

在英国伦敦，著名的威斯特敏斯特教堂国家公墓里，长眠着一位科学史上的巨人。他的墓碑上刻着：

依撒克·牛顿爵士

安葬在这里。

他以超乎常人的智力，

第一个证明了

行星的运动与形状，

彗星的轨道与海洋的潮汐。

他孜孜不倦地研究

光线的各种不同的折射角，

颜色所产生的种种性质。

对于自然、历史和圣经，

他是一个勤勉、敏锐而忠实的诠释者。

他以自己的哲学证明了上帝的庄严，

并在他的举止中表现了福音的纯朴。

让人类欢呼

曾经存在过这样一位

伟大的人类之光。

这一墓志铭概括地赞颂了牛顿一生主要的科学成就，也不恰当地神化了这位一代科学大师，并将他的科

学研究归结于为上帝的服务。

牛顿究竟是怎样一个人？他不是超人，不是神，也不能说他的一生都是上帝的奴仆。牛顿是一位在物理学、天文学、数学上都作出了卓越贡献的杰出的自然科学家。他所创建的古典力学（即牛顿力学）体系，集中代表了欧洲中世纪后，新兴自然科学的第一个时期（十五世纪下半叶至十八世纪中叶以前）无机界领域内的主要科学成就。

一 风云际会的时代



牛 顿 故 居

1642年12月25日,也就是西方圣诞节的那一天,依撒克·牛顿诞生在英国东南部林肯郡格兰汉镇附近羊毛村(音译是“沃尔斯索普”)的一个农民家里。

这时候正是十七世纪,欧洲处在自然科学风云际会的时代。

欧洲的自然科学,曾经经历了一千多年中世纪的黑暗统治。在那长夜漫漫的日子里,反动的教会势力,先后捣毁过亚历山大城的图书馆,杀害了女天文学家希帕蒂亚(370? —415?);僧侣们把数学视为“魔鬼的艺术”,加以禁止,宣称宇宙受永恒的神的规律支配,“不需要作任何研究”。那时候,科学只是教会的恭顺的婢女,它不得超越宗教信仰所规定的界限,因此它根本不是科学。

然而,从十五世纪下半叶开始,资本主义生产关系在欧洲逐步形成,新兴的资产阶级以“文艺复兴”为号召,掀起了一场反封建、反宗教的风暴。短短的二百多年中,自然科学也伴随着资产阶级的登上历史舞台,以神奇的速度发展了起来。

激烈的斗争产生杰出的人物,科学巨人接连不断地出现。

十六世纪上半叶,波兰的天文学家哥白尼(1473—1543),创立了“太阳中心说”,给予经院哲学、教会统

治以沉重的打击。这一学说明确提出,地球绕轴自转,地球和别的行星都绕太阳公转。它把被宗教教义所颠倒了客观规律重新颠倒了过来,引起了人类宇宙观的巨大革命。哥白尼体系成为近代自然科学诞生的标志,古典力学创立的先声。

继哥白尼后,意大利哲学家布鲁诺(1548—1600),积极宣传无神论和宇宙无限论。最后他虽然被教会极其野蛮地火焚于罗马的百花广场,但他的牺牲激起更多的志士为捍卫科学与真理而奋斗。

首先挺身而出的,是与布鲁诺同一国籍的物理学家和天文学家伽利略(1564—1642)。他严正宣告:神干涉不了世界上的事物;自然界的一切,都是按照自然的规律发展的。伽利略坚决主张运用科学实验和数学方法,去认识自然现象的原因和规律。他的科学论著,对后人发生了深远的影响,本人也成为古典力学和近代实验物理学的先驱者。

十七世纪初,德国天文学家开普勒(1571—1630,又译“刻卜勒”),也通过长期的研究,提出了行星运动三定律,对行星运动进行了正确的理论描述,为后来牛顿在这方面作出定量的、动力学的解释打下了基础。

与伽利略、开普勒差不多同时,英国哲学家弗兰西斯·培根(1561—1626),对自然科学的研究方法,也进

行了一场思想革命。他创立了唯物主义的经验论，成为近代实验科学的真正始祖。培根把蔑视经验的教条主义者，比作只会从肚子里抽丝的蜘蛛，把只知道搜集个别事实的经验主义者，比作庸庸碌碌的蚂蚁；提倡科学家应该成为蜜蜂，既会采集，又会整理，进行理论加工，酿成科学的“蜜”。他制定了完整的认识的归纳法，对于实验科学的发展起了重大的作用。

此外，也就在同一时期，英国医生哈维（1578—1657）发现了血液循环；法国数学家笛卡儿（1596—1650）创立了解析几何学……

这—个自然科学风云际会的时代，牛顿正好碰上了：他诞生的1642年，就是伽里略去世的那—年，距培根和开普勒的去世也不过才十多年。

牛顿的父亲是一个普通农民，在儿子出生前三个月就因病去世了。母亲生下牛顿这个遗腹子，只有三磅重，真有点担心他活不成，结果总算活了下来。两年后，母亲改嫁给邻村的一个牧师，牛顿只好随着外祖母一起过日子。

在小学读书时，牛顿的资质平常，学习成绩一般。但是他对于手工制作的兴趣很浓，外祖母给他的零用钱，他舍不得乱花，攒下来全买了锤子、锯子、钳子，成天敲敲打打。比如，他看到太阳光下的—人影，会随着时

间的改变而移动，便兴致勃勃地做了一个日晷〔guǐ 轨〕——四周有刻度，中间竖一根小棍，从小棍的影子所指的刻度，可以知道几点几分钟。

十二岁那年，牛顿进了格兰汉镇中学。他在那里继续发展了对于手工和机械方面的爱好。格兰汉镇上有一座高大的风车，人们安装它是为了利用风力来磨面粉。牛顿从学校回来走过，老是仰着脖子用心地瞧着风车的转动，一天、二天、三天……不久，他就照葫芦画瓢，也做了一架小风车，风一吹，叶片转动，加一点麦粒进去，就能象大风车一样磨出面粉来。风车没有风不能转动。牛顿就用铁丝做了一个圆圆的轮子，里面



小牛顿研究风车转动

关了一只老鼠。老鼠踩动轮子，磨子飞快地转起来，居然也能磨出面粉。牛顿开心地把这称做是“老鼠开磨坊”，还常常向人抱怨：这个磨坊老板是个贼，总是把送去磨的麦子吃个精光。

牛顿还曾根据“滴漏”的原理，做过一只水钟：水从放在高处的容器中，一滴一滴地漏出来，滴到放在低处的容器里，从容器壁上的刻度，可以读出是多少时刻。他又教同学们做风筝，并把一只纸灯笼点了火，系在风筝尾巴上，夜里放到高空，村民们竟吓了一跳，还以为出了一颗扫帚星呢——那年月，人们是把扫帚星看作为不祥之兆的。

格兰汉镇中学的校长斯托克斯，是剑桥大学的毕业生，他很注重学业，常常责备牛顿不用心读书。牛顿自己，也从所爱好的手工活动中懂得，学好了功课，特别是数学，对于制作机械是多么的有益处。从此，他学习用功了，并且终于取得了较好的成绩。

大约在牛顿十五岁时，他的继父也去世了。应母亲的要求，牛顿弃学回家，帮助做农活。可是这时的牛顿，已经对书本发生了非常浓厚的兴趣。放羊的时候，他看书入了迷，羊吃了邻家的庄稼，也不知道。赶集的日子，母亲叫他去卖东西，他坐在篱笆底下，头也不抬地读书，结果什么都没卖掉，回家挨了一顿骂。

牛顿还喜好寻根究底。有一次，他听到外面大风怒吼，脑子里就产生了一个问题：“风的力量究竟有多大呢？”他就跑出门去，独自在暴风中，先顺着风走，再顶着风走，看看快慢相差多少，然后计算出风的力量。计算的结果当然不会是精确的，但从这件小事也可以看出：小牛顿确实有一股“牛”劲儿。

这样聪明好学的孩子，怎么忍心让他失去上学深造的机会呢？1658年，斯托克斯校长劝牛顿的母亲让牛顿再到格兰汉复学，并且愿意在经济上给予资助。



牛顿在暴风中研究风力

母亲终于答应了。于是，牛顿高兴地重新进了学校，并在那里刻苦攻读了三年。留存下来的牛顿少年时代的几本笔记表明，他那时就对配颜色、几何问题、太阳时钟的理论、甚至哥白尼的太阳中心说等等，有了浓厚的兴趣。在这期间，斯

托克斯以父亲般的心情把牛顿列为学校的高材生，他非常赞赏牛顿的才华，并教导其他学生应该好好向牛顿学习。

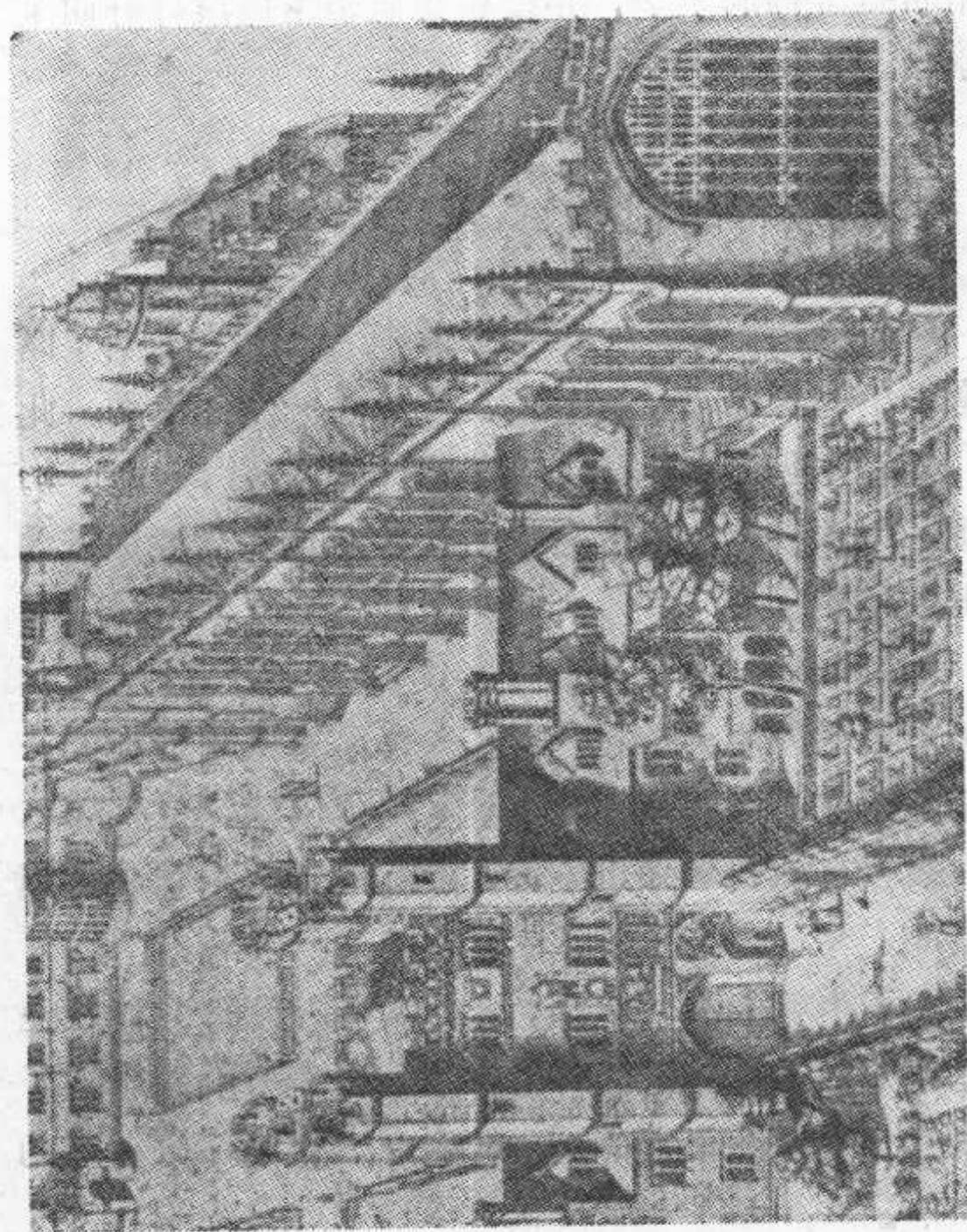
二 完成微积分

1661年，牛顿十九岁，他由斯托克斯校长推荐，以清寒学生的身份，进入剑桥大学的三一学院读书。此后，一直到他五十四岁赴任造币厂职务，才离开那里。牛顿一生中最有价值的科学活动，便是在剑桥进行并获得成功的。

剑桥大学与牛津大学齐名，创立于十二世纪，是英国历史最悠久的大学之一。三一学院是其中最大的一所学院。它的名称从“三位一体”^①的宗教教义而来，但在教授自然科学知识方面，在当时却算得上是首屈一指的。

关于牛顿的大学生活，材料不多。我们只能从他自己在笔记本中的记载，知道牛顿在大学期间，学习了古代数学家欧几里得的《几何原理》，熟悉了哥白尼的

^① 三位一体：基督教的主要教义之一。该教称上帝（或称天主）只有一个，但包含圣父、圣子、圣灵（或称圣神）三个“位格”；三者又结合于同一“本体”，故名。



英国剑桥大学三一学院，牛顿的房间在二楼

太阳中心说，研读了开普勒的《光学》、笛卡儿的《几何学》，此外，他还学过拉丁语、希腊语，研究过音乐理论和圣经。值得一提的，倒是他同数学家伊萨克·巴罗(1630—1677)的友谊。巴罗是牛顿的导师，博学多才，先后担任过希腊文、哲学和数学教授，当英王查理二世于1672年任命他为剑桥大学三一学院院长时，甚至称赞他为“欧洲最优秀的学者”。巴罗同中国传说中的伯乐一样，有一双识别天才的慧眼，他很快就发现牛顿对于当时自然科学和数学的尖端成就有着快得出奇的理解能力，是个不多见的人材，于是便将自己所掌握的数学知识，悉心传授给他，其中包括对于计算被曲线所包围的面积的研究——后来，这一类问题，便包含在被人们称做微积分的数学方法中。

四年后，1665年，牛顿大学毕业，获得了学士学位。这时，他对于数学和哲学，真是专心致志到了极点，而且异乎寻常地善于思索。因此，当他由于1665—1666年欧洲发生鼠疫大流行，学校停课，而不得不离开剑桥，回到故乡暂住时，各种奇思妙想，就如泉眼里的泉水一样不断地喷涌出来。这短短的两年，是牛顿一生中科学发明的全盛时代。

牛顿一生的科学发明，成就最大的，是数学、光学和万有引力定律三个方面。而这三方面的成就，都是

在僻居故乡时打下的基础。

这一节我们就先来谈谈他的数学成就，因为在故乡躲避瘟疫期间，数学发明正是牛顿的主要成果。

谈到数学，人们往往有这样的说法：牛顿发明了微积分。

其实，这种说法并不完善。在牛顿以前，早就有笛卡儿、费尔玛、巴罗等人，研究解析几何，把变数引进数学，对微积分问题进行了探索；与牛顿同时，德国数学家莱布尼茨（1646—1716），也独立进行了微积分的研究。所以应该说，微积分是由牛顿和莱布尼茨大体上完成的，但不是由他们发明的。

微积分是近代自然科学与工程技术中一种基本的数学工具，是大学理工科必修的一门基础课程。这里，我们不妨用比较通俗的语言，将微积分作一个粗浅的介绍。

大家知道，在初等数学里，匀速运动着的物体，其速度、距离和时间三者之间的关系是：距离 = 速度 × 时间；速度 = 距离 ÷ 时间。

这是一个简单的数学表示式。它之所以简单，就因为在这里物体是被假设为作匀速运动的，它的速度，是一个常量。

但在事实上，绝大多数物体运动的速度，并不是均

匀的,而是有变化的;并不是常量,而是变量。

比如,从楼上窗口掉下一块橡皮,它的初速度是零;但在落下的过程中,由于重力加速度的作用,它运动的速度将越来越快;落到地面时,达到了最大值。这块橡皮的速度是逐渐增加的,是个变量。

假如地面上的人,将这块橡皮捡起来,抛回给楼上的朋友,就必须用一定的力,给这块橡皮以一定的初速度。橡皮在向上运动的过程中,由于重力加速度的方向同初速度的方向相反,所以速度渐渐减慢,它也是变量。

速度是变量,就不能只用简单的“速度 = 距离 ÷ 时间”这个公式来计算了。因为用这种方法,根本无法计算出物体运动到某一点时的瞬时速度,而只能算出它的平均速度。

自由落体或上抛物体速度的变量,只是单纯的匀加速或匀减速运动,实际生活中遇到的变量问题,更加变幻莫测。比如一辆汽车,由城东开往城西,它从发动开始,一路上不断变速,忽而快些,忽而慢些,遇到红灯停车,换了绿灯再行;关于它的速度的变量,显然还要复杂。

牛顿就是考虑到了速度的变量,建立了微积分的计算方法。

在牛顿看来，速度既然表示运动物体在单位时间内所改变的距离(速度 = 距离 ÷ 时间)，那么，截取它在运动中的某一个极短时间，并考察它在这一个极短时间内所移动的微小的距离，然后，用这个微小的距离去除以这个极短的时间，不就可以得到它在这一瞬间内的速度了吗？

确实，这是可以表示物体运动过程中某一瞬时速度的。

用同样方法，还能得到与这一瞬时相邻近的，即此前和此后的瞬时速度。比较它们的大小，便可以知道速度的变化率。

这样，速度的变量和变化率，就不但可以表示，而且可以计算了。

微积分便是计算变量和变率(变化率)的特殊数学方法。由变量计算变率的，称为微分；由变率计算变量的，叫做积分。微分和积分，是一对逆运算，就象加法和减法、乘法和除法互为逆运算一样。

诚然，上面只举了速度变量的例子。因为牛顿恰恰是从研究力学出发，考虑了速度的变化，从而建立了微积分计算方法的。事实上，变量问题在自然科学领域里比比皆是。莱布尼茨就另有侧重，他由切线概念出发，展开了对微积分的研究。

莱布尼茨的方法,说得简单一点,便是在曲线中截取极短极短的一段,将这段曲线看作是一条与曲线相切的近似直线段。这样,相邻切线线段的变化,也就相当于那一段曲线的变化。莱布尼茨认为,在计算被曲线包围部分的面积时,可以将它们分成无限多个极小的矩形,这无限多个极小矩形面积的总和,即近似等于被曲线包围部分的面积。由此也可见,牛顿与莱布尼茨,在建立微积分上,确实有异曲同工之妙。

此外,关于微分的数学符号,以速度变量为例,牛顿用的是 $\dot{s}$,莱布尼茨用的是 $\frac{ds}{dt}$;而微分的一般数学式,牛顿写作 $\dot{x}$,莱布尼茨写作 $\frac{dx}{dy}$,并用 $\int$ 表示积分符号。莱布尼茨的写法比较明瞭,所以现在国际上通用的微积分符号,便是莱布尼茨发明的 $\frac{dx}{dy}$ 和 $\int$ 。

关于发明微积分的优先权,从牛顿和莱布尼茨在世时开始,就发生了争端;很快,欧洲大陆和英国的许许多多科学家,都卷入了这场长期、复杂、尖锐的论战,甚至各用各的符号,各有各的发展。这个关于发明权的争论,并没有实际的意义,恐怕也永远不会得到圆满的解决。虽然牛顿关于微积分的著作,正式发表在1704年,莱布尼茨的却发表于1684年,但牛顿在1665、1666

年写的论文手稿中，已经清楚地论述了微分的概念与方法。总之，他们是独立进行了关于微积分的研究，并取得成果的。

微积分的产生，是数学发展中的重要里程碑。从此，过去需要用特殊技巧分别处理的一些困难问题，就可以用一般性的解决办法，即微积分，来进行简单易行的运算了。正如我们今天所知道的，现代理工科学以及工程技术，可以说没有一门离得开微积分。就是牛顿本人，一方面，他由研究力学而着手完成了微积分；另一方面，他也运用微积分，在光学、力学等物理学领域里，作出了新的重大的建树。

三 光学上的成就

鼠疫在英国猖獗了两年，仅伦敦市就死了七万人。到了1667年，总算平息了。就在这一年的春天，牛顿重返剑桥，成为剑桥大学的一名研究员；第二年，得了硕士[shuò]士学位。1669年，巴罗教授认为牛顿的造诣和才能都在自己之上，于是毅然辞去了剑桥大学卢卡斯讲座的物理数学讲席，把它拱手让给了自己的学生牛顿。从这年开始，牛顿担任了教授，成为剑桥大学公认的大数学家。

然而，牛顿走上讲台，向大学生们讲的第一门学科，却不是数学，而是光学；他发表的第一篇正式的科学论文，谈的也是光学。

光学固然不是数学，但是牛顿将数学看作是研究和了解自然的钥匙，他认为，光学的研究同其他许多科学一样都有赖于数学。所以，当他在微积分方面迈开了卓越的一步后，将注意力放在物理学——光学上，也就可以理解了。

牛顿在僻居故乡期间，曾磨制了一些各种形状的光学透镜，其中有一块三棱〔léng〕镜。他用它们进行光学实验。牛顿所以要这样做，原因就如他后来在《光学》一书中开头所写的那句话：“我不准备用假说来解释光的属性，而是用理智和实验来提出和证明它们。”

三棱镜是一个截面成三角形的透明的玻璃柱体。在牛顿以前，一位捷克医生马尔西（1595—1667），曾经作过这样的实验：他使一束白光透过三棱镜，白光被散射成赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色；但如果在其中任何一种颜色（比如红色）的光线面前，再放一个三棱镜，那么，透过它的光线，就依然是这种颜色（红色）。

牛顿扩大了这个实验。他布置了一间暗室，只在窗板上开一个圆形的小孔，让太阳光射入。在小孔面前放一个三棱镜，对面的墙上，立即出现了鲜艳的、象虹一