然后把它们烧成灰，从里面就可以提取出硝石。库图瓦有个儿子，人们都叫他小库图瓦。他年纪轻轻，却特别能干。他一边帮助父亲生产硝石，一边还在学校里学习化学。

1811 年的一天，小库图瓦按照惯例，把海藻灰先用水配成溶液，然后加热蒸发，溶液中的水就会越来越少，白色的氯化钠最先结晶出来，这就是食盐。接着，硫酸钾也析出来了。最后，只要向剩余的溶液里加入少量的硫酸，把某些杂质析出来后，就可以得到较纯净的硝酸钾溶液了。装着硫酸的瓶子就放在盛着海藻灰液的盆子旁边。当小库图瓦刚想去拿瓶子的时候，突然，一只猫猛地从一边跑了过来，“ 碰倒了装硫酸的瓶子，瓶子正好倒在盆沿上，里面的硫酸几乎有一大半一下子流进了盆里。

小库图瓦见此情景，非常生气。他清楚地知道加入海藻灰液的硫酸必须量少，这么多的硫酸一下子倒进去，还能得到硝石吗？他正想惩罚这只捣乱的猫，忽然，眼前出现了他从未见过的美丽景象：一缕缕紫色的蒸气从盆里冉冉升起，紫雾缭绕，真是太迷人了！他认为应该把这罕见的蒸气收集起来，便拿起一块玻璃，放在了正在升腾的蒸气上面。小库图瓦想，一定会有许多紫色液珠凝聚在玻璃上面，就像热蒸气遇到冷的物体会重新凝结成水珠一样。可是出乎意料，他得到的却是一种紫黑色的晶体，它们就像金属一样闪烁着耀眼的光泽。这使小库图瓦更加感到不可思议。要知道，人们还从来没有发现过这种现象呢？

这种紫黑色的晶体到底是什么呢？是一种新元素，还是一种化合物？在好奇心的驱使下，小库图瓦进行了一系列实验，结果证明这是一种新的元素，并且给它取名为“ 碘 ”，“ 碘 ”在希腊文中的原意就是“ 紫色的 ”。碘有一个独特的性质，就是在加热的时候，它不是先变成液体，再变成气体，而是由晶体直接变成蒸气，这种现象叫“ 升华 ”。遇冷时，碘的蒸气不必经过液态，就能直接凝为晶体。

由于猫碰倒了硫酸瓶，结果使海藻灰液中含有大量的硫酸，在这种情况下，碘元素就被析出来了，碘晶体遇热便升华为紫色的气体，这就是小库图瓦看到的奇怪现象。

事情就是这样，小库图瓦在一只小猫的“ 帮助 ”下，意外地发现了碘。这种能够导致科学发现的意想不到的机会就叫机遇。

在科学研究中，机遇是时时处处都会发生的。由机遇引起的重大发现几乎俯拾皆是。例如，意大利解剖学家伽伐尼在做青蛙解剖实验时，偶然发现了电流。丹麦物理学家奥斯特在哥本哈根大学的一次课堂实验中意外地发现了电生磁现象。英国化学家柏琴在合成奎宁时，偶然发明了人工合成染料“ 苯胺紫 ”。这样的事例在科学史上是不胜枚举的。

机遇就是在科学观察和实验中出规的偶然事件；是客观事物的某些特性在一定条件下的表现。表面看似意外的现象，实际上却反映出了客观事物某

种内在的必然性。机遇给科学家提供了科学研究的新方向、新线索，以此为研究的出发点，顺藤摸瓜，就会发现隐藏在事物背后的必然规律。

在法国有一个地方叫波尔多城，这是一个盛产葡萄的好地方。每当收获的季节，在绿荫浓浓的葡萄架上，悬挂着串串粒大饱满、晶莹剔透的葡萄穗，真是逗人喜爱，惹人眼馋！

1879 年，这里突然，流行起了一种葡萄霉菌病。正当葡萄开花、坐果的时节，葡萄的叶子上长满了多角形的黄褐色病斑，叶子背面则是一片白色的霜霉，葡萄树逐渐枯萎。人们毫无治病良策，眼看着病害向四周蔓延，个个唉声叹气，叫苦不迭。

可是，有一个靠近路旁的葡萄园却安然无恙，里面的葡萄生机昂然，长势喜人。

大家对这件事感到很奇怪，就连这个葡萄园的主人也莫名奇妙！

这一令人迷惑不解的消息，很快就流传起来。一天，法国波尔多大学植物学教授米亚尔代从朋友那里也听到了这个惊人的消息。他感到这件事非同寻常，就和朋友一起驱车来到了这个没有遭灾的葡萄园。

园主热情地接待了他们。当米亚尔代问起葡萄没有得病的原因时，这位国主却什么也说不上来。米亚尔代仔细考察了果园的土壤、水源等，却丝毫没有发现与其他果园不同的地方。米亚尔代又询问了园主对葡萄园的管理情况，也没有发现有什么可疑之处。这里果园相连，葡萄成片，唯独这个果园没有发病，这真是太不可思议！

“请您仔细想想，有没有使用过什么新办法？哪怕是与以前稍有一点不同的办法？”米亚尔代继续询问。

“没有呀！”园主一边说着，一边努力回想着，突然说道，“只是去年我怕葡萄丢失，就把硫酸铜溶液和石灰水混在一起喷在了葡萄上。”

原来，这个果园正处于道路的旁边。来往的商客行人止不住惹人口馋的葡萄的诱惑，就经常顺手摘食这个果园的葡萄。园主为了防止葡萄丢失，想出了一个计策。

他把用来粉刷葡萄架的石灰水和用于防治病虫害的硫酸铜溶液混在一起，就会产生一种既有奇怪颜色又有难闻气味的液体。把这种液体喷在葡萄上，葡萄就变成了一个个小花脸，并且还夹杂着一股怪味。这样一来，还有谁敢再采摘葡萄呢？这个果园的葡萄不仅没有丢失，并且还出人意料地躲过了这场灾难。

米亚尔代马上意识到问题可能就出在这个意外的事件上。他紧紧抓住这一线索，开始了研究工作。他对石灰水和硫酸铜的混合液进行了深入地研究，并在葡萄园里做了一系列的防治实验，最后，他找到了这种混合液治病的原因。原来在这种混合液中，硫酸铜溶解后游离出了铜离子，这种铜离子能够阻止霉菌孢子的正常发育，这样霉菌就不能繁殖后代，也就不会对葡萄造成危害了。就这样，一种新农药诞生了。

米亚尔代没有放过这一机遇，经过研究，从这一偶然事件中，发现了必然性，从而使人们掌握了一种与植物病害进行斗争的新武器。为了让后人记住波尔多城的这个葡萄园，米亚尔代等人把这种新农药称为“波尔多液”。直到今天，波尔多液仍然是每个果园必备的重要农药。

12．坐失良机和不失时机

瑞典大化学家贝采里乌斯曾讲过这样一个故事。

很久以前，在遥远的北方有一位女神，她的名字叫凡娜吉斯。一天，女神正躺在床上休息，突然听见了敲门声，她想：这是谁呢？我先不给他开门，就让他敲一会儿吧！可是，过了一会儿，女神就再也听不见敲门声了。女神来到窗前向外看了看，只见那位敲门人急匆匆地走了。女神仔细地打量了一番，认出了来人正是维勒。他可太没耐心了，怎么才敲了几下就走了呢？女神想了想，就又躺在床上休息了。

过了不久，女神又听到了敲门声。这跟维勒的敲门声截然不同，这位客人敲得坚定沉着、清脆悦耳。敲门声接连不断、声声相连，听得出这位来客很有耐心。女神心里很高兴，就打开门，迎接他进来。

这个人叫塞弗斯特姆。女神请他坐下后，他们就交谈起来。女神很喜欢这位既认真又有耐心的人，就嫁给了他。婚后他们有了一个儿子，并给他起了个名字叫“凡娜吉”。

这个故事后来被刊登在一家报纸上，并在文章的后面附了这样一句话：“这就是今年（1831）瑞典化学家塞弗斯特姆发现新元素——钒的经过。”

有一天，维勒正在随便地翻阅报纸，看到了他的老师贝采里乌斯所讲的这个故事，就读了起来，当他看到自己的名字时，不禁大吃一惊，心想：我什么时候敲过女神的大门呢？当他读完全文后，才如梦方醒。他极为后悔，深深地责怪自己竟然粗心到如此地步，以致放走了这一导致重大发现的机遇！

事情是这样的。

1830 年，德国化学家维勒在研究一种墨西哥产的褐色矿石的时候，偶然发现矿石里含有一些金属化合物，色彩纷呈，但其中以红色最为显著。

当时，维勒只有 30 岁，却因发现了金属铝和人工合成了尿素而闻名于世。凭着自己从事科学研究的经验，维勒猜想构成这些化合物的金属很可能是一种新元素。他觉得应该停下手里的工作，研究一下这些金属化合物的成因。可是当他又打量了一会儿后，看到这些多呈红色的化合物与法国化学家福克兰发现的铬极为相似，因此，他想当然地认为：这种金属也许是铬吧！既然是铬，叉何必再浪费精力呢！就这样，维勒坐失良机，让本来能导致发现新元素的机遇溜掉了。

与此同时，瑞典化学家塞弗斯特姆也在研究这种矿石，并且也碰到了这

一意外情况。跟维勒一样，他也猜测这可能是一种新元素，可是，与维勒不同的是一他没有马虎对待这一现象，而是毅然放下正在进行的工作，非常认真和耐心地进行了一系列的化学实验，终于从中提炼出了一种黑色粉末。在他的老师贝采里乌斯的指导下，塞弗斯特姆最后从这种黑色粉末中，提炼出了一种银灰色的坚硬金属，并将它定名为“钒”。

在科学研究的过程中，机遇是随时随处都能碰到的，然而，在捕捉机遇方面，人人却并非平等，有的人能像塞弗斯特姆那样不失时机地抓住机遇，但也有人像维勒那样对机遇视而不见、听而不闻，从而使机遇从眼皮底下溜掉。那么，如何才能在捕捉机遇上胜人一筹呢？著名科学家巴斯德有句名言，他说：“机遇只偏爱那种有准备的头脑。”下面我们通过一个例子加以说明。

1928 年的一天，在英国圣玛利学院的一个实验室里，弗莱明正在进行着实验。他研究的是一种叫做葡萄球菌的病菌。葡萄球菌是金黄色的，常常形成一个个的小圆球，就像一串串葡萄聚集在一起，故此得名。

实验桌上放着几十个培养葡萄球菌的培养皿，弗莱明从每个培养皿里取出一点点葡萄球菌，然后把它涂在玻璃片上，染上颜色，再放到显微镜下观察。

实验正在有条不紊地进行着，当弗莱明打开靠桌边的一个培养皿时，发现这只培养皿里的培养基上面出现了稀稀落落的霉点。弗莱明知道，这是由于他经常打开培养基，从而使培养基受到了污染，这是实验中经常碰到的现象。令弗莱明惊讶的是：在每一个霉菌菌落的周围，却出现了一圈空白，本来生长在那儿的葡萄球菌全消失了。弗莱明闪过一个念头，葡萄球菌难道会被这种霉菌杀死吗？

弗莱明早就想寻找一种可以有效杀灭病菌的办法，但是一直没有找到。现在这个意外的发现使他感到，这里面可能隐藏着他正在寻找的东西。他把这种霉菌接种在肉汤里，让霉菌在里面大量繁殖，然后，再把这种液体过滤，得到了一小瓶澄清的滤液。他把这种滤液滴在长满了葡萄球菌的培养皿上。几小时后，弗莱明透过玻璃盖看到，里面那些金黄色的葡萄球菌全部消失了。实验证明这种滤液确实具有杀菌的作用。

以后的实验还证明，这种霉菌溶液还能杀死肺炎菌、链球菌等其他病菌。弗莱明碰到的这种霉菌叫青霉菌，因此，他把从青霉菌中提取出来的能够杀死病菌的物质叫做“青霉素”。

青霉素的使用使医疗手段发生了重大的变革，从而挽救了无数人的生命，但是谁能想到这是由机遇引发的呢？

许多细菌学家早就注意到了霉菌抑制葡萄球菌落的现象，但从没有人把这种现象放在心上。有一位叫斯科特的细菌学家，在见到这种现象时，还不住地抱怨这种霉菌干扰了他的实验。弗莱明与众不同之处，就在于他的头脑始终处于要寻找一种杀菌方法的准备状态，所以，一俟机遇出现，他就能不失时机地抓住机遇，由此开辟了一条人类征服病魔的新途径。

三、原材料的整理和加工——谈逻辑、数学和系统方法

原子和分子是不能用显微镜来观察的，而只能用思维来把握。
一个民族想要站在科学的高峰，就一刻也不能没有理论思维。

—恩格斯

1．始祖鸟存在吗？

科学理论来源于观察和实验，但从观察和实验得到的感性材料并不就是理论。这就跟大厦是由砖瓦等建筑材料组成的，但建筑材料并不就是大厦一样，要把建筑材料变成大厦，还需要人们站在脚手架上去进行造楼活动。与此相似，要从感性材料中总结出科学理论，人们还必须进行逻辑的、数学的和系统的思维活动。

我们将在本章里分别谈谈这些逻辑、数学和系统方法。下面先介绍比较和分类方法。

科学家通过观察和实验取得了大量的。可靠的感性材料，要使它们能成为科学大厦的构件，就必须先对它们进行预处理。这种对感性材料进行初步加工的方法就是比较和分类。

俗话说：“不怕不识货，就怕货比货。”“物以类聚，人以群分。”比较和分类是科学研究中的两种基本的逻辑方法。比较是分类的基础，分类是比较的结果。

比较方法是确定事物之间相同点或相异点的逻辑方法。德国哲学家黑格尔对此曾有这样一段论述：“假如一个人能看出一些显而易见之异，譬如，能区别一支笔与一头骆驼，则我们不会说这个人有了不起的聪明。同样另一方面，一个人能比较两个近似的东西，如橡树与槐树，或寺院与教堂，而知其相似，我们也不能说他有很高的比较能力。我们所要求的是要看出异中之同或同中之异。”

美国杰出的政治家和科学家富兰克林所提出的闪电和摩擦产生的电相同的见解，就是通过对闪电与电火花比较得出的。

自古以来，人们就把天上的闪电视为“圣火”，这样就在闪电和地上事物之间设置了一条不可逾越的鸿沟。然而，富兰克林经过反覆的观察、调查和比较，却发现了它们之间存在着 12 个方面的共同点。这些共同点是：发光、光的颜色、弯曲的方面、快速运动、被金属传导、在水中存在、劈裂它所通过的物体、杀死动物、熔化金属、使易燃物着火、含硫磺气味等。因此，他认为闪电并非有什么神圣的东西，它本质上就是放大了的实验中的电火花。为了验证这一观点，他又进行了风筝实验，从而证明了从天空捕捉下来的闪电与人工摩擦所生的电是一样的，没有什么不同。

与以上不同，下面是一个有关同中求异的例子。

一次，有两个人同时来找华佗看病，他们的症状都是头痛发烧。华伦给他们看完病后，给一个人开了泻药，给另一个人开了发散的药，结果两个人的病都好了。事后，有人问华佗：为什么相同的病，用不同药却能治好呢？华佗答道，这两个人虽然症状相似，都是头痛发烧，看上去是相同的病，但是病因却不同：一个是吃多了东西而生病的，另一个则是受凉感冒了。所以，给他们开的药就不同。这种善于从相似现象中抓住事物不同本质的本领，正是华佗的高超医术之所在。

分类就是通过比较事物的异同，根据一定的标准把具有相同点的事物归成一类的逻辑方法。在科学研究中，分类主要起着整理资料的作用，通过分类就能够使繁乱的材料条理化、系统化，从而为进一步的科学研究提供条件。

例如，我国古代把天穹上零乱的星星分为三垣：太微垣、紫微垣和天市垣；二十八宿：东方苍龙七宿（角、亢、氐、房、心、尾、箕），南方朱雀七宿（井、鬼、柳、星、张、翼、轸），西方白虎七宿（奎、娄、胃、昴、华、觜、参），北方玄武七宿（斗、牛、女、虚、危、室、壁）以及其他星座。

再如，过去在给失血的病人输血时，经常发生血液混合后凝集起来阻塞血管的致命后果。直到 20 世纪初，美籍奥地利病理学家兰德施泰纳通过分类发现了人的血液有四种类型：A 型、B 型、AB 型和 O 型，这样才掌握了给病人输血的规律。

每门学科的分类体系并不是一成不变的，与任何事物一样，分类也有个发展过程。

在科学发展的初期，由于收集的感性材料还比较少，人们往往仅根据事物的外部特征和外在联系进行分类，这时的分类称为现象分类或人为分类。随着科学的发展，人们掌握的材料越来越多，这时就有可能根据事物的本质特征或内部联系进行分类，这种分类称为本质分类或自然分类。本质分类是科学发展到一定阶段的产物，它与现象分类的区别就在于能够揭示出事物发展的必然规律。

在亚里士多德以前，对于动植物分类主要是依据生物的一个或少数几个特征进行的。就拿对动物分类所采用的简单对分原则来说，动物被划分为五成对比的两类，如陆上动物和水居动物、有翅动物和无翅动物等。亚里士多德发现这种简单的分类方法并不能反映出动物的亲缘关系，如按照对比原则，有翅蚁与无翅蚁就应是不同的两类。所以、他认为应该根据生物尽可能多的特征进行分类，并对他所能接触到的大量动物制定了分类表。

1583 年，意大利医生切萨皮诺采取了亚里士多德的分类观点，把植物的根和果实作为植物分类的主要依据。1660 年，英国植物学家雷则以植物的根、茎、叶、花、果为依据，提出了一个植物分类方法，到了 1676 年。格鲁发现了植物的有性繁殖，随后卡默拉留斯就提出了以植物的生殖器官——雄蕊和雌蕊的性质和数目为依据的分类方法。瑞典生物学家林耐继承了前人用

生殖器官当做分类标准的办法，创立了简便易行的“双名法”。他把植物分成纲、目、属、种，在 1753 年出版的《植物种志》中，他对约 6000 种植物进行了分类和命名。他还把动物分成六类，即：四足类、鸟类、两栖类、鱼类、昆虫类和蠕虫类。由于林耐的分类都是根据人为选定的外部特征进行的，因此，这些分类还是属于现象分类。

在达尔文创立生物进化论以后，科学家开始按照生物物种之间的亲缘关系进行分类，进一步确立了各个分类阶层之间的内在联系，从而使生物分类从现象的分类进入到了本质的分类。由于本质分类深刻地反映了生物的自然演化过程，揭示了生物的内在联系，所以，建立在进化论基础之上的自然分类系统就具有很强的预见性。例如，达尔文曾经预言：在爬行类和鸟类之间应存在一种中间类型——始祖鸟。结果在德国发现了始祖鸟的化石。

据考证，始祖鸟生活在距今 1.5 亿年左右的侏罗纪晚期，它兼有鸟类和爬行类的一些特征，如有翅膀、牙齿、长尾椎骨等。始祖鸟的前肢虽然已形成翅膀，但还有三个分开的指骨，指端有爪。由此可见，始祖鸟是从爬行类演变为鸟类的过渡类型。

2．从手推车到车自行

在日常生活和生产劳动中，当我们用手推车的时候，就会感到肌肉紧张，这时，我们就说对车用了力。当我们用手提起水桶的时候，也会感到肌肉紧张，这时，我们就说对水桶用了力。同样，当我们搬动石头、压缩弹簧或拉动绳索……的时候，也会感到肌肉紧张，我们也会说对这些东西用了力。

由此可见，尽管车、水桶、石头、弹簧、绳索等物体的形态、组成、构造、功能等相差很大，并且手作用于物体的方式（推、提、搬、压、拉等）也不一样，甚至作用于物体的人也有性别、年龄、民族、职业、爱好等多方面的差别，但是不同的人的感觉却是相同的，即都感觉到了肌肉的紧张，而这时我们就说对物体用了力。由此可见，人类对力的最初认识是在抛弃了有关物体、作用方式和人的各种各样的特性的情况下，仅从这一相同的感觉中得来的。

不仅如此，人们还发现，不只是人能对物体施加力，一个物体对另一个物体也能施加力。例如，风能吹动树叶，水能冲走木头，拖拉机能拉犁耕地，机车能牵引列车前进……尽管风、水、拖拉机、机车等没有感觉能力，但是它们对物体的作用效果与人对物体的作用效果却是一样的。例如，拿人搬木头和水冲走木头来说，不论是人还是水，作用的结果都使木头的位置发生了变动。

人们由此便建立了这样的认识：力是物体对物体的作用。这一概念就也像前面那样，是来自于对各种特性的舍弃，甚至连肌肉紧张这一感觉也被舍弃了。

自然界中的事物都是相当复杂的，事物的本质总是被各种各样的现象掩盖着。在这些现象中有些是主要的、内部的、直接反映了事物的本质的；有些则是次要的、外部的、与事物的本质并没有深刻的联系。我们要从缤纷的现象中把握事物的本质，就必须保留前者而舍弃后者。从人们对力的本质的认识可以看出，“力”这一概念是在逐步舍去了那些次要的、外部的现象后才得出来的。这种大量的感性材料中，透过现象，抽取出事物本质和规律的研究方法，叫做科学抽象方法。

列宁说过：“物质的抽象、自然规律的抽象、价值的抽象等等，一句话，那一切科学的（正确的、郑重的、不是荒唐的）抽象，都更深刻、更正确、更安全地反映着自然。”（列宁：《哲学笔记》，人民出版社 1974 年版，第 181 页）科学的抽象应当以实践作为自己的前提和基础，必须舍去什么，可以舍去什么，不能舍去什么，都必须由实践来确定。

在自然科学研究中，有些实验在现实中是不可能实现的，但是通过抽象可以造成理想的实验条件和对象，并在大脑中用思维完成“实验”的全过程，这种实验叫做“思维实验”。思维实验是抽象方法的一种表现形式，是被科学家经常采用的一种重要方法。下面是爱因斯坦在《物理学的进化》中谈到的有关伽利略发现惯性定律的一个思维实验。

假如有人推着一辆小车在平路上行走，然后突然停止推那辆小车。小车不会立刻静止，它还会继续运动一段很短的距离。我们问：怎样才能增加这段距离呢？这有许多办法，例如在车轮上涂油，把路修得很平滑等。车轮转动得越容易。路越平滑，车便可以继续运动得越远。但是在车轮上涂油和把路修平有什么作用呢？只有一种作用：外部的影响减少了。即车轮与路之间的那种所谓摩擦力的影响减少了。这已经是对观察得到的现象的一种理论解释，实际上，这个解释还是武断的。再往前检查一下，我们将得到正确的线索。假想路是绝对平滑的，而车轮也毫无摩擦。那么，就没有什么东西阻止小车。

以上实验在现实中是无法实现的。尽管可以把车所受到的各种阻力尽量减小，可是要完全排除它们，是无论如何也做不到的。然而，通过抽象思维的作用，可以在思想中制造出绝对平滑的路面、毫无摩擦力的车轮以及绝对没有空气阻力的环境。在这些理想化的条件下，就会得出小车永远运动下去的结论。

爱因斯坦对伽利略的思维实验做了高度的评价：惯性定律标志着物理学上的第一个大进步，事实上是物理学的真正开端。

3．由此及彼

1678 年，荷兰物理学家惠更斯曾对光和声这两类现象进行了如下的对比：声现象具有直线传播、反射、折射等属性，光现象也具有直线传播、反

射、折射等属性；而声音的本质是由物体的振动所产生的一种波动，因此，惠更斯认为，光也具有波的属性，从而创立了光的波动说。

惠更斯所用的这种方法叫做类比法，它是根据两个或两类对象之间存在着某些相同或相似的属性，从而推出它们其它属性也可能相同或相似的一种逻辑方法。在上面的例子中，惠更斯正是依据光和声有多种相同的属性，推出光也可能和声一样是一种波。在这里，光和声的某些属性是已知的，声的本质也是已被认识了的，但是光的本质却是未知的，通过对这两种现象的类比，就可以实现从已知到未知的过渡。

在科学研究中，类比方法是经常被采用的一种重要方法。这正像德国哲学家康德所说的那样："每当理智缺乏可靠论证的思路时，类比这个方法往往能指引我们前进。"

法国物理学家库仑在研究带电体之间的相互作用时，曾把两个带电体之间的相互作用与牛顿的万有引力定律相类比，提出了两个带电体之间的作用力与电量之积成正比、与它们之间的距离平方成反比的库仑定律，这与两个物体之间的万有引力与这两个物体质量之积成正比、与它们之间距离的平方成反比，即万有引力定律具有同样的形式。库仑定律的发现对电磁学的发展起了重要的推动作用。

英国物理学家卢瑟福和他的学生通过进行α粒子的散射实验，发现在原子的中心部分有一个体积很小、质量很大的核，而核外电子的质量却很小。卢瑟福发现原子内部的这些情况和太阳系的结构很相似。因为，在太阳系中，太阳仅占整个太阳系空间的极小部分。但却占有太阳系的绝大部分质量。此外，原子核与电子之间的库仑力又与太阳与行星之间的万有引力具有相同的形式。基于这些相似点，卢瑟福认为原子可能具有与太阳系相同的结构。于是，他提出了原子结构的行星模型，即原子是由原子核与围绕其运转的电子构成的，从而使人类在认识微观世界的道路上迈出了一大步。

尽管类比在科学发展史上发挥了重要的作用，但是，我们应当注意由类比得出的结论不一定都很可靠。黑格尔就曾说过："类比可能很肤浅，也可能很深刻。"他举了这样一个例子来说明类比的不可靠性。地球是一个星球，并且有人居住；月球也是一个星球，所以月球上很可能也有人居住。这就是一个错误的类比。因为地球上之所以有人居住，并不基于它是一个星球，而是建立在别的条件上，如空气、水等等，而这些条件是月球上所没有的。

有这样一个传说，一个卖油郎的妻子，在丈夫每次出去卖油时，总是舀出一勺藏起来。到了年底，卖油郎正为没钱过年而叹气时，妻子端出了积攒下的一坛油叫丈夫去卖。一个卖皇历的人知道了这件事，就在自己妻子的面前夸卖油郎的妻子，他的妻子就照着做了。到了年底，卖皇历的人为还债发愁时，他的妻子捧出了一大堆老皇历让丈夫去卖。卖皇历的人面对这一大堆过时的皇历，苦不堪言。

下面是科学史上一个很有代表性的错误类比的例子。

19 世纪中叶，法国天文学家勒维耶根据天王星轨道的不正常现象，曾成功地预言了海王星的存在。后来，他在对水星研究中发现了水星运动的不正常性。他在考虑了所有已知天体的影响后，仍然解释不了水星运动轨道的理论值与观测值之间的偏差。于是，勒维耶把水星轨道的不正常现象与天王星轨道的不正常现象进行类比，推测在水星靠近太阳的那一边还有一颗未知行星，理论值与观测值的偏差，就是由于这颗未知行星的影响造成的。勒维耶还根据牛顿力学计算出了这颗行星的轨道。可是，世界各地的天文学家努力搜索了几十年，也没有找到这颗行星。直到爱因斯坦的广义相对论问世后，人们才搞清楚，水星的不正常运动现象是一种广义相对论效应。

由以上可以看出，类比法是一种很有用的方法，同时又有一定的局限性。因此，由类比方法得出的结论，必须用实践去检验。

4．剥花生的学问

传说有位师傅，想考一下自己的两个徒弟。有一天，他给了两个徒弟每人一箩花生，让他们剥开看看，花生仁是不是都有粉衣包着。

大徒弟不加思索，急忙走到箩筐前，抓起花生，一个一个地剥了起来。小徒弟则不然，他想了一会儿，找到了解决这个问题的一个好办法。他先挑选了几个饱满的和不饱满的花生，又挑选了几个单仁的、双仁的和仨仁的花生，再挑选几个大的和小的花生，合在一起也就是十几个花生。不一会儿，他就把这些花生剥完了。他发现这几种不同类型的花生都有粉衣包着，于是，他认为这一箩花生的仁都有粉衣包着。

大徒弟忙了一天，才把一箩花生剥完，结果发现这一箩花生的仁都有粉衣包着。尽管徒弟二人都得出了相同的结论，可是，从两人解决问题的方法上，师傅不难看出到底哪一位徒弟更聪明。

在这个传说中，徒弟二人都用了一种叫做归纳的逻辑方法。所谓归纳法，就是从个别事实中，概括出一般原理的推理方法。归纳法按照它所概括的对象是否完全又分为完全归纳法和不完全归纳法。大徒弟之所以不如师弟解决问题快，就在于大徒弟采用的是完全归纳法，而小徒弟采用的是不完全归纳法。

完全归纳法是根据某类事物的全体对象作出概括的一种推理方法。穷举法就是一种完全归纳法。尽管完全归纳法的结论真实可靠，但是，对于不胜枚举的一类事物，使用完全归纳法就会遇到困难。这就如同大徒弟那样，剥了一天，才终于得出了结论。

下面这则笑话也说明某些情况下，用完全归纳法是不可取的。从前有个绅士想吃苹果，就打发佣人去买，并吩咐说：“我要吃甜的，不甜的不要。”佣人来到集市上，走到苹果摊前，拿起一个苹果，咬了一口，尝尝是甜的。就放到秤盘上，又拿起一个，咬一口尝尝，再拿一个咬一口尝尝……卖苹果

的人说：“我这苹果个个是甜的。”可是，佣人还是拿一个咬一口，只有这样，他才感到放心。当他提着一篮子苹果回到绅士家后，绅士见了顿时打消了吃苹果的念头。

当然，在某类事物有限的情况下，使用完全归纳法能得到准确可靠的结论。

德国著名数学家高斯 10 岁的时候，有一次，数学老师布特纳在黑板上写下了这样一道题：1＋2＋3＋4＋……＋100＝？老师刚解释完，高斯就把石板交了上去。布特纳心想这个全班最小的学生准是瞎写了一通或者交了白卷，所以连看也没看。快到下班的时候，其它学生才一个个把石板交上。布特纳看完了所有的石板，结果发现只有高斯的答案是正确的。他大吃一惊，感觉到这是一个不平常的学生，就买了一本最好的算术书送给高斯，并对别人说：“高斯已经超过了我，我已经没有什么可以教他了。”

在计算这 100 个数之和时，高斯就巧妙地运用了穷举法。高斯发现 1＋11=101，2＋99=101，3＋98=101……50＋51＝101，所以，50 个 101 即 50×101＝5050。

不完全归纳法是根据某类事物的部分对象具有某种属性而推出该类事物具有这种属性的一种推理方法。简单枚举法就是一种不完全归纳法。

例如，根据铁能导电，铜能导电，银能导电，金能导电的属性，推出“金属能导电”的结论。这种推理方法就是不完全归纳法。

著名的哥德巴赫猜想就是用不完全归纳法提出来的。哥德巴赫常和著名数学家欧拉通信讨论问题。1742 年，哥德巴赫根据对一些奇数，例如，7＝2＋2＋3， 15＝3＋5＋7，23＝3＋7＋13，77＝7＋17＋53 等的分析，发现他所列举的许多奇数都是三个质数之和。于是，他就提出了一个猜想：所有大于 5 的奇数都可分解为 3 个质数之和。哥德巴赫自己证明不了这个猜想，就把它写信告诉了欧拉。欧拉进行了一番努力后，也没有能够证明它，但他认为这个猜想是正确的。他还从这个猜想推出了另一个猜想，即：每一个大于 2 的偶数都可以分解为 2 个质数之和。这两个命题后来就合称为哥德巴赫猜想。这个猜想直到今天也没有得到彻底解决，我国数学家华罗庚、王元、潘承洞、陈景润等人在解决这个问题的过程中取得了举世瞩目的成果。

当然，不完全归纳法也有其局限性。运用不完全归纳法有时会得出以偏概全的错误结论。例如，人们根据多次经验到的事实，认为：“天下乌鸦一般黑”，“天下天鹅一般白”，“鸟都会飞”，“血都是红色的”等等。可是，后来却发现了白乌鸦、黑天鹅、不会飞的鸵鸟。白血动物等等。列宁曾说：“以最简单的归纳法所得到的最简单的真理，总是不完全的，因为经验总是未完成的。”（《列宁全集》第 38 卷，第 191 页）

在科学研究中还经常使用一种与归纳法相反的推理方法，这就是演绎法。所谓演绎法就是从一般原理推出个别结论的逻辑方法。演绎法的主要形式是三段论。例如：“凡人皆有死，张三是人，所以张三亦有死。”在这个

三段论中，“凡人皆有死，张三是人”是推理的前提，“张三亦有死”是推理的结论。再如：“一切物质是可分的，基本粒子是物质，故基本粒子是可分的。”

演绎法在理论体系的建立中起着十分重要的作用。例如，欧几里得几何学就是一个演绎推理系统。直到今天，我们所学的平面几何的基本内容仍然是从欧几里得那里传下来的。

本世纪 20 年代，人们发现在β衰变过程中有能量亏损现象，也就是衰变放射出的电子带走的能量小于原子损失的能量。为了解释这一现象，物理学家泡利根据能量守恒原理进行了推理，于 1931 年预言在β衰变中有一种还未被发现的微小中性粒子带走了这部分亏损的能量。意大利物理学家费米把它命名为“中微子”。20 多年以后，人们终于在原子反应堆中找到了中微子。

尽管这个例子说明了泡利是通过演绎法来预言中微子的，但是，追根溯源，如果没有从大量事实中归纳概括出能量守恒定律，怎么会有泡利的预言呢！这正如恩格斯所说：“归纳和演绎，正如分析和综合一样，是必然相互联系着的。不应当牺牲一个而把另一个捧到天上去，应当把每一个都用到该用的地方，而要做到这一点，就只有注意它们的相互联系，它们的相互补充。”（恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版，第 206 页）

5．树木和森林

面对缤纷复杂的生物界，人们是如何去探索生命本质的呢？

大自然中的各种生物之间都有着一定的关系，它们形成了一个统一的整体。我们要认识这个统一体，就必须首先对组成这个统一体的每一个体有所了解。如果我们只是遥望森林，而不是去接触森林中的树木，那么，我们所看到的就会仅是一片模糊的绿色。

同样，在对生命个体的认识过程中，人们也是先把动植物体分解为组成它的各种器官，然后分别加以研究。例如，对一株高等植物来说，就是先研究它的根、茎、叶、花、果等器官。在对器官的研究中，也需要对它继续分解下去，例如，可将花进一步分解为花萼、花瓣、雌蕊、雄蕊等。

光学显微镜发明以后，生物学家又对动植物的微观结构进行了研究。他们首先制作动植物的切片，也就是从动植物体上取下极小的一部分，然后放在显微镜下进行观察。人们由此发现了构成生物体的各种各样的细胞。然而，细胞也是一个整体，为了认识细胞，人们又对细胞进行了分解，对构成细胞的细胞核、细胞质、细胞膜等分别进行了研究。随后，它们又被进一步分解为生物大分子，如蛋白质、核酸等……就这样，经过层层分解和研究，人类一步步地掌握了生命的奥秘。这正像宋代哲学家朱熹所说的那样：“去尽皮，方见肉；去尽肉，方见骨；去尽骨，方见髓。”

这种像剥葱一样的认识方法就是分析法。所谓分析法就是把整体分解为

各个组成部分，把复杂的事物分解为简单要素，分别加以研究的一种思维方法。这也就是我们通常所说的“解剖麻雀”的方法。

运用分析方法，就必须把部分从总体中割裂出来，抽取出来，进行孤立地考察和研究。分析法能帮助我们深入了解事物的细节及其内在联系。正如恩格斯所说：“真正的自然科学只是从 15 世纪下半叶才开始，从这时起它就获得了日益迅速的进展。把自然界分解为各个部分，把自然界的各种过程和事物分成一定的门类，对有机体的内部按其多种多样的解剖形态进行研究，这是最近 400 年来在认识自然界方面获得巨大进展的基本条件。”

但是，我们的思维却不能仅仅停留在分析上，因为它容易使人“只见树木，不见森林”。亚里士多德说过：“脱离了身体的手，只是名义上的手。”黑格尔也曾说过：如果把肉加以分析，会发现肉是由碳氧等元素构成的，可是这些抽象的元素已不是肉了。我们要想深入认识事物的本质，就必须在分析的基础上继之以综合。

所谓综合就是把对象的各个部分、方面和因素结合起来加以考察的一种思维方法，综合是建立科学体系的一种重要方法。例如在物理学发展史上，就有过多次综合。

牛顿通过对开普勒、伽利略等人科学成果的综合，建立了运动三定律和万有引力定律，从而将地球上物体的运动和天体的运动概括在一个统一的理论体系中，实现了物理学的第一次大综合。通过综合，科学家们提出了能量守恒和转化定律，从而将机械运动、热运动、电磁运动、化学运动等统一起来，实现了物理学的第二次大综合一在法拉第等人所发现的电磁现象和一系列定律的基础上，麦克斯韦提出了“组方程，从而揭示了电、磁和光的统一性，实现了物理学的第三次大综合。爱因斯坦相对论的创立，则从根本上把时间、空间、物质和运动统一起来，实现了物理学的第四次大综合。由一大批科学家建立的量子力学则揭示了微观世界的基本规律。实现了物理学的第五次大综合。现在，人们已经认识了自然界中的四种力，即万有引力、电磁力、弱相互作用力和强相互作用力，如何将它们综合起来；从而建立大统一理论，是科学家正在攻克的一个重大问题。

分析和综合是相互依存、相辅相成的。如果只见“树木”，只讲分析，认识就失之于片面；如果只见“森林”，只讲综合，认识就会流于空洞。正如恩格斯所说：“思维既把相互联系的要素联合为一个统一体，同样也把意识的对象分解为它们的要素。没有分析就没有综合。”（恩格斯：《反杜林论》人民出版社 1970 年版第 39 页）

6．相隔 18 个世纪的对话

古希腊伟大的科学家阿基米德，才智高超，兴趣广泛，具有非凡的机械技巧。他曾用数学解决了许多生产生活中的难题。

他在研究了简单机械——杠杆后，得出了以数量关系表示的杠杆原理。据此，他曾经豪迈地说：“只要在宇宙中给我一个支点，我就能把地球撬起来。”

据说阿基米德曾被金王冠是否掺银这一问题纠缠了很长时间，百思不得其解。在一次洗澡的时候，他却突然受到启发，很容易地解决了这个问题。他认识到，对于同等重量的金块和银块，由于金的比重比银的大。所以金块的体积就比银块小，金块排开的水的体积就比银块排开的水的体积小。于是，他拿了与王冠等重的纯金块和纯银块，分别放进盛满水的容器里，结果发现，王冠排出的水比纯金块排出的水多、比纯银块排出的水少。就这样，阿基米德巧妙地解决了王冠掺银的问题。阿基米德由此还发现了著名的浮力定律。

过了 1800 年，到了 1581 年，有一天，年仅 17 的伽利略在翻看阿基米德的《论浮力》一书时，对王冠掺假问题的结局发生了怀疑。

他认为像阿基米德这样追求数学精确性的伟大科学家，不可能在仅仅得出了王冠掺假的结论后，就把这一问题束之高阁了。他肯定会想法找出王冠里到底掺了多少银。如果只是依据浮力原理，就必须十分精确地测量王冠和金块所排出水的体积，可这在当时是极为困难的事。那么，阿基米德采用什么办法才能算出王冠中的掺银量呢？于是，他找来阿基米德的各种著作，认真地阅读起来，并且还不断地跟阿基米德进行“对话”。对自己的疑问，伽利略希望能从阿基米德的字里行间找到解答的线索；对阿基米德书中的有关论述，伽利略还不时地进行发问；对阿基米德的许多疑问，伽利略也努力做出解答，经过一番“对话”后，伽利略终于得到了一个“回答”。阿基米德很可能是一起利用了他自己发现的浮力原理和杠杆原理，才测出含银量的。

为此，伽利略设计了一个小秤，并用它测出了含银量。小秤很像普通的天平，只是在放砝码盘的那个臂上，多了一个小刻度尺。砝码盘可以在刻度尺上移动，并从中读出数来。下面让我们看一下伽利略是如何使用这个小秤的。

他首先在 B 端挂上一块纯金，然后把砝码放入 A 端的砝码盘里，使它与 B 端的金块平衡。接着把金块完全浸入水中，由于金块受到了水的浮力的作用，使 B 端受力变小。为了达到新的平衡，就必须把砝码盘向右移动，并记下新平衡点的位置 X。假定金块的体积为 V_G，金的比重为 d_G，金的重量为 W_G，砝码的重量为 W，浮力为 F，那么，根据杠杆原理和浮力原理，可得出下面一组方程：

$$\begin{cases} W \cdot OA = W_G \cdot OB = d_G \cdot V_G \cdot OB \\ W \cdot OX = (W_G - F) \cdot OB = (d_G - 1) \cdot V_G \cdot OB \end{cases}$$

解此方程组得：$OX = (1 - \frac{1}{d_G}) \cdot OA$。

如果把纯金块换成纯银块，重复前面的实验，可以求出对于银块的一个平在点 Y。因为银比金轻，所以 Y 点比 X 点更靠近支点 O。设银的比重为 d_S，

可以求出：

$$OY=\left(1-\frac{1}{d_s}\right)\cdot OA$$

若对王冠也做同样的实验，可以确定出一个介于 X 与 Y 之间的平衡点 Z，设王冠的比重为 d_k，则：

$$OZ=\left(1-\frac{1}{d_k}\right)\cdot OA$$

只要算出 ZY 与 XZ 的比值，就能得到王冠中金与银含量的比。再根据王冠的重量，可以得出王冠中的掺银量。

这是为什么呢？

假定王冠重量为 W_k，其中的含金量和含银量分别为 W_1 和 W_2，则有：

$$\begin{cases} W_1+W_2=W_k \\ \dfrac{W_1}{d_G}+\dfrac{W_2}{d_s}=\dfrac{W_k}{d_k} \end{cases}$$

解这一方程组，得出W_1和W_2，进一步得到：

$$W_1:W_2=\left(\frac{1}{d_k}-\frac{1}{d_s}\right):\left(\frac{1}{d_G}:\frac{1}{d_k}\right)$$

而根据 OX、OY 和 OZ 的等式，也能得出：

$$ZY:XZ=\left(\frac{1}{d_k}-\frac{1}{d_s}\right):\left(\frac{1}{d_G}-\frac{1}{d_k}\right)$$

即：$W_1:W_2=ZY:XZ$

因此，用刻度尺上的读数和王冠的重量，就能很容易地计算出王冠中的含银量。

伽利略用他那纯熟的数学知识和精湛的实验技巧，成功地解决了阿基米德遗留下来的这一历史悬案。至于阿基米德当初是否这样做过，现在就不得而知了。

对伽利略来说，大自然犹如一本大书，它是用数学语言写成的。如果我们不掌握数学，就会连大自然中的一个字也不认识。正是在数学的帮助下，伽利略才把人们从大自然的黑暗迷宫引向了近代科学的黎明。

我们知道，客观事物都具有质的规定性和量的规定性，而一定的质又要通过一定的量表现出来。由于数学是研究量和形的规律的科学，所以，利用数学知识就能够表达和概括客观世界的规律。与自然语言不同，数学语言是通过符号、方程式、不等式、图形、图表等去刻画大自然的。这种运用数学知识来解决科学问题的方法就是数学方法。

马克思对数学曾做过认真地研究，他说过：一种科学只有当它成功地运用数学时，才算真正达到了完善的地步。今天，数学在许多科学部门中都已经得到了成功地应用。

7．笔尖上发现的谷神星

1766 年，德国有一位名叫提丢斯的中学数学教师，把下面的数列：

3，6，12，24，48，96，192……的前面加上 0，即：

0，3，6，12，24，48，96，192……然后再把每个数字都加上 4，就得到了下面的数列：

4，7，10，16，28，52，100，196……再把每个数都除以 10，最后得到：

0.4，0.7，1，1.6，2.8，5.2，10，19.6……

令提丢斯惊奇的是，他发现这个数列的每一项与当时已知的六大行星（即水星、金星、地球、火星、木星、土星）到太阳的距离比例（地球到太阳的距离定为 1 个单位）有着一定的联系。

提丢斯的朋友，天文学家波得深知这一发现的重要意义，就于 1772 年公布了提丢斯的这一发现，这串数从此引起了科学家的极大重视；并被称为提丢斯——波得定则，即：

H 0.4，0.7，1，1.6，2.8，5.2，10，19.6……

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

水 金 地 火 木 土 无

星 星 球 星 ? 星 星

当时，人们还没有发现天王星、海王星和冥王星，以为土星就是距太阳最远的行星。

1781 年，英籍德国人赫歇尔在接近 19.6 的位置上（即数列中的第八项）发现了天王星，从此，人们就对这一定则深信不疑了。根据这一定则，在数列的第五项即 2.8 的位置上也应该对应一颗行星，只是现在还没有被发现。于是，许多天文学家和天文爱好者便以极大的热情，踏上了寻找这颗新行星的征程。

1801 年新年的晚上，意大利天文学家皮亚齐还在聚精会神地观察着星空。突然，他从望远镜里发现了一颗非常小的星星，正好在提丢斯——波得定则中 2.8 的位置上。可是，当皮亚齐再想进一步观察这颗小行星时，他却病倒了。等到他恢复健康，再想寻找这颗小行星时，它却不知去向了。皮亚齐没有放弃这一偶然的机会，他认为这可能就是人们一直没有发现的那颗行星，并把它命名为“谷神星”。

天文学家对皮亚齐的这一发现持有不同的看法。有人认为皮亚齐是正确的；也有人认为这可能是一颗慧星，不然的话，为什么它只露了一面就不见了呢？

几个月过去了，人们的争论也没见分晓。可是，这场争论却引起了德国数学家高斯的注意。高斯想，既然天文学家通过观察找不到谷神星，那么，是否可以通过数学方法找到它呢？许多天文学家对高斯的这一提法不以为然。天文学家都找不到谷神星，难道高斯还能把它算出来吗？朋友们也劝他不要把自己的时间和才智浪费在这一毫无希望的问题上。

年轻的高斯却有自己的看法。他认为，天文学是离不开数学的。如果没有雄厚的数学知识，是不可能成为一个出色的天文学家的。在天文学发展史上，情况也正是如此。开普勒正是凭借着自己的数学才能，才发现了行星运动的三大定律。牛顿也是凭着渊博的数学知识，才发现了万有引力定律。

在高斯之前，著名数学家欧拉曾经研究出了一种计算行星轨道的方法。可是，这个方法太麻烦。高斯决心去寻找一种简便易行的方法。在前人的基础上，高斯经过艰苦的运算，以其卓越的数学才能创立了一种崭新的行星轨道计算理论。他根据皮亚齐的观测资料，利用这种方法，只用了一个小时就算出了谷神星的轨道形状，并指出它将于何时出现在哪一片天空里。

1801 年 12 月 31 日夜，德国天文爱好者奥伯斯，在高斯预言的时间里，用望远镜对准了这片天空。果然不出所料，谷神星出现了！

高斯的计算方法成功了。高斯从笔尖上寻找到的这颗行星，在隐藏了整整一年后，却又成为人类的最好的新年礼物。这一礼物向人们显示了数学在科学研究中的巨大作用。

8．死里逃生和千载难逢

在日常生活中，我们经常碰到两类不同的现象。一类现象如：下雨时，天空中一定有漂浮的云；在正常情况下，水加热到 100℃就会沸腾；金鱼离开水会死亡等等。另一类现象如：在每天上学的路上，你碰到的第七个人是谁，他正在干什么？每次考试你做错的（若无则记为第○题）是第几题？你所学过的每篇课文的标题的总笔画数是多少？等等。

对于前一类现象来说，只要条件存在，它就必然会发生，因此，把这类现象叫做确定性现象。对于后一类现象来说，它的发生带有偶然性，一因此把这类现象叫做不确定性现象或随机现象。通过下面这个有趣的故事，你或许会加深对这两类现象的理解。

传说有位国王，制定了一条不成文的法规，这一法规约定，凡是犯了死罪的人，在临刑前都要抽一次“生死签”。也就是在两个纸签上分别写上“生”和“死”的字样，让犯人当众抽签。如果抽到“死”字签，即立即处死；如果抽到“生”字签，则被认为是上天的旨意，应当赦免死罪，让他活下去。

有一次，一位大臣因不满国王的残暴统治而冒犯了国王。国王决定处死这位敢于“犯上作乱”的臣子。他想，如果让这位大臣抽“生死签”，他既可能抽到死签，又可能抽到生签，大臣是死是活是不确定的。万一他抽到生签，不就死不了吗？为了不让这位大臣获得半点赦免的机会，国王与几名心腹挖空心思地想出了一条狠毒的计策：在“生死签”的两张纸上都写上“死”字。这样，不管犯人怎么抽，都将抽到死签，这是确定不变的。

不料，国王的密谋被一位好心的侍者听到了。他十分同情这位大臣的不幸遭遇，就找了一个机会来到监狱，将国王的阴谋告诉了这位大臣，并好言

安慰了他一番。

这位大臣知道了国王的诡计后，非常气愤。可是他转念一想，却计上心头，找到了一个死里逃生的办法。

临刑这一天，国王当众宣布了抽签的办法后，就命令大臣上前抽签。只见他不慌不忙地走到签盒前，猛然伸手，抓起纸签，迅速地塞进嘴里。等到众人反应过来，纸签早已被大臣嚼烂并吞了下去。国王急忙追问：“你抽到的是死签还是生签？”大臣说：“我听从天意的安排，是死是活，这只要查看剩下的是什么签就清楚了。”剩下的自然是死签，这就意味着大臣抽到的是生签。国王有苦难言，只好当众放了大臣。

这位大臣抽到生签或死签是一个随机事件，既有生的希望，又有死的可能。但由于国王把这种生死未卜的随机事件，变成了“必死无疑”的确定性事件，结果是搬起石头砸了自己的脚，使这位大臣因此而演了一出“死里逃生”的活剧。

从确定性的现象中，可以得出必然性的规律。对于随机现象，是不是就无规律可循了呢？从表面上看，单一的随机现象是偶然的，可是随着随机现象次数的增多，就会在随机的大量现象中表现出某种必然趋势。

就拿投掷硬币来说吧！将一枚硬币投掷在地上，出现正面或反面是没有规律的。例如，可以出现这样的随机序列：

正、反、正、反、反、正、正、正、反……我们无法预见下一次究竟是正还是反。然而，当投掷 100 次、1000 次、10000 次……的时候，出现正、反面的次数就会呈现出一定的规律性，它们都接近总次数的一半左右。我们把出现某种事件（如正面或反面）的次数占总次数的比值称为事件的频率。对于掷币来说，出现正面或反面的频率都接近 0.5。

历史上有许多科学家做过投掷硬币的实验，例如，皮尔逊就曾投掷了 24000 次，结果发现投掷的次数越多，频率就越接近于 0.5。对于某一随机事件，当观测的次数逐渐增加时，如果其频率逐渐停留在一个稳定的数值上，那么，这个稳定值就叫做随机事件的概率。在掷币实验中，出现正反面的概率都是 0.5。这种研究随机的大量现象的规律的学科就叫概率论和数理统计。这一重要的数学方法在现代科学的所有部门中都已得到了广泛地应用。

法国著名科学家拉普拉斯曾在 1814 年，根据伦敦、彼得堡、柏林和法国的统计资料，得出男孩出生数与女孩出生数的比值为 22∶21，即在全体出生婴儿中。男孩出生的频率为 0.512，女孩出生的频率为 0.488。据有关资料统计，1943 年在美国出生的男孩、女孩数分别是 1，506，959 和 1，427，901，由此得到男孩和女孩出生的频率分别为 0.5135 和 0.4865。我国几次人口普查的统计资料也表明，男孩和女孩出生数的比值是 22∶21。

由此可见，对于生男生女这一随机事件，却包含着必然的规定，即男孩出生率和女孩出生率是稳定不变的。至于男女孩比值为什么不是 1∶1，已不是一个数学问题，而是一个生物学问题了。

在美国的弗吉尼亚州，有一对夫妇从 1952 年开始接连生了五个孩子，这倒不是什么稀奇的事情。令人惊奇的是，这五个孩子虽然年龄各不相同，但生日却全然一样，都在 2 月 20 日出生。这是多么难得的世界奇迹呀！当地的群众对此家喻户晓，一时传为佳话。

像这样极为巧合的事件在人类历史上出现的概率究竟有多大呢？

由于最大孩子的生日选择不受约束，所以在 2 月 20 日出生的概率为 1。但是，第二个孩子的生日要与第一个孩子的生日相同，就只能在 365 天中的

也就是说，这种现象出现的概率只有 177 亿分之一。这真是千载难逢的机会呀！

9．1＋1＋1＝？

著名生物学家达尔文曾经发现过一种非常有趣的生物关系。

有些三叶草的花粉传递必须要靠土蜂才能完成，因为其它蜂类都不能接触到三叶草的蜜腺。这样土蜂数量的多少就可以决定三叶草数量的多少。然而，土蜂数量又大都取决于野鼠的多少，因为野鼠毁灭它们的蜂窝。至于鼠的数量，又决定于猫的数量。因此，一个地方的猫类动物，首先通过鼠，再通过蜂的居间作用就可以决定那个地区三叶草的多少！

在自然界中，表面上看来毫不相干的生物之间，却存在着一种食与被食的关系。在达尔文所发现的这个事例中，就是猫吃鼠，鼠吃土蜂，土蜂吃三叶草（的花蜜），由此形成了一个食物链系统。

我国有句谚语，叫做大鱼吃小鱼，小鱼吃虾，虾吃泥巴。这也是对食物链系统的一种朴素表达。在这里我们遇到了一个新的概念——系统。所谓系统就是由相互依赖和相互作用的若干部分所组成的，具有一定结构和功能的有机整体。

原子是一个系统，人体是一个系统，太阳系是一个系统……系统是客观事物的普遍存在方式。作为一个系统，它具有一些比较特殊的性质。

我们知道 1＋1＋1＝3，可是，系统整体却并不等于它的组成部分的总和。俗话说：三个臭皮匠，顶个诸葛亮。这就是说即便三个智力平庸的皮匠，只要同心协力，密切配合，也能组成一个像诸葛亮那样才智高超的整体。这就如同亚里士多德所说的那样：整体大于部分之和。在这里便是“1＋1＋1＞3”。

在“三个和尚”的典故中，却有着另一种截然不同的情景。一个和尚挑水喝，二个和尚抬水喝，三个和尚没水喝。由于他们相互抱怨，不愿协作，结果三个人的工作量还不如一个人的多，最后竟连水也喝不上了。在这里就出现了“1＋1＋1＜3”的现象。

一般来说，系统的功能是由其结构决定的。如果系统间的结构不同，即

使组成系统的部分是相同的，系统间也会表现出不同的功能。著名的“田忌赛马”就说明了这一点。

据《史记》记载，战国时代，齐王每年必与齐国大将军田忌赛马。他们将马分为上、中、下三等，每人各从同等马中选出一匹共赛三轮，即：上马对上马，中马对中马，下马对下马。每轮败者输千金。由于齐王的每一等级的马都比田忌的马强，所以田忌每年必输给齐王三千。

著名军事家孙膑在看了他们的比赛之后发现，齐王的马比田忌的马跑得快不了多少，就给田忌出了一个对策。比赛时，孙膑先让田忌的下等马对齐王的上等马，一再以上等马对齐王的中等马，最后以中等马对齐王的下等马，结果一负二胜。田忌转败为胜，赢了齐威王的上千赌金。

从田忌赛马这一脍炙人口的故事中，我们可以看到，在没有更换马匹的情况下，孙膑只是改变了比赛马阵的系统结构，就让田忌赢了齐王。

如果把研究对象和工程项目作为一个系统，从系统的观点出发，去认识它、改造它，这种方法就叫做系统方法。系统方法也如同它的基础——系统思想一样，早在古代就产生了。经过 2000 多年的充实和发展以后，系统方法已成为现代科学技术的重要方法之一。在科学研究、宇宙开发、土地开发、海洋开发、交通运输、气象观测、环境保护、经营管理等领域发挥着越来越重要的作用。

下面，我们仅以我国古代的两个著名工程为例，谈一谈系统方法的作用。

战国时代，岷江水经常泛滥成灾，流域各县深受其害。为了根治岷江洪灾，秦国蜀郡守李冰父子主持建造了举世闻名的四川都江堰水利工程。

这项工程由三大主体工程和 120 个附属渠堰工程所组成。这三大主体工程包括“鱼嘴”分水工程，“飞沙堰”分洪排沙工程和“宝瓶口”引水工程。“鱼嘴”设在岷江江心，从而使岷江分为内江和外江。内江引岷江部分水流用以灌溉农田，外江为岷江正流，用于排泄洪水。“飞沙堰”在汛期时可让内江过多的洪水漫过而进入外江，以确保内江灌溉区的安全。洪水过后它又可以拦水入内江，以保证灌溉用水。“飞沙堰”同其它设施相互配合，还能使内江大量泥沙排入外江。在靠灌县城西南处设有“宝瓶口”，它可引内江水流入成都平原，从而建立起一系列灌排两用的河渠系统。

这三大主体工程巧妙配合，并同 120 个附属渠堰联成一片，从而形成了一个水利工程系统。它们相辅相成、缺一不可，共同分导了汹涌澎湃的岷江急流，并使它变害为利，灌溉了成都平原 14 个县五百余万亩农田。于是，“蜀沃野千里，号为陆海，旱则引水浸润，雨则杜塞水门。”从此，成都平原“水旱从人，不知饥馑，时无荒年，天下谓之天府也。”

都江堰水利工程的规划，设计和施工都突出体现了系统观点，运用了系统方法。

宋真宗时，一场大火把宫殿全部烧光。真宗决定在原址重建宫殿，就任命晋国公丁谓为修葺使，主持建造新宫殿。

当时面临的问题很多，主要包括三个方面，即从哪里取土、如何运来施工用料、如何处理废物等。面对这些难题，丁谓运用系统方法，想出了一个“一举三得”的好办法。他首先让民工把宫里的大道凿开，从中取土施工，这样就不必舍近求远了。大道挖成沟后，丁谓又命将附近的汴水引入大沟，于是，船就可以把各种建筑材料运进工地。当宫殿建成后，排除沟水，再把施工废物和焚宫废墟填入沟中，整修成原来的街道。这一“三全其美”的施工方案，不仅大大地缩短了工期，并且还节省经费数以万计。

我国宋代科学家沈括对这项工程极为赞赏，并将它录进了自己的名著《梦溪笔谈》之中，一直流传至今。

四、科学大厦的预制品——谈科学假说

假说能使科学工作即寻求真理的工作变得容易并使它正确。

——门捷列夫

1．由饲养员的脚步声引出的

前面我们曾经提到巴甫洛夫为了了解胃的消化功能，通过手术在狗的胃部安装了一根收集胃液的玻璃瘘管。后来，他又把狗的胃隔成大小两室，创造了一种更加合理的实验方法。这样一来，大胃消化时的胃腺分泌活动，就可以从小胃流出的纯胃液得到反映。通过这一系列实验，巴甫洛夫和他的同事获得了有关胃消化方面的许多重大成果。

有一天，巴甫洛夫的一位助手在做实验的时候，忽然发现在没有喂狗的情况下，胃液的分泌量却增加了。本来，只有当狗进食时，才有胃液分泌出来，停止喂食，胃液也就不会再流出来了。这是众所周知的现象。可是，现在情况有了变化，这位助手对此感到迷惑不解，急忙找来了巴甫洛夫。

这一现象也引起了巴甫洛夫的注意，但是导致胃液异常分泌的原因是什么？他一时也无法回答。巴甫洛夫一连几天都守在狗的旁边，密切注视着胃液的分泌情况。结果他发现 91
了一个奇怪的现象。只要当饲养员的脚步声从门外传来时，狗就兴奋起来，虽然狗还没有看见饲养员，更没有吃到饲养员喂给它的食物，但是狗的胃液分泌活动却加强了。

胃液异常分泌的原因竟然是饲养员的脚步声！对于这一不可思议的现象，巴甫洛夫认为其中必定隐藏着还未被发现的奥秘。经过一番深入的思考，巴甫洛夫对此作了解释。

他认为狗已经习惯于随着饲养员的脚步声而来的便是得到吃的东西，狗的大脑就逐渐会把饲养员的脚步声与随之而来的食物联系起来，这样，饲养员的脚步声就成了吃食的预兆，所以，当它听到饲养员的脚步声时，大脑便发布命令，从而引起胃液的分泌。巴甫洛夫把动物的这种随着各种条件而产生的反应，称为条件反射。

为了证实这一假说，巴甫洛夫还进行了打铃送食的实验。他发现在打铃后，紧接着就给狗吃东西，几十次后狗就习惯了。只要狗一听到铃声就开始分泌胃液。后来，许多科学家进行了这方面的研究，结果都证明了条件反射这一假说的正确性。这时，这一假说就上升为理论，称之为条件反射学说。这一学说对 20 世纪的生理学、心理学和哲学都产生了重大的影响。

巴甫洛夫开始有关条件反射的陈述就是一个假说。从这个具体的例子中，我们可以看到假说的实质和特点。

所谓假说，就是根据一定的科学事实和科学原理，对未知的自然现象及

其规律性作出的假定性解释。

作为假说，应当具有这样几个基本特点：

首先，假说扎根于一定的科学事实和已有科学知识的土壤中，这就有异于那些毫无根基的随意猜测和幻想。所以说，假说具有科学性的特点。巴甫洛夫的条件反射假说的提出是以胃液分泌增加与脚步声几乎同时出现这一事实的基础，并以胃液的分泌受神经控制这一已知原理为依据的。因此，这一想法是合理的，具有一定的科学性。

其次，假说的基本思想是推想出来的，是否正确还没有经过实践的检验。因此，假说与正确的科学理论不同，它又具有一定的推测性。例如在条件反射假说中，胃液的分泌增加与脚步声同时出现，并不一定说明脚步声是引起胃液分泌的原因。这种联系是运用创造性思维想象出来的，而不是直接看到的，所以条件反射只是对现象的一种猜测和推断。

再次，科学假说应当是能够被检验的。假说既具有一定的科学性，又具有一定的猜测性，是二者的辩证统一，那么，假说是否正确，是否能上升为理论，就必须接受实践的检验。实践是检验假说正确与否的最高级裁判官。如果一个假说不但在技术上而且在原则上都不能被检验，那就不能称之为科学假说。巴甫洛夫为了证明条件反射假说，他把屋内四周的墙壁都贴上橡皮，以避免其他声音的干扰。在这样的条件下，他曾利用打铃等多种手段，反覆实验，结果都如愿以偿。

如果把已经竣工的科学大厦比作一项工业产品的“成品”，那么，科学假说就好比是“预制品”。只有经过进一步的加工和检验，“预制品”才能变为“成品”。

恩格斯曾对科学假说作过精辟的论述。他说：“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说。一件新的事实被观察到了，它使得过去用来说明和它同类的事实的方式不中用了。从这一瞬间起，就需要新的说明方式了——它最初仅仅以有限数量的事实和观察为基础。进一步的观察材料会使这些假说纯化，取消一些，修正一些，直到最后纯粹地构成定律。如果要等待构成定律的材料纯粹起来，那么这就是在此以前要把运用思维的研究停下来，而定律也就永远不会出现。”（恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版，第 218 页）

2．魔星的小克星

既然自然科学的发展形式是假说，在进行科学研究的过程中，就会遇到建立假说的情况。那么，假说在哪些情况下有可能形成呢？下面分别用实例说明一个假说形成的几种典型方式。

第一种方式是，人们在生产实践和科学实验中发现了新的事实，而又没有现成的理论可以对此进行解释，在这种情况下，提出一种全新的解释就会

形成一种假说。聋哑少年古德利克在解释魔星时所提出的假说，就属于这种情况。

古代的人们在观察星空的过程中，发现英仙座里有一颗星很怪，它时明时暗，变化莫测。因此，阿拉伯人把它叫做“魔星”。欧洲人则把它叫做“美杜莎”。“美杜莎”是古希腊神话中的一个女妖，谁正面看它一眼，谁就会变成石头。这颗星在我国古代叫做“大陵五”，“陵”就是坟墓的意思，“大陵”即大的坟墓。我国古代把这颗星和它周围的几颗星分成一组，叫做“大陵”。“大陵五”就是“大陵”之中的第五颗星。

那么，这到底是一颗什么样的星呢？它又为何这样神秘呢？

18 世纪，英国有个叫古德利克的少年，他从小就又聋又哑，但却十分热衷于天文观察，他从十几岁就开始观测星空。1782 年 11 月的一天夜里，他看到魔星正在逐渐地暗淡下去，感到很有趣，就想弄清这颗星的古怪行为。为此，他每天夜里都坚持观测，并认真地作了观测记录。在寒冷的冬夜，古德利克的手脚冻肿了，眼睛也看疼了，但是他却从没有落下一天。冬去春来，万物复苏，古德利克的观察也有了结果。他发现魔星的明暗变化有一定的规律，即每隔 2 天又 20 小时 49 分 8 秒就由亮到暗又由晴到亮重复变化一次，像钟表一样准时。古德利克把他的发现写成了一篇论文，交给了英国皇家学会。

魔星如此准确的光变周期是如何造成的呢？古德利克提出了这样一个假说加以解释。他推测魔星的光度变化是由交食引起的。他认为魔星不是一颗星，而是成双成对的两颗星。这两颗星互相绕着转圈子，转一圈的时间就是 2 天又 20 小时 49 分 8 秒。当一颗星经过另一颗星前面的时候，前者就挡住了后者的光，使它们的总亮度减小。这和日食时月亮挡住太阳的光，是同样的道理。古德利克经过艰苦的观察，终于揭开了披在魔星身上的神秘面纱，成为攻克魔星的一位科学新星。可惜他在 22 岁就死去了。

古德利克的假说在 100 多年后得到了证实。天文学上把由于交食而变光的星叫做“食变星”。现在发现的食变星已有上千个。

3．半个原子的矛盾

假说形成的第二种典型的方式是，人们新发现的科学事实与已有的科学理论之间存在着矛盾，解决这种矛盾的最好办法就是提出新的假说。意大利物理学家阿伏伽德罗提出的分子假说就属于这一类型。

1803 年，英国化学家道耳顿发表了科学的原子学说。他认为自然界存在着不可分割的原子，原子是各种化学元素最基本的构成单位。不同元素的原子具有不同的重量。原子各以简单整数比结合成化合物。原子学说成功地解释了当时已知的化学现象，很快便被科学界普遍接受，对化学的发展，做出了很大的贡献。

按照道耳顿的原子学说，两种元素只能形成一种化合物，在该化合物中，只含有每种元素的一个原子。当时，人们已经知道水是氢和氧的化合物，所以水的简写表达式被定为 HO。

1805 年，法国化学家盖—吕萨克通过大量实验发现了气体反应体积关系定律。他指出：在相同温度、压力下，气体反应中各气体体积互成简单整数比。例如，氢气和氧气化合成水蒸气，体积比恰好是 2：1：2。盖—吕萨克引用原子学说认为，这可能由于化合时的原子整数比，才形成了体积的整数比，即两种气体化合时的体积比和组成它们的原子数目比是一样的。例如，氢气和氧气的化合就是 2 个氢原子与 1 个氧原子结合成为 2 个水原子。据此，他提出了一个假说，在相同温度和相同压力下，同体积的不同气体都含有相同数目的原子。

道耳顿坚决反对盖—吕萨克的这一假说。因为倘若这一假说成立，那必然会推出半个氧原子存在的结论，即$O+2H \rightarrow 2HO$，亦即：$\frac{1}{2}O+H \rightarrow HO$。然而，道耳顿的原子论认为简单原子是不可分割的。这样，道耳顿的原子论就与实验事实发生了矛盾。

1811 年，阿伏伽德罗为了解决这一矛盾，在盖—吕萨克假说的基础上，进行了合理的推理，提出了“分子假说”。他认为，无论是单质还是化合物，在原子之上还存在一个分子层次；单质分子由同种原子组成，化合物分子由不同种原子组成；化学反应实质上是不同物质的分子间各原子的重新组合。他还指出：在同温同压下，同体积的任何气体，都含有相同数目的分子。这样，阿伏伽德罗的分子假说，使半个原子的矛盾迎刃而解。这是因为，氢气和氧气的化合就是 2 个氢分子（包括 4 个氢原子）和 1 个氧分子（包括 2 个氧原子）结合成 2 个水分子的过程，即 $2H_2+O_2=2H_2O$。

借助于“分子假说”，阿伏伽德罗把原子论和气体反应关系定律之间的矛盾消除了，从而使原子论摆脱了困境，并进一步发展成为完整的原子——分子学说，奠定了近代化学理论的基础。

4．太阳像个大氢弹

假说形成的第三种方式是，当人们在某一领域从事研究时，发现别的领域中出现的新成果和新方法。能对自己领域中的现象作出新的解释和说明，这是一种通过移植获得假说的办法。例如，关于太阳能量来源的各种假说，就属于这种类型。

万物生长靠太阳。正是太阳把自身的光和热供给了地球，才使地球上的各种活动得以进行。根据科学家的计算，太阳每秒钟内释放到太空中的能量是 380 亿亿亿焦耳，这个过程已经持续了 40 多亿年，并且还将继续持续下去。人们不禁要问：太阳如此大的能量是从哪儿来的呢？

最初，有的科学家认为是太阳周围的陨石，不断掉到太阳上燃烧，从而

发出了大量的热。但是，理论计算结果表明，维持这种燃烧，需要非常多的陨石，而实际上太阳周围是没有这么多陨石的。后来，又有的科学家认为这是由于引力收缩使势能转化为动能，动能又转化为热能的缘故。可是理论计算结果却不能支持这一假说，因为即使把太阳的全部势能都转化热能，也不足以维持这样长期而猛烈的热幅射。此外，还有人提出过其他一些假说，如把太阳看成一块大煤或一团火热氢气等等，然而，这些假说都不能合理解释太阳的能源问题。

本世纪 30 年代末，物理学家发现了原子核的热核聚变反应可产生巨大的能量。1938 年，美国物理学家指出在太阳内部那样的高温情况下，氢原子核可以聚变成氦核，一克氢转化为氦释放的能量就相当于 24 吨烈性炸药放出的能量。像太阳这样巨大的星球，简直就是一个硕大无比的氢弹。科学家通过理论计算表明，太阳所具有的质量和核聚变所放出的能量，足够维持它在 100 亿年里辐射出大量的能量。太阳通过热核聚变把自身的质量转化成能量，再通过辐射把能量传播出去。

在热核聚变理论提出之前，尽管人们对太阳能量的来源问题提出了许多假说，但是它们都与实际情况不符合。热核聚变理论一出现，就被移植到天文学领域，由此形成了太阳能源的热核聚变假说，才使问题的解决出现了转机。

从这个例子可以看出，不同学科领域之间是相互渗透、相互影响的，科学研究工作者不应当只局限于自己的研究领域，还要密切关注相关领域的进展，及时地吸取其他领域的新成果，这对于本学科的发展将起到不可估量的推动作用。

5．学贵在问

传说公元前 5 世纪，在古希腊的雅典发生了一场可怕的瘟疫，人们胆战心惊，纷纷拥到神庙向神祈祷。祭司代表神对人们说：“你们之所以受到惩罚，是因为供奉神的立方体香案太小了。你们若想结束这场瘟疫，就必须把香案的体积扩大一倍。”大家听了祭司的话，非常高兴，因为他们认为这是一件很容易办到的事情，只须把香案的各棱放大一倍就行了。人们据此制造了一个新香案，放在神殿前，自以为万事大吉。不料没过几天，瘟疫却越发不可收拾。

人们莫明其妙，就去请教大哲学家柏拉图，柏拉图思索片刻，告诉大家：把香案的各棱扩大一倍，并不能使香案的体积增加一倍。对于这一点，现在我们不难证明。如设原立方体香案的棱长为 a，那么棱长增加一倍即为 2a，因此，新香案的体积为 $(2a)^3$，即 $8a^3$，也就是说新香案的体积为原香案体积的 8 倍。难怪神灵又要发怒呢！

关于这个传说的真假，我们暂且不论，但是，如何将体积扩大一倍的问

题却流传下来。这就是著名的“倍立方问题”。当然，在扩大体积时，只能使用圆规和直尺，并且要在有限的步骤内完成。

除了倍立方问题外，从古希腊流传下来的还有另外两个作图问题，即：三等分任意角和化圆为方。它们合称为古希腊三大作图难题。这些问题看似简单，似乎要作出它们只在举手之间。可是历代数学家不知花费了多少精力，在经过了 2000 多年的艰苦探索之后，才揭开了这些古老问题的谜底：要想用圆规和直线解决以上三个作图问题，是根本不可能的。

尽管人们最后得到了否定的答案，这不免使人感到扫兴，但是，在提出这三个问题和解决这三个问题的过程中，人们却提出了各种各样的假说，并且创立了许多崭新的数学理论，形成了一系列的数学分支，从而使一座座辉煌壮丽的数学大厦巍然屹立在人类攀登科学高峰的路旁。

毛泽东说：“什么叫问题？问题就是事物的矛盾。哪里有没有解决的矛盾，哪里就有问题。”《毛泽东选集》人民出版社出版 1991 年 6 月第二版第 839 页）从一定程度上说，科学研究就在于发现、提出和解决问题。

爱因斯坦说：“提出一个问题往往比解决一个问题更重要，因为解决一个问题也许仅是一个数学上的或实验上的技巧而已。而提出新的问题，新的可能性，从新的角度去看旧的问题，却需要有创造性的想象力，而且标志着科学的真正进步。”

2000 多年前，我国伟大的诗人屈原在不朽之作《天问》中，竟提出了 172 个问题，这些问题成为后来的科学家和哲学家们思考研究的课题。

牛顿在他的《光学》一书中以将近 70 页的篇幅提出了 31 个著名问题。这些问题也成为后来科学家继续探索和研究的出发点。

1900 年，德国年仅 38 岁的数学家希尔伯特在国际数学会议上，站在数学研究的最前沿，以卓越的洞察力提出了 23 个尚未解决的数学问题，即著名的“希尔伯特问题”，给 20 世纪数学的发展以深刻的影响，推动了一个世纪以来各个数学分支的发展。

俗话说：“学问学问，有学就有问。”在学习过程中，出现了疑点，自然就会提出问题。善于提问的人也是一个善于怀疑的人。学贵质疑，科学研究就要善于发现疑点，而且一旦发现疑点，就应抓住不放，穷追到底。

1953 年，物理学家发现，有一种粒子能衰变成 3 个介子，另一种粒子衰变成 2 个介子。由于这种介子具有奇宇称，因此，前一种粒子具有奇宇称，而后一种粒子具有偶宇称。根据宇称守恒定律，这两种粒子应是不相同的。然而，实验结果表明这两种粒子的质量、电荷、寿命等性质又完全相同，因此，它们又像是同一种粒子。

那么，它们到底是同一种粒子，还是不同的粒子呢？当时，大多数物理学家都相信宇称守恒定律的正确性，企图在宇称守恒的框架内解决这个难题。但是，一几经努力，没有得出什么结果。

美籍华裔物理学家李政道和杨振宁博士也参加了攻克这一难题的战役。

他们在抗战期间曾就学于西南联合大学，以后赴美留学。他们在决定解决这一世界性难题时，也不过 30 岁出头。他们在经过一番认真探索后，开始对宇称守恒这一被人们广泛接受的定律发生怀疑。他们发现关于宇称守恒的实验都是在强相互作用或电磁相互作用下进行的，其中没有一个实验能够说明在弱相互作用下宇称是守恒的。于是他们提出了一个假说，即：在基本粒子弱相互作用的领域内，宇称是不守恒的。由此出发，他们认为这一疑难问题中的两种粒子是同一种粒子，由于在弱相互作用领域内宇称不守恒，所以它们可以有不同的宇称。

几个月后，美籍华裔女物理学家吴健雄博士根据李政道和杨振宁的设想方案，做了一个巧妙的实验。结果表明这个假说是正确的。这立刻引起了科学界的极大震动。李政道和杨振宁因此获得了 1957 年度的诺贝尔物理奖。这是华裔学者首次获得科学界的最高荣誉。

当时，我国著名物理学家吴有训、周培源、钱三强曾代表中国物理学会，向李政道、杨振宁和吴健雄分别发去了贺电，祝贺他们为中华民族争了光。

6．思想的翅膀

在构筑科学大厦的过程中，除了已谈过的方法外，想象力也是一个不可缺少的重要因素。科学假说的提出往往要借助于科学家的想象力，想象力由此被称为自然科学理论的设计师。

爱因斯坦曾说：“知识是有限的，而想象力概括着世界的一切，推动着进步，并且是知识的源泉。严格地说，想象力是科学研究中的实在因素。”德国理论物理学家普朗特也很重视科学想象力的作用，他说：“每一种假说，都是想象力发挥作用的产物。”

爱因斯坦的狭义相对论问世后，科学界响应的人寥寥无几。法国物理学家朗之万曾对爱因斯坦说过，全世界只有 12 个人知道什么是相对论。为了让人们能明白其中的道理，朗之万设想把一个旅行家装在一个与光速相差两万分之一的高速飞行的炮弹飞船里，由地球出发到宇宙中去旅行，一年后再以同样的速度返回地球。当旅行家走下炮弹飞船时，就会发现地球上已经过去了 200 年。如果在他出发前有一个不满周岁的儿子，当他返回地球时，他的儿子早已去世了，欢迎他的将是他从不相识的曾孙了。朗之万以惊人的想象力对狭义相对论作了非常透彻地说明。对此，爱因斯坦曾给予极高的评价。

鲁迅说过：“孩子是可以敬佩的，他常常想到星月以上的境界，想到地面以下的情形，想到花卉的用处，想到昆虫的语言；他想飞入天空，他想潜入蚁穴……”少年人的世界充满了幻想的色彩。哥白尼、伽利略、牛顿等大科学家，在少年时代都是富于幻想的。正是借助于幻想，他们才在日后取得了辉煌的科学成就。列宁在谈到幻想时曾说：“有人认为，只有诗人才需要幻想，这是没有理由的，这是愚蠢的偏见！甚至在数学上也是需要幻想的，

甚至没有它就不可能发明微积分。”

科学幻想已经成为推动科学发展和技术进步的一个重要力量。科幻小说家们在无线电发明之前就已经想到了电视，他们曾幻想过飞机、火箭、潜水艇、导弹、坦克等等，这些在今天都已经成为现实。我国古代的“嫦娥奔月”，不是也变成今天的宇宙飞船了吗？“龙宫探宝”变成了今天的海底钻探，“千里眼”、“顺风耳”则变成了今天的电视、遥感、电话等。

萧伯纳说过：“如果我们不作幻想，现在可能仍然处于黑暗时代。没有幻想，人类的许多成就根本不会发生。”人类正是依靠想象的翅膀，才飞离了远古的荒漠，飞越了碍事的山峰和山谷。着陆在了科学的沃野上。

在科学家的创造性思维活动中，还有一种值得重视的因素——灵感。

1934 年，意大利物理学家费米等人对中子诱发放射的问题进行了广泛地研究，但迟迟得不出什么有意义的结果。有一天，费米刚走进实验室，忽然产生了一个念头：我应当考查一下在入射中子前面放置一块铅的效应。他一反往常，不惜付出艰苦的劳动到机床上加工出一块铅。这时，他反而感到有些不满意，因此故意找出种种借口以拖延时间，不把这块铅放上去。最后，他终于要把那块铅放上去了。可是，费米喃喃自语：“不，我不想把这块铅放在这里，我想放一块石蜡。”事情就是这样，没有前兆，事先也没有意识地进行过推理。费米马上随手取了一块石蜡把它放到原来准备放铅块的地方。就这样，费米发现了慢中子效应。为此，他获得了 1938 年诺贝尔物理奖。这项重大发现为他后来设计世界上第一座原子反应堆奠定了基础。

灵感又称顿悟，费米突然想起要放一块石蜡，这就是说他产生了灵感，或者说对问题的解决有了顿悟。科学家在对某个问题经过长时间的冥思苦想后，还不得其解，如果他能放下手中的工作，松驰一下，或把注意力转移到其它方面去，这时，在他的头脑中就可能突如其来地产生对这个问题的解决办法，他茅塞顿开、豁然开朗，并体会到一种科学创造的快乐感。

当然，在科学研究中，我们不能像“守株待兔”那样去坐等灵感的到来，因为灵感只是对辛勤劳动的奖赏。英国数学家哈密顿在发现四元数的时候说：“这是 15 年辛勤劳动的结果。”爱迪生也说：“发明是百分之一的灵感加上百分之九十九的汗水。”

7．冰川寻迹和地宫探油

科学家在根据一定的事实提出科学假说后，并不会将它搁置起来。而是把假说放到科学实践的洪流中去，让它在大风大浪中经受考验。假说就如同在大海中航行的帆船，实践就如同大海中的狂风巨浪。只有那些乘风破浪，经得住考验的船只，才能驰向真理的彼岸；否则，就会搁浅或者藏身海底。

更通俗一点说，实践就是假说这件预制品的检验员，只有当检验员为假说颁发了合格证，假说才有资格进入理论的行列。

本世纪 20 年代，在地质学界曾经发生过“ 中国有无第四纪冰川存在 ”的争论。冰川也叫冰河，就是由冰块形成的川流。这就如同大河中的流水一样，但冰川移动的却不像河水那样快，一天才移动几厘米。由于冰川的变迁能够反映出地理和气候的变化，所以，研究冰川对建筑、水利、找矿等有重要的意义。

当时，中外地质学界普遍认为，中国除西部高原外，第四纪元冰川。他们有的认为，由于中国所处的纬度太低，即使那时温度下降也不会在中国形成冰川。有的认为第四纪初期，中国的气候特别干燥，雨雪较少，因而也没法形成冰川，等等。

那么，“ 中国第四纪没有冰川存在 ”这一假说是否正确呢？

我国年轻的地质学家李四光认为，仅仅通过争论是没法解决冰川是否存在的问题的，只有实践才是解决这个问题的唯一出路。为了取得可靠的第一手资料，他开始了大范围的实地考察活动。他跋山涉水，风餐露宿，经历了千辛万苦，终于 1922 年在太行山麓的大同等地，发现了第四纪冰川流行的遗迹，并且采集了带冰擦条痕的漂砾。这一发现证明了“ 中国第四纪没有冰川存在 ”这一假说是错误的。

然而，当时在旧中国农商部当“ 顾问 ”的安迪生，对李四光的这一重要发现，却横加指责。国内的地质刊物对李四光有关冰川的研究结果也不予发表。在这种情况下，以李四光为代表的一批地质学工作者顶着压力，仍然进行冰川的实地考察工作。

1934 年，李四光等人在长江中下游的庐山、九华山、天目山等地，又发现了大批第四纪冰川遗迹，进一步证实了中国第四纪冰川的存在。

李四光等人的这一系列发现同样遭到了中外许多学术“ 权威 ”的围攻。他们甚至赶到庐山，就地同李四光等人进行辩论，对这些冰川遗迹不予承认。1936 年，李四光等人在黄山发现了一个非常明显的冰川遗迹。面对这一不可否认的事实，安迪生等人哑口无言。

李四光等人对冰川遗迹进行了十多年的实地考察，足迹遍布太行山和黄山、庐山及长江流域其它地区，发现了大量冰川流行的证据，有力地证明了中国第四纪冰川流行的普遍性。彻底推翻了“ 中国第四纪无冰川存在 ”的错误结论。

几乎在李四光研究第四纪冰川的同时，他对地壳运动的动力问题也进行了新的探索。1921 年，他在研究我国东部石炭二叠纪地层的时候，发现海水有从两极向赤道，赤道向两极这样反覆进退的运动规律，也就是当低纬地区是一片汪洋时，高纬地区却是森林茂密的陆地；相反，当高纬地区沦为大海时，低纬地区却是绿林成片。他由此想到海水和地壳运动之间的这种密切关系，可能与地球自转速率的变化有关。1926 年，在北京举行的中国地质学会年会上，李四光宣读了《地球表面形象变迁的主因》这篇重要论文，提出了地球自转速度变化是海水运动和岩石变形等地球表面形象变化的主要原因。

他认为推动地壳运动的力量是地球自转的离心力。这一观点新颖的假说立刻引起了与会者的极大兴趣，许多有识之士意识到一个崭新的地壳运动理论在中国诞生了。但是，李四光的这一论点却遭到了在北京大学任教的、美国传统构造地质学家维理士的反对。维理士信仰大陆固定论，主张大洋陷落造山说，对李四光的科学假说，非常蔑视。他甚至说：“在中国这个地方，居然有人会谈论这样大的理论问题！”会后他还以鄙视的口气问李四光：“你在哪国留学？你的先生是谁？”李四光是一个非常自信而又谦虚的人。对于维理士等人的无理挑衅，他根本不予理会。他认为自己提出的这一假说，其正确与否只有实践才能判明，而不是由某些权威的讥讽所能决定的。

从此，李四光等人对我国的锦秀河山进行了大范围的实地考察，他甚至不放过在国外游览的机会，进行了大量的地质考查。丰富的地质资料从不同角度都证实了李四光科学假说的正确性，在此基础上，他于 1945 年发表了《地质力学的基础与方法》一书，创立了地质力学这一新学科。然而，在旧中国，地质力学不但没有得到应有的重视，就连李四光本人也不得不移居国外。

新中国成立后，李四光又回到了日思夜想的祖国，并多次受到了毛泽东主席和周恩来总理的亲切接见。地质力学也像吐绿的新芽，在新中国的大地上茁壮成长。过去，由于受传统理论的影响，我国被认为是“贫油国家”。当毛主席和周总理询问李四光对我国石油远景的看法时，他回答道，传统地质理论认为，“陆相”地层不生油，但是按照地质力学，地下有无石油不在什么“陆相”还是“海相”，关键在于有无生油和储油的条件。只要有适合于生成和储藏石油的条件就都可以有丰富的油藏。他指着地图说，根据地质力学，从东北的松辽平原到华北平原和江汉平原，是属于新华厦构造体系的一个沉降带，是我国很有希望的储油构造带，我们应该到那里去打井找油。

根据李四光的建议，我国的石油勘探大军开始了从西北到东北的战略大转移，经过几年奋战，拿下了第一个大油田——大庆油田。从此以后，中国人使用“洋油”的时代便一去不复返了。随后又接连拿下了胜利、大港等一批大油田，使“中国贫油论”彻底破产了。

李四光的地质力学在实践中经受住了考验，并且发展成为一个完整的理论体系。

8．死而复活的秘密

俗话说：“种瓜得瓜，种豆得豆。”这是早已被人们所熟悉的生物遗传现象。可是，生物为什么能将性状一代一代的传递下去？负责生物性状传递的物质是什么呢？就连达尔文那个时代的科学家也还搞不清楚。

1900 年，科学家重新发现了孟德尔所发现的遗传定律。此后，随着细胞遗传学的发展，特别是由于美国生物学家摩尔根等人的杰出工作，到了本世纪 20 年代，人们已经认识到决定生物性状的遗传因子，也就是基因是按照一

定的顺序排列在细胞核中的染色体上。染色体既然是基困的载体，那么，控制生物性状遗传的物质就应该在染色体上。

当时，科学家已经弄清了染色体的主要组分是脱氧核糖核酸和蛋白质这两种生物大分子。由于人们发现蛋白质的成分复杂，种类繁多，这与生物性状的多样性是一致的，而脱氧核糖核酸却成分简单、种类单一，所以，许多生物学家认为蛋白质应该是遗传物质，只有少数的生物学家意识到脱氧核糖核酸可能是遗传物质。

面对这样两种对立的假说，到底谁是谁非，如何裁决呢？在自然科学研究中，有一种判断两个对立假说是非曲直的方法，这就是“判决性实验”。1944 年，美国的三位生物化学家艾费里、麦克劳德和麦卡蒂正是通过一个著名的“判决性实验”才证明了遗传物质是脱氧核糖核酸而不是蛋白质。

事情还得从头谈起。

1928 年，英国细菌学家格里菲斯做了一个用肺炎菌感染小家鼠的实验。

肺炎菌基本上可以分为两种类型。一种是有毒的光滑类型，简称 S 型；另一种是无毒的粗糙类型，简称 R 型。S 型的菌体被相当发达的荚膜包裹着。这层荚膜保护细菌不受被感染的动物的免疫机制所杀死，从而使人或小家鼠致病。R 型则不能形成荚膜，所以不能使人或小家鼠致病。

有一次，格里菲斯把少量的 R 型的活细菌和大量已被杀死的 S 型细菌混合注射到小家鼠体内以后，小家鼠竟然患病死了，并且从死鼠的血液里发现了活着的 S 型细菌。这就是最早发现的转化现象，这一现象使科学家感到很奇怪，难道死去的生物还能复活吗？

3 年之后，有人发现在加热杀死的 S 型细菌存在的情况下，体外培养的 R 型细菌的培养物中也发现了活着的 S 型细菌。此后不到两年，又发现把 S 型细菌的无细胞提取物加到 R 型培养物上，也能产生 R 向 S 的转化。

生物学家由此认识到，在加热杀死的 S 型细菌的提取物中，一定存在着某种导致细菌类型发生转化的物质。这种物质究竟是什么，人们还不知道。为了便于研究，就把它叫做“转化因子”。

1944 年，在纽约洛克菲勒研究所工作的艾弗里等人为了弄清转化因子的化学本质，开始对含有转化因子的 S 型细菌的提取物进行分析研究。他们开始也认为“转化因子”可能是蛋白质。可是，当他们用各种办法把蛋白质等物质从提取物中去掉以后，发现提取物的剩余物质仍然能够把 R 型细菌转化成 S 型细菌。于是，他们对自己的判断发生了怀疑。

在对提取物进一步纯化之后，他们发现剩余物质是脱氧核糖核酸。难道这种被人忽视的物质是转化因子吗？他们把从 S 型细菌提取物中得到的脱氧核糖核酸加在 R 型细菌的培养物中，结果发现了活的 S 型细菌。他们又减少脱氧核糖核酸的剂量，甚至在六亿分之一的浓度中。仍然具有使 R 型发生转化的能力。于是，他们断言：促使细菌发生转化的物质是脱氧核糖核酸，而不是蛋白质。正是由于 R 型细菌吸收了 S 型的脱氧核糖核酸，才使 R 型细菌

恢复了合成荚膜的能力。由于荚膜是生物一个性状，所以说，脱氧核糖核酸是决定生物性状的遗传物质。

艾弗里等人的这一“判决性实验”证明了基因的物质基础是脱氧核糖核酸而不是蛋白质，从此改变了人们对脱氧核糖核酸在生物体中是无关紧要的片面看法，为生物学家深入认识生物的遗传机制奠定了坚实的基础。

9．对与错的分界线

许多人都持有这样的看法：既然理论已经受到了实践的检验，那么它们就是绝对正确的真理了。其实不然，任何真理都有一定的适用范围，超过这个范围，真理就会转化为谬误。例如，欧姆定律对金属导体是适用的，对液体导电也适用，但对气体导电就不成立了。弹簧的伸长只有在一定的限度内才跟所受的拉力成正比，超出这个限度，伸长就不跟拉力成正比了。真理是不能随意应用到它的适用范围之外去的。恩格斯说：“真理和谬误，正如一切在两极对立中运动的逻辑范畴一样，只是在非常有限的领域内才具有绝对的意义。”（恩格斯：《反杜林论》人民出版社 1970 年版第 88 页）恩格斯还以著名的玻意耳定律为例，指出这一定律只是在一定的压力和温度范围内，对一定的气体才是成立的。

这到底是怎么一回事呢？

17 世纪，英国科学家玻意耳做了一个关于大气压力和气体体积关系的实验，玻意耳制造了一根拐杖型的细玻璃管，让长的一端开着口，短的一端则密闭起来。把水银从开口的一端倒进去，水银就顺着玻璃管壁流了下去。随着水银的增加，水银柱就会同时在长管和短管中一起上升。由于短的一端是封闭的，水银柱的上升就会受到它上面空气压力的阻拦。

当时托里拆利已经证明，一个大气压力相当于 76 厘米高的水银柱。当水银柱在长短管中一样高的时候，玻意耳记下被堵在短玻璃管里的空气柱的高度。这就相当于一个大气压时的空气的体积。接着，玻意耳继续往管里倒水银，随着水银柱上升，短管里的空气承受的压力就加大。玻意耳发现，随着压力的不断增加，短管里空气柱的高度就不断地缩短。这说明空气受到压力，体积会变小。

玻意耳在反覆测定了压力和体积的变化后，发现在二者之间存在着一定的规律，即：在一个大气压下的一个体积的空气，当受到两个大气压时，体积就会被压缩为 1／2；当受到三个大气压时，体积就会被压缩为 1／3……玻意耳把实验结果归纳成了一个公式：在温度不变的情况下，气体的体积与它所受到的压力成反比。这就是著名的玻意耳定律。

以后，又有其他科学家做了类似的实验，实验结果都无一例外地符合玻意耳定律。因此，人们一直认为玻意耳定律是普遍适用的绝对真理。

可是，随着科学技术的发展，科学家们相继发现了二氧化碳、氢气、氧

气、氮气等气体，并且制造了能够提供强大压力的实验装置。在这些条件下，法国科学家雷尼奥等人用各种气体，在较广的压力范围内进行了一系列的实验，结果发现并不是所有的气体，在所有的情况下，总是遵守玻意耳定律的。玻意耳定律出现了许多例外。

例如，在通常的室温下，二氧化碳在 60 个大气压下，就会变成无色的液体，而不再是气体了。这是玻意耳定律不能说明的。在 1 个大气压下 1000 升的氮气，在 1000 个大气压下，应该被压缩为 1 升，而实际上却是 2 升，比按玻意耳定律计算出来的数值要大一倍。这也是玻意耳定律不能解释的。

在玻意耳那个时代，人们对空气的认识还很肤浅，还不知道空气是不同气体的混合物，当时的实验设备又不能提供很高的大气压力，所以，玻意耳定律是在一定的范围内总结出来的，它只在一定的范围内成立。

雷尼奥认识到了这一点，他经过深入地研究，进一步明确了玻意耳定律的适用范围。他发现在离常温常压不太远的范围内，对某些符合一定条件的气体来说，玻意耳定律是正确的。在一些特殊条件下，玻意耳定律就应该加以修正。他根据实验结果，对玻意耳定律作了补充，并把适合于玻意耳定律的气体叫做“理想气体”。

随着真理适用范围的明朗化，真理的天地也就更加宽广。原来的理论没有被完全否定，而是得到了扬弃。适用范围就像真理火焰上的聚光镜，能使真理的光线更加集中明亮。

1873 年，荷兰物理学家范德瓦耳斯通过实验发现，自然界中根本就没有什么“理想气体”，各种不同的气体在受到不同压力的时候，体积的变化并不完全一样。他对玻意耳定律进行了修正，提出了一个比玻意耳定律适用范围更广的方程，即范德瓦耳斯方程。这一方程使人们又朝着客观真理迈进了一大步。

列宁曾说：“任何真理，如果把它说得‘过火’……把它运用到实际所能应用的范围以外去，便可以弄到荒谬绝伦的地步。”《列宁选集》第 4 卷人民出版社 1972 年版第 217 页）雷尼奥和范德瓦耳斯等人所做的正是一项使玻意耳定律“淬火”的工作，从而使玻意耳定律在科学殿堂中找到了适合于自己的位置。

10．大自然厌恶真空吗

不论什么样的科学假说，只有通过了实践的检验，才能转化为理论。然而，假说的检验并非一蹴而就。科学家不仅要想法设计精巧的实验，而且还要跟对立的一方进行论战，甚至还会遇到传统势力的抵制和围攻。作为一名科学家，就应当能经受住熊熊烈火的冶炼，因为只有这样，才能在科学的火炉中百炼成钢。

生活在地球上的人类，每时每刻不在呼吸着空气，人离不开空气犹如鱼

离不开水一样；又由于人们所到之处都能呼吸到空气，所以古代的人们对于既看不见又摸不着的空气，逐渐形成了一种印象，就是空气是没有重量的，并且充满了整个宇宙。古希腊的亚里士多德还由此断言：自然界不存在真空，大自然是厌恶真空的。由于亚里士多德被视为大权威，再加上没有发现与这些说法相矛盾的情况，因此，人们对亚里士多德的理论坚信不疑。

从前，许多地方的劳动人民就在使用着一种汲水装置，来提取井水、河水，以便饮用和灌溉农田。这种汲水装置很简单，就是在一根很长的管子里，装上一个和管子内壁紧密接触的活塞。先把活塞推到管子的最下端，然后把管子插到水里，向上提起活塞，水就被抽上来了。其实，这就是原始的抽水机。

对于这种原始抽水机的汲水现象，人们一直沿用亚里士多德的理论进行解释。也就是随着活塞的上升，在水面和活塞之间就会出现真空，由于自然界厌恶真空，所以水也就随着活塞上升了。

到了 16 世纪，随着欧洲采矿业的发展，人们开始采用抽水机来抽取矿井里的积水。有一次，在意大利的一座很深的矿井里，发生了一件意外的事情。人们用抽水机抽水的时候，发现井水上升到 10 米以后，就再也不肯上升了。起初，人们以为这是机械装置不科学造成的。于是，技师们想了各种各样的办法对抽水机进行了改进，可是，水程仍然没有超过 10 米。

难道在汲水管里 10 米以上,大自然就不厌恶真空了吗？人们对此感到迷惑不解。

在毫无办法的情况下，人们只好去请教著名科学家伽利略。实际上，这个问题已经引起了伽利略的注意。他曾经猜想：如果用汲水装置去汲取比重比水大的液体时，也许汲程要低得多。可是，现在这位被教会迫害得体弱多病的科学家已经无力再从事这方面的研究了。只好委派他的学生托里拆利帮助解决这个问题。

托里拆利通过现场考查和深入思考后，对亚里士多德的理论产生了怀疑。

如果大自然真的厌恶真空，那么这也只是在 10 米之内才正确。可是，自己的老师伽利略曾有过重液体汲程要低的想法。真实情况到底是怎样的呢？他拿一根 1 米长的玻璃管，一端开口，另一端密封起来。把水银从开口的一端灌满管子，再用手指堵住管口，倒立插在水银糟里。然后，松开手指，这时，只见管里的水银柱迅速下降而流入槽里，但是当下降到一定高度后便不再下降了。他用尺子量了量水银柱的顶端距离槽中水银面的高度，正好是 76 厘米。他反覆实验了多次，结果都一样。假如亚里士多德的理论在 10 米之内正确，那么，在这个实验里，大自然为什么在 76 厘米至 10 米之间又不厌恶真空了呢？看来，亚里士多德的理论是错误的。

到底是什么原因使水银柱维持在 76 厘米的高度上停止不动呢？

托里拆利经过长时间的冥思苦想，终于发现了下面的事实。水银比同体

积的水重 13 倍，而 13 乘以 0.76 米约等于 10 米。他马上意识到这是同一个因素在对水和水银起作用。经过认真的分析，托里拆利认为，围绕着地球的大气层是有重量的，使液体维持在一定高度的原因正是大气的重量。这是因为大气作用在物体上就产生了压力，这个压力作用在糟里的水银面上，正好和管子里 76 厘米高的水银柱的重量相等，也就是和 10 米高的水柱的重量相等，从而使水银柱和水柱保持在一定的高度上，不再下降，而水银柱和水柱的上方则是真空。这样，就得出了与亚里士多德的理论相反的结论。

托里拆利关于大气有压力和自然界存在真空的理论，受到了教会和科学上守旧派的攻击，他们说，水银柱上面不是真空，而是充满了看不见的气体，正是这些气体的压力使水银柱的高度保持在 76 厘米上。

面对守旧势力的进攻，托里拆利决心再用实验事实给予回击。可是，怎样才能证明水银柱上方没有气体呢？面对这一难题，托里拆利没有退却，经过反覆推敲，认真琢磨，终于设计了一个更加巧妙的实验。

这一次，他用了一个大的槽子，下层是水银，上层是水。他按照以前所做实验的步骤，把玻璃管倒插在下层的水银里。当管里的水银柱保持在 76 厘米的时候，托里拆利把玻璃管慢慢向上提起，当管口被提到槽里水银和水的交界面以上时，由于玻璃管里的水银比水重，一下子就流了出来，与此同时，水也迅速地充满了全管。

由此可见，在管里水银柱的上方确实没有气体。如果水银柱的上方有气体，那么，当水流进去的时候，由于受到气体的阻力，水就应该只上升到 76 厘米的高度，而实验结果却正好相反。尽管保守派亲眼目睹了这一事实，但他们仍然抱着亚里士多德的错误观点不放。自然界是否有真空以及大气是否有压力问题，一时成为人们争论的焦点。

当时，德国马德堡市市长居里克，是一位非常热心于科学的人。他认为，在涉及自然科学的问题上，花言巧语、高谈阔论和快嘴利舌都是无济于事的。他决心用人们易懂的实验来解决这个大问题。

居里克想，如果一个容器里没有空气，也就是成为真空的，那将会出现什么情况呢？

他先把一只大木桶装满水，然后想把水全部抽掉，他以为水被抽走后，木桶里就会出现真空。但是他没有达到预期的目的，因为水一边抽出。空气也一边从肉眼看不见的缝隙钻进桶里。于是，他又请人制作了一只空铜球，球上装有一根带阀门的短管。抽去铜球中的空气，在铜球里就建立了真空。居里克在真空里进行了一系列的实验，他发现铃铛在真空中发不出声音，动物在真空中会死去，蜡烛在真空中也不能燃烧。

后来，他又请人做了两个一模一样的铜半球，直径约 3／4 肘长（一肘长约合半米），其中的一个装有阀门，可借助它把球中的空气抽出来。每个半球上有一个铜环，上面系着长绳。用松节油蜡浸过的皮圈垫在两半球接合的地方，然后把球里的空气抽掉。这时两半球与皮圈紧密地接合在一起，用手

掰是掰不开的，他就套上了 16 匹马来拉，每边各有 8 匹，开始，16 匹马也拉不开，赶马的人就用鞭子抽打着，16 匹马一起使劲拉，才把钢球拉开。当两半球被分开时，还响了一声。如果向钢球中通入空气，就能不费力地拉开它。

关于马德堡半球实验的奇闻不胫而走，很快就传遍了德国。德国皇帝费迪南三世也想亲眼看个究竟。1654 年 5 月 8 日，在雷根斯堡，当着皇帝以及王宫贵族和大臣们的面，居里克表演了这个实验。所有在场观看的人，都感到十分惊讶！马德堡半球实验使人们亲眼目睹了大气压力的巨大威力！从此，人们更相信了托里拆利的理论。

探索真理的道路是艰难、曲折和漫长的，因此，在科学研究中，就需要有坚强的毅力、敢于打破传统观念和跟错误思想进行斗争的勇气以及吃苦耐劳的实干精神、要坚信真理是时间的女儿而不是权威的奴隶。诚如马克思在《资本论·序言》中所说：

在科学上没有平坦的大道，只有不畏劳苦沿着陡峭山路攀登的人，才有希望到达光辉的顶点。

谨以此作为少年朋友们未来从事科学研究的座右铭吧！