

Shi Jie Ming Ren Ming Jia Ming Zhuan

Shi Jie Ming Ren Ming Jia Ming Zhuan

中外名人传记百部

ZHONG WAI MING REN ZHUAN JI BAI BU

Shi Jie Ming Ren Ming Jia Ming Zhuan

牛顿传

Shi Jie Ming Ren Ming Jia Ming Zhuan

Shi Jie Ming Ren Ming Jia Ming Zhuan

Shi Jie Ming Ren Ming Jia Ming Zhuan

Shi Jie Ming Ren Ming Jia Ming Zhuan

北京圣碟科贸有限公司制作

Shi Jie Ming Ren Ming Jia Ming Zhuan

世界名人传记

牛 顿 传

X X X 编著

目 录

一、科学巨匠的人生轨迹.....	002
二、站在巨人的肩上.....	030
三、发现与丰碑.....	062
四、巨著与影响.....	112

一、科学巨匠的人生轨迹

牛顿于1643年1月4日生于英格兰林肯郡一个小农家庭。他的父亲艾萨克·牛顿在结婚后几个月去世，比他的祖父的去世时间晚一年，只活到36岁，留下怀胎仅3个月的牛顿。他的母亲哈丽特·艾斯科在丈夫去世后终于生下既小又虚弱的牛顿。

关于牛顿的生日，还有一种普遍的说法是在1642年12月25日。这是按古罗马儒略历计算的。而儒略历平均每年365、25天，与回归年之差逐年积累，到1582年已相差了10天，以至使春分从3月21日提前到3月11日。因此罗马教皇格利高里在1582年宣布修改历法。但是，那时处于宗教改革年代的新教国家认为这是罗马教皇的阴谋，目的是要恢复罗马教廷的统治，拒绝更改历法。英国当时已宣布脱离罗马教廷，成立国教，因此不行新历，所以牛顿的生日，在当时是按旧历即儒略历计算的。后来，英国也改用了新历，即今天采用的历法，因此牛顿的生日应为1643年1月4日。

牛顿的家位于一个美丽的山谷中，在维萨姆河的左侧，以附近的清澈泉水闻名。在他生下后，除家中

每年可收益 30 英镑的房租外，在伍尔兹索普东南约 6 公里的苏斯特恩还有一处房舍，他们每年大约可收入 80 英镑。这些就是他们生活的主要财源。

牛顿 3 岁时，他的母亲与北维萨姆的教区长 R·B·史密斯再婚，把牛顿交给外祖母抚养，稍大后，牛顿先后进入斯基林顿和斯托克的全日制学校读书。

12 岁时进入格兰山姆的公立学校，寄住在药剂师克拉克的家里。牛顿那时不大注意学习，成绩很差，有一天他被一个高年级的学生恨恨地踢了胃部一脚，十分疼痛。从此，他发奋学习，直到他的成绩超过了这个学生，并成了最好的学生。这件事对他的影响很大，从此养成了一种努力奋斗的倔强性格。他在设计和制造各种器具及机械方面显示出才能，并藉以开阔他的视野，培养了他的创造性和埋头苦干的素养。他备有小锯、斧子、锤子和各种工具，制成过磨、水钟和可坐一个人的马车。他做的风车放在房顶上能够转动，得到普遍的赞扬，又独出心裁地制成畜力拉的风车，在老鼠尾巴上系一条线去拉。牛顿从丁·拜特的《人工与自然的秘密》一书中学到制作各种机械的方法，如水钟的原理和做法。他做的水钟高 1、22 米，钟盘由滴水控制木块升降所产生的力带动，放在寝室中使用，后来归克拉克使用，直到牛顿离开故乡。他做的马车有四轮，乘坐者用手柄控制。他从这些器具的

制造中，学习了机械原理和操作技能，并且在设计和构思中训练了他的创造性才能。他时常以很大的兴致给同学们以科学知识性的娱乐，如他以最佳的样式和比例制作风筝，飞翔的性能自然很好，同学们十分钦佩。他制作纸灯笼并在冬天早晨提着上学，又将它系在风筝下面，在夜晚使人们误认为是彗星。他也做过一个日晷，用以计时达几年之久，直到现在还存放在剑桥的博物馆。从这些事例可以看出，牛顿在少年时代就具有发奋图强和敢于创造的精神，及善于构思和动手实验与操作的素养，为他后来重视实验和鄙视无根据的假设与空想作风打下了基础。

1656年他的继父去世，母亲带三个孩子回到伍尔兹索普，并且把已经长大的牛顿招回家，让他务农和做买卖，但是，这时他的学业大有进步，对农事和经商毫无经验，把很多时间花费在从克拉克家的藏书中吸取知识，以致他经营的事业还不如在格兰山姆的情况好。母亲很快看出儿子种田和经商不合适，就想让他再回到格兰山姆的学校。他的舅父有一天见他拿着书聚精会神地解数学题，把他的书拿掉他都不知道，感到这样小年纪竟如此认真治学，就劝他的母亲别再耽误他的学业，送他回校读书。牛顿的舅父R·W·艾斯科是一个教区的教区长，曾经在剑桥大学三一学院学习过，决心让他的外甥进入剑桥学习。结

果，牛顿考上了剑桥大学的三一学院。

牛顿少年时期与几个女学生同住在一家里，并和一位比他小二三岁的斯托雷小姐很要好，感情较深。但是，后来，由于这位小姐的原因未成终生伴侣。她后来曾两次结婚，牛顿回林肯郡时总要去看望她，终生感情未衰，甚至在经济上给予接济。她是牛顿终生唯一萌发过爱情的女人。

牛顿在少年时期被公认为“一个头脑清醒、沉默和有思想的小伙子”。

1661年6月15日，牛顿在18岁半时进入剑桥大学三一学院，他的导师是B·普莱恩。这一年巴罗当选为希腊语教授。普莱恩回忆在1660-1664年间有包括牛顿在内的57个学生，他在开始时要将牛顿引入传统的道路。但每当牛顿找到一条新路时，他不加以限制，这使牛顿能放心阅读和另辟新径。牛顿在入剑桥之前已经学过逻辑，知道的比导师还多，魏斯特法尔认为这可能是他们之间感情不深的原因。很多著作介绍说巴罗是牛顿的导师，其实没有任何证据说明他们在1663年之前相识，只是在1664年3月巴罗的系列讲课引起牛顿的兴趣时，才对牛顿有了影响。

1661年，牛顿成为低级减费生，母亲每年供给他10英镑。

1663年，巴罗任卢卡锡数学讲座教授。

1664年，牛顿广泛阅读了数学、光学、力学、天文学和多种著名哲学著作，思路大开，思想活跃，对近代科学革命以来各种主要的科学发现如饥似渴地学习和钻研，并开始用实验和数学计算验证前人的看法和得出的结果。如买三棱镜考察笛卡尔的光学理论、首次观察彗星等。他边读边做读书笔记，写下心得和看法，这就是他的《三一学院笔记》，直延续到1666年。

1664年4月28日，由于导师普莱恩向巴罗介绍牛顿的出色成绩，巴罗发现他的欧氏几何知识不多却对笛卡尔的几何相当了解，他虽然有些看法却决定给予牛顿公费生的待遇。按当时剑桥大学规定，每三四年授予一次学士，即在1661、1664和1668年，如果牛顿这次落选，他在剑桥留下来几乎是不可能的。他从此结束了减费生的生活，得到的收入多了一些，更重要的是他可以有保证地读到1668年，取得更高的学位。

1664年后期，牛顿用三棱镜发现太阳光谱为红、黄、绿、蓝和紫五色，发现白是各种颜色的混合物，并提出各种颜色是由不同折射率的光形成的，这与笛卡尔的颜色由不同旋转速度的小球产生的不同。

同年冬季，他发明根据极限概念做曲线和求曲线

上任意拐点曲率的方法，及提出化任意次方二项式为近似级数的规则等。

1664年是牛顿开始他的科学生涯、进行知识准备、思想活跃、相信原子论和在光学与数学上开始发明与发现的一年，这一年对于他后来的发展起了决定性的作用。

由于这时牛顿还没有或至少没取得出色的科学成就，使他在1664年或1665年的一次三一学院研究生特别奖学金的竞争中失败。当时，候选人有两位，一位是牛顿，另一位是尤维代尔，院长巴罗感到二人学识完全相同，就把这笔奖学金给了尤维代尔。

1664年9月牛顿开始写《流水账》，这是他的继父过去写的账本。从1665年1月起将他在动力学和数学等方面的新见解和发现记在这个账本上。其内容主要有离心力定律、运动三定律的早期点滴想法、力的定义、物体碰撞等。在他早期的力学研究情况和成果记载的重要史料中，包含着 he 后来的几个重大力学发现：离心力定律、运动三定律和力的定义等的思想萌芽。同月，获三一学院学士学位。

这年，牛顿发明二项式定理并给出了系数关系图表，至秋天列出了系数关系代表式。关于流数，即微分的发现，牛顿以动力学观点研究曲线上一点的运动速度，使他运用极限概念发明了流数。在1665年

中期已经具有了积分及微分概念并列出了积分表。并且，把积分法称作“流数法的反求法”。

这年夏天，剑桥流行疫症，牛顿回家乡伍尔兹索普，这是他一生中创造力最旺盛的时期，不但有许多发现，而且后来发现的思想基础和初期想法也是这时产生的。在1665年和1666年他在《流数的介绍》和《用运动解决问题下述命题是充分的》中，系统介绍了流数、积分和解流数方程的方法及公式图表。在光学上发现水泡等薄膜上的光环，研究视觉理论和颜色理论。在力学上，证明了圆轨道上的引力平方反比关系，并试图论证和用地-月检验椭圆轨道上的引力平方反比关系，但失败了。

1667年4月22日，牛顿从故乡回到剑桥，10月当选为三一学院管理委员会的低级成员。

在1668年3月16日，牛顿获高级研究生奖学金，7月又获硕士学位。牛顿帮助巴罗修改了他的光学讲稿，牛顿认为他对颜色的性质和来源的看法是错误的和非科学的。巴罗的看法是：白色是释放充足的和各向同样清楚的光，黑色是根本未放出光，红色是放出比通常更清楚的却被阴影隔断的光，蓝色是释放稀疏的光。因为构不成一个理论，牛顿不能同意他的老师和朋友发表它。牛顿制成一台小型反射式望远镜，长约152cm，放大40倍，因为没有色差，比

折射式的清晰，因此他能够观察到木星及其四个卫星、金星和月球面山谷。大约1688年8月，他开始进行炼金术研究，去伦敦买化学药品，并用15先令建造了两个炉子。

1669年，牛顿写出了《论用无限项方程所做的分析》的长篇手稿，系统地总结他过去的流数和二项式定理研究成果，在6月他把这篇论文手稿交给巴罗，巴罗在20日给考林斯的信中称赞说：“这是住在剑桥的一位朋友的作品，他对于这个问题有优秀的才能”，并在下月底寄给了考林斯。考林斯抄了一个副本后退还给巴罗，并且在信中告诉了他在英、法、意和荷兰的许多朋友，因而在后来微积分发现权问题上，产生了莱布尼茨是否从这些通信中知道甚至看到考林斯抄本的争论。

在1670和1671年之交的冬天，牛顿又写了《级数和流数计算方法》，于1736年由科尔逊译成英文发表，并加了评注。牛顿任卢卡锡讲座教授后，选择光学作为他就职的系列讲课，在1670-1672年系统讲授了折射光、光和颜色的新理论及太阳光谱。《光学讲义》是《光学》的前奏，1729年以英文本发表，1784年夏皮罗将其分两册重新发表并加评介。

1671年，牛顿的反射望远镜的优越性得到皇

家学会的重视，让他送到皇家学会进行考察，12月交给奥登伯格。

1672年1月11日，通过皇家学会，牛顿的望远镜已呈送国王观看，并经该学会主席考察。牛顿在剑桥的光学讲课中所讲的光的不同折射率决定颜色的理论，至这一年初才被皇家学会知道。但是，发明反射望远镜却使他出了名，这促使天文学家瓦尔德在1671年12月23日提议选牛顿为皇家学会会员，并且说在当天皇家学会通过接受牛顿为会员。2月8日牛顿应邀在皇家学会宣读他的《关于光和颜色的理论》论文，并在19日发表在《哲学会报》上。在2月15日举行的讨论会上，胡克在讲话中肯定了牛顿的光学实验，却以自己的光波动说批评牛顿的光微粒说和因折射率不同说明颜色的观点，在不久后的会议上胡克甚至还批评了牛顿的反射式望远镜，并且在《哲学会报》上发表批评文章。从此，产生了科学史上著名的光的波动说与微粒说之争。9月，牛顿又制成一台大型的反射式望远镜。

1673年1月，莱布尼茨访问伦敦，牛顿学派后来认为他可能在考林斯那里看到牛顿的《分析》一文的抄本，使微积分发现权问题更加复杂化。在1673-1676年间，法国的几位科学家如惠更斯等发表文章，反对牛顿的色彩理论，使牛顿对笛卡尔的

以太旋涡说之争扩大到笛卡尔——惠更斯学派。

1674年左右，牛顿写《论空气和以太》一文，明显表现出牛顿在“压力”下向以太说开始妥协。这种倾向在牛顿于1675年12月7日给奥登伯格的信中表现得更为明显，他提出“一切起源于以太”这一说法。由于几年来牛顿在皇家学会会议上演示了多次光与颜色等实验并论证，胡克承认了他从1672年2月以后提出的基本颜色只有红和蓝两色而反对七色谱是错误的。

1676年10月，莱布尼茨第二次到伦敦，看到牛顿在1672年8月20日写的一个数学手稿的抄本，并抄了一部分。

牛顿在1679年2月28日给波义耳的信中，系统地提出用以太压力差效应说明引力。

1679年11月24日，胡克写信给牛顿请他再过问动力学问题，在1680年12月18日之前各写信四封，显示出胡克在物体向地心落下的径迹问题上纠正过牛顿的看法。胡克虽然在他的第三封信中谈到落体受到的引力与距离的平方成反比，却并没有用到天体上并加以证明。

同年5月以后，牛顿因母亲重病和去世，三次返回故乡。由于他是遗产处理的执行人和主要继承者，花了一些时间料理遗产和家务问题。

1684年1月，哈雷、雷恩和胡克在雷恩家中，哈雷提出讨论向心力与距离的平方成反比例减小问题，胡克说他已经证明过，但说等别人都证明不了时他再证明，雷恩打赌说限他们二人两个月期限，但胡克一直未拿出过证明。同年8月，哈雷到剑桥访问牛顿，问他能不能证明遵守这个比例运行的天体的轨道是什么？牛顿回答说是椭圆，并说有人在1679年已经证明了，但却拿不到这个手稿。在10-11月间牛顿写了《论运动》手稿六种，还有一种是讲义。他在11月交给帕格特带给哈雷的手稿用几乎和求极限法证明了引力平方反比定律，第一次提出了向心力概念定义，为将离心力定律用于引力理论解决了关键问题。牛顿在《论流体中的球体运动》手稿中，提出运动五定律，其中没有现在众所周知的运动第三定律。稍后，他在《论均匀可变形介质中的物体运动》手稿中，第一次定义绝对时间、相对时间、绝对空间和相对空间，提出运动第六定律。其中前三个就是现在的运动三定律。再后，在《论物体的运动》手稿中，他提出质量定义为由密度和大小共同产生。在11月左右写的《论运动讲义》中，定义质量为“物质之量由密度和大小共同产生同一量度”。约在同年底，牛顿发现太阳也并不位于太阳系行星的焦点上，而是在太阳系各天体的共同重心上，二者稍有些差异。

10月，莱布尼茨在《学术学报》上发表微分原理，未提到牛顿的作用。1686年他发表积分原理并看作自己的发明，因而埋下其优先权争论的导火线。

同年底或1685年初，确定了运动三定律，初春又发现了万有引力定律，这两个重大发现分别第一次出现在《原理》的《运动定律或定律》第一卷中。

1685年初春牛顿开始写《原理》第一卷，至6月写完；7月开始写第二卷，至1686年11或12月之前写完；第三卷于1687年3月写完。哈雷于1687年7月5日通知牛顿《原理》出版。

1687年4月28日，胡克在皇家学会向该学会的副主席J·霍斯金斯提出万有引力定律的发现权问题，哈雷于1686年5月22日给牛顿的信中，将胡克要求发现权问题和希望牛顿在《原理》序言中提一下他的作用告诉了牛顿，从而引起牛顿很大意见和在信中一再说明，并且拒绝在序言中提胡克，而只答应在第三卷之后将胡克与别人一起提及一下。

1688年，英国资产阶级革命胜利，建立君主立宪政体，20多年以来倾向清教伦理和辉格党并在政治上采取超脱态度的牛顿，感到心情舒畅，拥护新政权。在剑桥选举三个代表参加上议院时，他以122票(第二名)当选，并在维护剑桥大学的独立性方面做出了贡献。

1690年11月之前，经多年研究旦以预言书和圣·约翰启示录，写了揭露罗马教廷从根本上背叛基督的原始教义的《关于旦以预言书和圣·约翰启示录的意见》一书，此书大约写于1690年11月之前一段时间。根据牛顿在同年11月14日给朋友的一封信来看，其目的是为了反对和批判罗马教廷对教义的歪曲并造成大量罪孽。为此，牛顿在这封信中做了说明和进一步的论述。这两封信由于教会审查很严被M·克勒克搁置起来，到1754年以《艾萨克·牛顿爵士给M·克勒克的两封信》为名在伦敦发表，但不完全，并且错误不少，在1785年霍尔兹博士以一封信的形式发表了一本与原著相近的版本。1733年在伦敦发表了《关于旦以预言书和圣·约翰启示录的意见》。

1691年12月30日，波义耳去世，他在遗嘱中提出每年捐献50英镑以设立一个讲座，每年在大主教区的一个教会讲八讲，说明对基督信仰的证据，反对不信仰的证据，并反对不信仰的理由。本特雷被任命主持这个讲座，他毕业于剑桥大学的圣·约翰学院。第一年的八讲是《驳倒无神论》，用心灵的能力证明神的存在，特别在第七、八讲中他从宇宙的物质组成论证上帝的存在。但是，在这个系列讲演发表之前，他遇到一个困难，这就是从卢克莱修从物质内在

的重力推导出的宇宙结构出发，对宇宙的永恒性所做的论证引起的困难，本特雷无力解决而向牛顿提出一系列问题。牛顿愿意考虑这个题目并在著名的牛顿给本特雷的四封信中，将他的意见告诉了本特雷。

1692年1月初的一天早晨，牛顿到剑桥大学的礼堂做礼拜时，因为忘记熄灭蜡烛，摆在桌上的光学和化学手稿及其他论文被烧掉，他几乎一个月昼夜不宁，十分懊丧，并着手重写光学手稿。

1692年9月中旬开始，牛顿因神经错乱曾五夜不眠，吃不好，睡不香，头脑和思维失常。1693年10月5日他在给J·洛克的信中说：“两个星期来每夜没睡过一小时，五天没闭过眼。”牛顿给本特雷的四封信刚好就在这期间写的，虽然可能写于神志清醒的时刻，但是在这种病魔缠身和神志时清时乱的情况下，他的有些关于神和上帝作用的话可能掺杂宿命论的色彩。至1694年中期，他已能了解他的《原理》，探讨月球理论，去格林威治天文台了解观察月球的大量数据。

关于牛顿这一年多“灾难”的病因，他在1693年9月给J·洛克的信中说：“意见是你竭力以妇女和用其他办法给我添麻烦，我受到这样大影响……并且为了描述你在道德基础上进行的打击，……这个道德基础是在您的理性一书中奠定的和计划在另一本

书中追求的原理，我认为您是一个霍布斯主义者。”可见，牛顿提到了道德问题上很不愉快的原因。考虑到胡克在1692年又向皇家学会提出万有引力定律的发现权问题，《原理》在发表后虽然得到惠更斯和莱布尼茨的部分好评，但同时他们对万有引力、粒子说提出批评并维护以太旋涡说，由于《原理》中基本上不提上帝创世和孕含的“反神创论”倾向而受到宗教界和唯心主义科学家的广泛抨击与反对，特别是《光学》手稿的失火等，都使牛顿受到很大压力。在这些问题上引出的苦恼，再加上“道德基础”上的不快，使性格内向和性情孤僻的牛顿因思想上的过度苦恼而导致神经衰弱和失常，可能是其重要原因。

牛顿担任两届上议院议员后，在1695年的第三届选举中落选，离开上议院。

1696年3月19日，牛顿收到蒙塔格的信，通知他已被任命为造币局的监督。蒙塔格也毕业于剑桥大学三一学院，并曾与牛顿同时任上议院议员，在80和90年代初曾在国家金库、国库任领导职务，在建立英格兰银行中起过重要作用。他曾引进改铸货币技术，对牛顿的化学和冶金研究深有了了解，曾向牛顿和哈雷咨询过货币重铸问题，在欧弗顿由造币局监督调任海关检官时，他立即推荐牛顿继任，牛顿在两年内完成重铸任务。因此，在1699年任造币局局

长，直至去世前不久。他写了关于货币的报告，其中画了国外货币化验成分表，附在一个古代货币及其重量和量度的表格之后。此外，他负责对全国货币管理、监督、查询和对伪造货币的检查与起诉。在任负责人之后，先后推荐哈雷任金库的主管和他的老友 D· 格利高里为苏格兰与不列颠货币交换的总监督。

大约从这一年开始，牛顿在本特雷的建议和推动下，修改《原理》第一版，在多处做了重要修改并写出手稿。并在这一年开始研究年代学和古代史，改进光学和月球理论。

1699年在任造币局局长后，他推荐惠斯顿继任卢卡锡数学讲座教授并实际任教。同年2月，他被法国科学院选为国外院士，在11月30日当选皇家学会理事会成员。同年，住在伦敦的瑞士数学家法蒂欧向英国皇家学会呈交一篇论文，文中提出牛顿是微积分的“第一个发明者，并且领先了好几年，而莱布尼茨这第二个发明者是否从别人那里搞了什么东西……我宁愿有我自己的判断”。

在1701年牛顿又一次当选剑桥的上议院议员，12月10日辞去剑桥大学的卢卡锡数学讲座教授，由惠斯顿正式接任。

1703年3月3日，胡克的去世和历年的理事会成员的缺位，为牛顿当选皇家学会主席去掉了一个

障碍。11月30日，牛顿当选皇家学会主席，从此一直连选连任到他去世，达25年之久，按5年一届计算，共5届，成为英国皇家学会史上任期最长的主席。他在任期内，根据造币局的经验，主要搞管理。在一般情况他总是出席理事会和皇家学会会议，并参与管理和讨论具体学术问题。I·B·柯恩称他“以铁腕统治皇家学会”，他被认为是皇家学会历史上最负责和搞得好的主席之一。

1704年，牛顿的《光学》英文版发表，并附《疑问1》至《疑问6》。

1705年4月16日安妮女王及其丈夫乔治亲王访问剑桥大学，在三一学院院长本特雷居住的三一学院公馆内举行宫廷会议，授予牛顿、该校副校长艾里斯和蒙塔格三人以爵士。这是英国第一次给科学家封爵位，从此，牛顿的名声从科学界走上了社会。这一年上议院解散重选，牛顿以第四名落选，原因是他离开剑桥，影响减小。同年，莱布尼茨在《学术学报》上匿名发表评论牛顿的光学的文章，暗示牛顿的流数是将他的微积分改头换面的产物，从而又酝酿着一次争论。

1706年，牛顿委托S·克拉克将《光学》译成拉丁文出版，附有《疑问7》至《疑问16》。

1708年，牛津大学天文学家凯尔在《哲学会

报》上发表两篇文章，一篇是关于微积分的最早发明者，对莱布尼茨提出指控。莱布尼茨因此提出控告，要凯尔公开向他道歉。

1709年前，本特雷一再敦促牛顿发表《原理》第二版，并推荐剑桥大学的普留姆任讲座教授，青年物理学家 R·科茨负责修改和出版，牛顿对他表示信任。

1710年，莱布尼茨发表《关于上帝善行的自然神学论著》一书，反对牛顿的引力理论和原子与虚空观点，并第一次提出牛顿的引力传递思想是“超距作用”，强加于牛顿，从此此词被规范化，此外，他认为牛顿提出绝对时空就是无视上帝创世。这一年，贝克莱主教发表《人类知识原理》一书，认为牛顿的绝对时空说法是反对上帝创世，说微分是“逝去的量的鬼魂”，用上帝的意志批驳万有引力定律，他是宗教界反对牛顿的代表。

1711年2月和3月，莱布尼茨两次写信给斯劳恩，说凯尔的错误走得太远了，要求皇家学会迫使凯尔公开声明进行中伤的意思不是他自己的，把矛头指向牛顿。作为皇家学会秘书，斯劳恩将信件向皇家学会宣读，而凯尔的答复信也在皇家学会上被宣读并抄送莱布尼茨。至12月19日，莱布尼茨又写信给斯劳恩，说凯尔攻击了他，得到了一个向上爬的称号，

而且不了解情况，莱布尼茨要牛顿表态。《学术学报》的评论员在此刊物上发表以剽窃责怪牛顿的文章，使争论的性质突变。

1712年3月皇家学会成立一个委员会，由哈雷等六人组成，4月24日写出报告，得出四点结论，内容主要是考林斯等在多年的通信中将牛顿的流数法内容告诉了莱布尼茨，1676年佩尔博士曾经提醒过后者说那是牛顿的方法，流数法与莱布尼茨的微分法除去名字和符号外完全一样，并最后肯定牛顿是微积分的第一个发明者，莱布尼茨是第二个发明者。此报告一通过后，寄给莱布尼茨一个抄本。英国王乔治一世过问此事，问牛顿何时发表答复莱布尼茨的信，于是牛顿写了一封长信。

关于《原理》第二版的发表，在牛顿和本特雷的支持下，科茨承担修改、写序言和与出版有关的工作。牛顿做了多处重要修改，对天体在轨道上运转力的确定作了补充和说明，使流体阻力理论的研究精确化、完善月球理论和二分点岁原理，并以丰富的彗星轨道计算使彗星理论更精确等。科茨说他修改约达几百处。二版的序言是先由科茨写了提纲，牛顿看过提纲却似乎未看序言全文。由于此序言中有两句关于重力与物质关系的含义模糊的话，引起一些读者特别是莱布尼茨和布卡尔——惠更斯学派的抨击和反对，他们认为

“在一切物体中发现重力属性，重力在一切物体的基本性质中占有一席之地和地球的物体中的重力性质就是认为重力是内在固有的本质属性，因而就是超距作用”。这个序言在1712年进行修改和研究之后，于1713年5月12日写成。它在不久后导致牛顿学派与莱布尼茨的又一场新的激烈论战。《原理》的拉丁文第二版于1713年发表。

1714年，根据船长和船商们希望测定海上纬度的要求，皇家学会成立以牛顿为首的四人委员会，牛顿提出四条方案，上议院一致通过。此项想法的原提出者之一惠斯顿在技术问题上与牛顿的文案有分歧。

这一年乔治一世即位，宫廷对牛顿很重视，特别是威尔士亲王及其王妃对牛顿十分敬重，并与莱布尼茨也有通信关系。1715年11月，莱布尼茨在给王妃的信中说：“牛顿的哲学不仅在物理学上是错误的，并且对宗教的利益是有伤害的。”他认为自然宗教在英国正迅速衰落，说牛顿和英国的自然神论哲学家“与那些唯物主义者完全一样”，竭力“贬低”英国哲学家的人格。莱布尼茨的攻击信在宫廷中成了话题，传到乔治一世耳里，他希望牛顿会回答。他看了关于微积分论战情况的清单后，很关心争论的哲学方面，随后就出现了莱布尼茨与克拉克之间的通信和论战问题。

S·克拉克是牛顿的学生、朋友和支持者，1705年曾受牛顿的委托将《光学》译成拉丁文并在1706年发表。莱布尼茨在给威尔士王妃的信中谈了他对《原理》的意见，王妃将信转给S·克拉克，从此他与莱布尼茨通信，来往信件各五封，后来由克拉克编辑出版，关于这些信中的观点和分歧，克拉克的看法和牛顿的看法是一样的，即原子论、绝对时空、万有引力、上帝创世后一切按自然规律运动和变化，上帝与时空是分立的。莱布尼茨的观点包括五个方面：

(1) 英国自然宗教日趋衰落，唯物主义的原理和方法的谬误是对上帝不虔诚。《原理》的作者与唯物主义者是一样的。唯物主义者和斯宾诺莎是错误的。

(2) 物质可以无限分割并充满空间，承认原子和虚空等于上帝创造非常完美的产品和从此不再需要创造了，违反充足理由律。

(3) 时空是上帝创造的，仅有创造物。时空就只在上帝的观念中。

(4) 空间是同时存在物的一种秩序，时间是物质接续位子的秩序。空间和时间是相对的。相信绝对的和无限的空间与上帝等同及空间由部分组成，客观存在的东西就不能属于上帝，上帝不能改变和毁灭它，而在上帝之外还有无限多永恒的、非创造的东西。

(5) 回转运动物体沿切线飞出去是自然的，否则

必有造物作用。因此，物体超距作用的相互吸引而无任何东西中介，这是超自然的，因为它不能通过物体的本性予以说明。

1716年11月14日，莱布尼茨去世，他与克拉克通信中断。在二者通信论战过程中，牛顿始终没有参与。

1717年4月1日，牛顿发表《光学》英文版的第二版，补充了《疑问17》至《疑问24》和《声明》。这些补充是在1706年之后，经过与莱布尼茨和笛卡尔——惠更斯学派的激烈争论，需要把一些有待进一步研究的第一批问题及各种可能想法提出来探讨，并且，鉴于莱布尼茨等一定要把重力物质的内在本质属性说成是“超距作用”并强加于科茨和牛顿，牛顿不得不提出一个声明在这一版中发表，以正视听。

1712年，《光学》第三版发表，又补充了《疑问25》至《疑问31》，特别在《疑问28》、《疑问30》和《疑问31》中，牛顿经过进一步考虑，并鉴于多年来关于引力的本质与传递机制的争论和关于光的本质与传递机制的争论情况，以及在科学思想和方法上需要进一步阐明，他综合考虑了各种观点及其可能性，作为几个问题提出来进行探讨。

在1718年，牛顿有一次同威尔士王妃谈起他

过去研究的年代学体系，她通知说在向她讲时需要一个抄本，由于只是几篇论文手稿，牛顿答应搞出一个提要送她，但要保密，提要的题目是《从欧洲事物的最早回忆至伟大的亚历山大征服波斯编年简史》。一个法国书商切瓦莱得到英国皇家特许将它译成法文出版，书名是《切瓦莱·牛顿的年代学提要》，出版后在1725年11月送给牛顿一本。在牛顿去世前，他终于写成一本编年史巨著《古王国变迁年代学——从欧洲事物的最早回忆到伟大的亚历山大征服波斯编年简史》。

1722年时，牛顿希望发表《原理》第三版，他曾多年做准备，但是他的得意助手科茨已于1716年早逝，惆怅之时偶然与一位青年物理学者彭伯顿交谈，因为编写这样一本宏著需要丰富的数学知识和对牛顿的发明与发现有一定了解。于是，牛顿与他随便谈论与这些有关的各种课题，一起看《原理》，当牛顿了解到这位还未得到硕士学位的青年对这一切有比较好的知识基础时，就深入地说明自己的发现，介绍有关的情况。熟悉不久，牛顿请他负责《原理》第三版的工作。牛顿在这一版序言中，说他是“在这类事情上极其熟练的人”。第三版对流体阻力做了更广泛的处理，补充了物体在空气中落下阻力的一些新实验，对月球因引力保持在轨道上的论证做了详细说明，

借助于对 1680 年慧星出现的观察，得出用抛物线轨道可以极其近似地描绘彗星运动，与椭圆轨道之用于行星运动几乎一样准确。第三版于 1726 年 3 月出版。在牛顿去世后，A·莫特将《原理》从拉丁文译成英文，于 1729 年出版。牛顿在去世之前已将《光学》第四版准备好，死后于 1730 年出版。

牛顿在 1722 年就感到小便不方便，当时知道是膀胱结石，无法医治，用食物疗法和其他预防方法，能减轻痛苦，甚至可长时间不痛。因此，他不再乘马车而改坐椅子外出，虽还吃一点肉，却主要喝肉汤、吃蔬菜和水果。在 1724 年 8 月，豌豆大小的结石分成两块排出来，后来好转。1725 年 1 月，他感到剧痛，小便困难，到肯辛敦居住后，又好转，至 1725 年 2 月患双脚痛风，因年老有病辞去造币局局长职务，由他妹妹的女婿 J·康杜伊特继任。

由于注意休息，肯辛敦的空气新鲜和注意疗养，牛顿在两年中病情似乎稳定下来，总想出外散散心。于是，在 1727 年 2 月 28 日去伦敦主持皇家学会会议，此后几天似乎比过去几年的情况要好。但是，因为他参加会议、出访和接待来访，十分劳累，感到很难受，就于 3 月 4 日回肯辛敦，医生诊断是膀胱结石造成的。15 日自感好些，18 日早晨能够读报并同医生长谈。但是，至晚 6 时失去知觉，20 日早晨

2时死去。牛顿，这位85岁高龄的科学巨匠，经过63年的科学生涯之后，终于走完自己为千秋万代立下丰功伟绩的一生，他的遗体从肯辛敦送到伦敦，3月28日停放在耶路撒冷会馆，然后又被移到威斯敏斯特教堂。抬他的棺材的人有H·钱塞洛尔勋爵、蒙特洛斯和罗克斯布尔公爵、彭布洛克、萨塞克斯和麦克莱斯菲尔德伯爵，M·牛顿爵士为主要送葬人，其他送葬人有一些亲友和牛顿病时熟悉的人。牧师们和教堂合唱队出席了葬礼，由洛切斯特教区的主教主持并致悼词，牛顿的灵柩在祈祷和哀歌声中，葬于威斯敏斯特教堂歌唱班入口处的左面。

1713年，牛顿的几个侄子和侄女们花500英镑，在教堂最显眼的地方建立一个纪念碑。它位于石棺的正前方，在浮雕中刻着几个青年手撑牛顿的主要发现标志：一个拿着三棱镜，另一个握着反射式望远镜，第三个正用秤来称太阳和九大行星，第四个在应用一个火炉，另两个在装新铸的货币。牛顿雕像的肘部放在他的几本著作上，两个青年站在像前，手托画着太阳系的图和收敛级数的卷轴。石棺后面放了一个从锥体中央等凸起处升起的天球，在其上画着几个星座，以便表示牛顿曾经确定的1681年出现的彗星径迹，还有希帕尔丘斯所说的二分至圈的位置，牛顿在年代学上曾用它确定阿尔哥璃远征的时间。像个

科学皇后似的一位天文学伟人在地球上手持王笏，锥体顶上装着一颗星。

1731年初，为了向牛顿表示深切的敬意，在塔上装了一枚奖章，其中的一面有牛顿的头像，并附有一句格言：“原因的知识繁荣昌盛”，反面有数学图形。从1867年法拉第逝世并葬于牛顿墓的旁边之后，牛顿墓周围便成为英国卓越科学家的墓地。在它的旁边埋葬的著名科学家有法拉第、麦克斯韦、开耳芬勋爵、达尔文、赫舍尔、卢瑟福和 J·J·姆逊等。

牛顿死后手稿的下落和遗产的分配，与他家后代宗系密切相关。他的母亲与 R·B·史密斯生了一个儿子 B·史密斯和两个女儿 M·史密斯和 H·史密斯。B·史密斯有两个儿子 N·史密斯和 T·皮尔金顿。H·史密斯的后代对于牛顿的遗产和手稿的继承最为重要，她的女儿卡瑟琳与 J·康杜伊特结婚，生女儿 C·康杜伊特，后者与 J·瓦洛普即后来的维斯康特·利明顿结婚后，生了一个女儿和四个儿子，大儿子的后代形成了著名的朴茨茅斯家族。J·康杜伊特曾是皇家学会会员和上议院议员，并继牛顿任造币局局长。他在1737年5月去世后，把牛顿的手稿传给他的女儿 C·康杜伊特。C·康杜伊特在与 J·瓦洛普结婚后的1743年，后者的父亲成为朴茨茅斯伯爵，牛顿

的手稿就成为他们家的私产，一直存放至1872年。这一年7月，他的后代德文郡公爵朴茨茅斯勋爵写信给剑桥大学副校长，表示愿将这些手稿贡献给该大学做学术研究之用。开始时说明是借，存放在该大学18年。在剑桥大学成立一个专门的委员会，负责这些手稿的整理和编目工作，至1888年发表了《朴茨茅斯论文目录》，又称为《朴茨茅斯收藏目录》，其中有书、论文手稿和信件，它对1888年之后研究牛顿及其科学思想起了很大的激发作用。但是，后来这些收藏被退给朴茨茅斯家庭，至1936年他们将牛顿的手稿拿到拍卖行拍卖，约300万字的手稿只卖了9030英镑10先令。由于凯恩斯和其他人的极力抢救，使牛顿的大部分重要手稿留在了剑桥和伦敦，还有一些保存在剑桥的国王学院。但是，少数重要手稿和信件却流散在世界几个地方，如早期的宗教手稿就在美国、日内瓦和耶路撒冷。牛顿遗留的钱，总数为340330英镑，被分给他的直系亲属的后代。关于他遗留的财产，除去他在去世前不久将在威尔特群的遗产送给他的继妹H·史密斯的女儿卡瑟琳的几个侄子和侄女之外，他将伍尔兹索普和萨斯特恩的遗产分给自己叔父的后代，将在肯辛敦的价值相同的遗产分给卡瑟琳，这笔遗产后来传给朴茨茅斯伯爵。J·康杜伊特继牛顿之后任造币局长时，为牛顿偿还了欠

造币局的一大笔债，因为当时只有他才有能力偿还。他的妻子倡议并主要由她出钱，在威斯敏斯特教堂为牛顿树立了那标有牛顿各项重大贡献图案的纪念碑。

1775年7月4日，在剑桥大学的三一学院教堂的前厅正前方，树立起白色大理石的牛顿全身雕像，它屹立在一座石基上，身穿宽松的大学礼服，手持一个三棱镜，以极深沉的神思凝视着远方。在它的右前方，陈放着弗朗西斯·培根和艾萨克·巴罗的坐式雕像。他的住处和化学实验室就在该学院大门左侧的二层小楼上，由于一直做学生宿舍而不断修整，保留至今。

二、站在巨人的肩上

在近现代科学史上，几乎所有的著名科学家和自然哲学家，尽管观点和学派不同，却都对牛顿的科学成就做过这样或那样的高度评价。著名的力学家拉格朗日对于牛顿曾经做过这样的评价：

“……牛顿是曾经存在过的最伟大的天才。”并补充说他还是那么的幸运。因为发现并建立一个宇宙系统的机会只能有一次。拉格朗日的评价恰如其份地肯定了牛顿的历史地位。能够发现拉普拉斯所说的“最伟大的宇宙”，即万有引力定律和运动三定律，并用以建立一个宇宙系统理论的机会只能有一次，这对牛顿来说是幸运的。但是，这个幸运是在特定的社会和科学背景下，只能由具备相应的科学才能、素质的人去获得。

法国著名的启蒙运动思想家伏尔泰在《艾萨克·牛顿爵士的原理》一书中，从思想史的角度对牛顿的作用做过这样的描述：

“迄今为止，牛顿的哲学对许多人来说，似乎像古代人一样深奥莫测。但是，希腊人的哲学从其产生以来实际上已经暗淡无光，而牛顿的哲学从离我们极其遥远的光芒之处升起。他已经发现了很多真理，但

是他所探求并位于深渊中的，那是必然沉于其中的，是为了把它们发掘出来并置之于充分的光明之中。”

伏尔泰将牛顿探索的科学真理和做出的一系列科学发现，看作古希腊自然哲学繁荣之后的新起点，这个起点就是将沉积的埋藏于深渊中的科学真理发掘出来并展示在光明之中。18世纪英国著名诗人阿历克山大·蒲柏在其颂诗中有这样两句名言：

“自然和自然规律隐匿在黑暗之中。” “上帝说：让牛顿降生吧，则一切就有了光明。”

这两句名言后来被包括瓦维洛夫院士在内的很多科学家和科学史学家引用。

牛顿是近代科学革命的完成者和经典力学与天体力学的主要奠基人，他是微积分的最早的和主要的发明者和理论物理的开创者。发现太阳光谱、提出光的微粒说和光与色的理论，使他对光学的奠基和发展做出了重要贡献。在从炼金术向化学的演化过程中，牛顿通过大量化学实验和用粒子与力的观点做出的系统解释，对元素和物质的转变和化合与分解机理的探讨，做出了应该给予足够评价的独特贡献。他对原子论的发展和科学化工作，对唯物的科学思想体系的确立，在科学思想史上产生了极深远的影响。在科学方法上，他强调一切从实验和现象出发，并且把实验和数学推理相结合作为治学之道，巧妙地将归纳法和演绎法结

合。由于时代条件和科学发展阶段的局限性，在摆脱神创论和无根据的假设的同时，在方法论上不可避免地带有形而上学的性质，可是却又在不少问题上表现出朴素的辩证法思想。牛顿是一位卓越的科研组织者和领导者，他是英国皇家学会历史上任期最长和管理得最好的皇家学会主席之一。牛顿的这些伟大科学成就使他在18世纪的学术界中赢得了极大的荣誉和威望，甚至逐渐被形象化和神秘化了。

牛顿的伟大科学成就是在17世纪后半叶欧洲和英国的资产阶级革命和宗教改革运动中，在实验哲学和自然神论取代神创论、亚里士多德运动观和经院哲学的思潮影响下，在近代科学革命过程中，前人在各学科上取得很多重要成就的基础上，通过勤奋学习、分析和扬弃，才逐渐形成的。

牛顿对自己在科学上所取得的成就，一直是非常谨慎的，并且认为这些成果不过是他在科学真理的海洋中拾得的几个美丽的石子罢了。他在去世前不久说过：“我不知道我可以向世界奉献些什么，但是对于我自己来说我似乎只是像一个在海岸上玩耍的孩子，以时常找到一个比通常更光滑的卵形石子或者更美丽的贝壳来自娱，而广大的真理海洋在我面前还仍然没有发现。”他认为，他的成果是在前人的种种发现的基础上才取得的。他在1676年2月5日给胡克的

信中写道：

“……同时，您对于我探索这个课题的能力看得过大了。笛卡尔所搞的就迈出了很大的一步，您已经补充了多种方法，特别在对薄膜颜色进行哲学思考方面。如果说，我曾经比一般人看得远一些，那是因为站在巨人的肩上的缘故。”

牛顿把自己的科学成果看成在他所处的时代背景下和在有关的许多科学巨人成就的基础上才取得的。他对自己的努力和素养所起的作用，有着正确的和客观的估价。他在1692年12月10日给本特雷的信中写道：

“……如果我以此法对公众做了哪一种服务的话，那只是由于勤奋和耐心的思考。”

牛顿在成名之后，有人问他是怎样取得发现的，他回答说：“靠一直思考它们。”在另一情况下，他回答说：“我把课题一直保持在我的面前，并且等待第一个黎明一点点地现出强烈的光芒。”这些话表明，牛顿认为没有集中精力地持续思考和锲而不舍的钻研，他是不可能做出那些科学发现的。

牛顿的科学成就是伟大的，但是他却被人们逐渐地形象化和神秘化了。好像天赋、幸运和上帝的恩赐使他得天独厚地获得科学的桂冠。牛顿本人知道得很清楚，并且实事求是地表述了他是在一个时代条件下，

在前人成就的基础上经过自己的努力、勤奋和钻研，才在科学真理的海洋中拾得几颗美丽的石子和贝壳。的确，像牛顿这样在科学上做出重大的贡献和对人类科学发展有巨大和深远的影响，是无与伦比的，这是一个重大的历史现象。像一切重大的历史事件一样，都是在一定的时代背景和社会需要的条件下发生的。

牛顿的科学活动遍及17世纪自然科学和自然哲学的各个学科，如哲学、宗教、天文、动力学、天体力学、数学、光学、炼金术、化学、冶金、流体力学和潮汐理论等。他的社会活动也是很广泛的。他任皇家学会主席达25年之久，任造币局监督和局长达31年，当选剑桥在上议院的代表后任上议院议员共三届，约10年。不论从他的哲学和宗教观点及科学思想的发展情况来看，还是从他对英国资产阶级革命、政党和从事的社会活动的态度来看，他的科学发现和科学生涯都扎根于17世纪和18世纪早期英国和欧洲社会大动荡和剧烈变革的社会背景、思潮和科学大发展的基础上。

1497年至1522年地理大发现使世界市场和被掠夺的区域空前扩大，大大刺激了包括英国在内的西欧手工业和商业的发展，成为封建经济向资本主义经济转变的重要因素。从罗马帝国时代至中世纪，在英格兰南部发现了冶炼青铜器和炼金术所需要的铜、

锡、铅和其他金属，由于长期开采，矿井日深，积水越来越多。阿格利柯拉的《论金属》不但系统地总结和介绍了矿物、金属和开采与冶炼的技术，而且还论述了金属加工的技术和知识，这本书对英国的采矿、冶炼和手工业的迅速发展起了很大作用。冶炼需要的燃料问题日益突出，但是风水问题又促使皇家下令禁止采煤，结果使畜牧业和羊毛纺织业得到了大发展。这样，在英国出现了以呢绒、造船、火药、造纸、食盐、水力机械等为生产对象的“第一次工业革命”。这次产业革命一方面为后来著名的英国工业革命准备了条件，另一方面大力养羊的结果，使草木殆尽，采煤开禁的政策使煤矿日益加深，抽水机械的动力问题使水泵和水轮机得到发展和改进。于是，水轮机的制造技术和水力学的研究问题成为科学家和工匠关注的重要课题。为扩大养羊业和牧场，出现了长达150年之久的圈地运动，其结果是农民被赶出家园，变成了无产者和手工业工人。

地理大发现和英国工商业的迅速发展，使海外贸易、掠夺和贩卖黑奴变成官方支持的行业。它一方面积累了资本，另一方面对造船、航海技术、测量距离和纬度的仪器及机械制造等技术提出了更高的要求，迅速推动了天文学、潮汐规律、机械原理和计时器的研究。国内工商业的大发展，使修建运河和水力工程

大大发展起来，研究有关测量和计算的方法又推动了几何学、代数的发展，并且对微积分的发明提出了需求。此外，测量和研究水压、冲刷力、流速和阻力使流体力学的研究发展起来。

海上贸易和海外市场掠夺的结果，使英国先后与葡萄牙、西班牙和法国发生战争。国内新旧贵族的红白玫瑰战争、资产阶级与封建王朝的革命与复辟的反复斗争，需要大量新型的战舰、武器和火药。军事工业的发展，必然对战舰的结构和水力学理论、冶金技术及炮膛的设计与弹道计算提出更高的要求。

水上运输提出了船只的结构和外形的流体阻力、容量、浮力、稳定性、控制和机动性问题。为了确定船在海上的方向和位置，需要确定经纬度，绘制海图，测磁偏角和磁倾角。测月球和恒星与地球的距离、相对位置和引力，可以确定潮汐的时间、大小与流速。这就对地理学、磁学、数学和物理学提出了一系列课题。

为了抽矿井积水和灌溉，阿格利柯拉曾记载了七种泵和六种提水设备。研究和改进它们，必须要有真空、大气压、风力和水力的力学知识，及关于叶轮叶片的流体力学知识和合理的几何形状。此外，锻机、轧机、落锤和加工机床的研制和改进，需要了解机械原理、动力学和落体定律等。

资本主义经济和技术在英国的发展，促使一些富商感到应用科学的重要性。1588年英国受到西班牙无敌舰队威胁时，伦敦商人托马斯·史密斯设立数学讲座，以训练航海人员和航长达两年之久。麦塞斯公司的经理托马斯·格雷山姆捐献出自己的房地产，建立了格雷山姆学院。他的遗嘱规定天文学讲授应讲“天层原理、行星学说、观测杖和其他通常仪器的使用，以增进海员的能力。……教授应当每年以一个学期左右的时间通过讲授地理和航海技术，将天文学加以应用”。这个学院后来成为英国科学活动的中心并在1660年转变成英国皇家学会。商人的需要和赞助促进了英国科学的早期发展，皇家学会的目的是搜集和总结过去的生产经验并将科学用于改进手工技艺的现行方法。

牛顿在少年时期自制过很多简单的工具和机器，微积分的发明是他从点在线上运动的变量观点出发，用求极限的方法发展起来的。反射式望远镜是他为了消除折射式望远镜色差现象才发明的。他对介质阻力和粘滞性的研究及提出潮汐理论是应解决水上航行的需要才进行的。化学实验固然花去了他的大量精力和时间，但是却使他通过金属、酸、碱、盐的化合和分解实验，用粒子和引力与斥力对其化学机理作了比较科学的解释，取得了重要的成果。从金属嬗变实验和

观察，使他对冶金的知识有了较深的了解，这是蒙塔格介绍他到造币局任职的重要原因。对重力在不同纬度上存在差异的考察，使他对地心引力与物体离地心距离的平方反比关系加深了认识。运动三定律和万有引力定律的发现，是他研究动力学和天体之间相互作用规律的结果。牛顿对技术的重视在他于1669年5月18日给阿斯顿的信中表现得很明显。阿斯顿准备到欧洲大陆旅行，请求牛顿对他应注意的问题做些指点。牛顿说在他去任何公司时，应该注意五点。此外，还应当询问和观察九点，其中，第四点是“他们超过或不如我们英国的贸易和技艺”，第八点是“观察船导航的机构和方式”，第九点是“观察几处自然产物，特别是正在采矿的矿井和由矿石精选金属或矿物并在它们提炼时一种金属变成另一种金属的任何情况。首先值得你注意的是最出色的实验，也就是比哲学上出色几倍的实验”。在牛顿当时能想到的特别值得注意的事项中，第五项是“你可以禀告自己，在荷兰的船航行到印度时，他们是否有什么秘诀以避免使船只受到浸蚀。在寻找经度等时，摆钟有哪种用处”。这些揭示反映了牛顿对贸易、技术、导航方法、采矿、选矿、提炼、实验、船在海水中的浸蚀和摆钟在计算经纬度时的作用等方面有丰富的知识，这种丰富的技术知识和解决大量实际问题的强烈愿望，是牛顿科学

研究的重要动力。

牛顿作为理论物理学和经典力学体系的主要奠基者，他从理性的高度进行分析和概括，取得了一系列重大成果。但是，他的理性以对应用技术和实验的深刻理解作为扎实的基础，正是在这些方面显示出经济和技术的背景和需要对他的创造性科学生涯所起的重要作用。

资产阶级革命和宗教改革对英国科学的发展也发生了深刻影响。手工业和商业的迅速发展，使英国的资本主义经济所占的地位日益突出，反映在政治上就是在贵族中产生分化，并进而在1455年至1485年间，发生了长达30年的红白玫瑰战争，结果导致重工商主义的都铎王朝的出现。腐败和衰落的罗马教廷统治对于大西洋东岸附近资本主义势力迅速发展的英国鞭长莫及。亨利八世以婚姻问题为借口，于1532年宣布脱离罗马教廷，成立英国国教并自立为首领，从此英国走上政治、经济和宗教独立发展的道路。资本主义经济的进一步发展，反映在政治和宗教信仰上，出现了以工商业者和新贵族为主体的下议院与王室和长老院的矛盾及清教和国教的斗争，其实质就是资产阶级与封建王朝的斗争，从而导致17世纪资产阶级革命与王朝复辟的反复的激烈斗争。清教精神和伦理是英国资产阶级革命的精神和道德规范的支

柱，苏联的敦尼克和凯德洛夫等主编的《哲学史》中说：“17世纪英国资产阶级是高呼着清教口号进行革命的。”清教的原意是清除罗马教廷在英国的一切残余和影响。它是宗教改革运动中的左派——加尔文派在苏格兰的一个最激进的基督教派，约出现在1560年，不久成为苏格兰的国教，并且在英格兰的工商业者、知识分子和下层人民中产生很大影响。清教徒认为他们是上帝的选民，上帝给他们以武器进行反抗和斗争并必然胜利。巴克斯特在1664年把清教徒的宗教教规和生活规范称为“清教徒伦理”。布坎南称之为“工作道德”，这就是“坚持奋斗的生活和不倦的劳动”、“用时间至最大限度”和清苦的苦行僧式的生活。总之，清教徒的思想就是上帝的选民应该自我约束，艰苦奋斗、创造和创业，并把这些看作自己的天职。清教精神和伦理在16世纪的英国工商业者、工匠、知识分子和发明家中影响很大，他们把学习“自然之书”看作上帝教诲之书的补充，强调经验而不是纯知识的或理论的探索，并且将知识用于基督徒社会的目的，决定了“清教徒精神”与近代科学一致，使后者在17世纪英国的知识和文化中占有一个扎实的和重要的地盘。这样，皇家学会初期的68个会员中有49个清教徒，蒸汽机和精炼铁的发明家几乎都是清教徒，伦敦和剑桥是清教的中心。

牛顿的家庭虽然信国教，但是他在剑桥的学生时代经受了严格的清教教规和伦理的训练和精神的熏陶，他清苦的和献身于科学的精神及资产阶级革命胜利后他对清教的明显态度和属于辉格党的政治态度，都表现出他不仅是一个清教徒，而且相信清教的真面目。

英国资产阶级革命基本上是以清教对国教、辉格党对托利党，和下议院对封建王朝进行的斗争展开的。这场斗争大致分为三个阶段。第一阶段是詹姆士一世在1603年即位后至查理一世于1642年1月逃亡约克郡，这是从清教徒被镇压和流亡美国至议会通过“大抗议书”和伦敦民兵保卫议会的时期。约克郡成为王室军队聚集、反攻和国王避难的基地。第二阶段是从查理一世于1642年8月向议会宣战至1649年把查理一世送上断头台，这是老克伦威尔率国会军在牛顿诞生的第二年占领约克郡并击溃王室军的重要时期。1649年1月议会通过决议“在上帝之下，人民是一切正当权利的来源”。在议会里集会的英国下议院是人民选出的并代表人民的，在本国有最高权力。凡是在议会里集会的下议院中当作法律而制定或公布的东西，都有法律效力，即使没有得到国王或上议院的同意，全国人民也受它的约束，并宣布取消上议院，没收王室、国教会和保王党的土地。这种行动和宣言在人类历史上第一次表现出废除封建统治

和提出资产阶级民主的纲领和意志，是一次彻底的资产阶级革命的尝试。第三阶段是从1660年查理二世复辟到1688年资产阶级君主立宪政体的建立。起初，苏格兰军队占领约克郡并入伦敦，查理二世流亡。但是，由于该军司令的妥协，结果以“骑士议会”取代了国会，托利党居统治地位，国教压倒了清教，辉格党被击溃了。1685年詹姆士二世即位后，把从都铎王朝以来在政治和宗教改革方面取得的成果一扫而光，使英国进入极反动的时期。这就是用天主教徒取代国教徒，重建早已废除的高等法院，任命天主教徒为官吏和主教。詹姆士二世抛弃了保守的国教会和托利党，因而把自己处在托利党和辉格党及国教徒与清教联合的对立面，结果后二者与詹姆士二世的女婿—荷兰执政奥伦治君主威廉谈判，威廉率舰队登陆并即位。辉格党在1688年2月召开协商会议并随即成立议会，提出妥协的决议，建立君主立宪政体，国王不再控制军队和审判官，不干预法律的制定和废止，财权归议会。辉格党从此变成君主立宪政体的热诚拥护者，并且一直执政至1710年。在1610年辉格党内讧时，托利党暂时执政约四年，然后辉格党又从1714年连续执政至1783年。

英国资产阶级革命经历的三个阶段都在牛顿发表《原理》的1687年之前，他的童年、学生时代和

科学活动的整个时期，是在资产阶级革命风暴和宗教改革运动的错综复杂的和激烈的斗争中度过的。他的大学时代是在封建王朝复辟条件下信仰清教的分子中心——剑桥大学度过的。魏斯特法尔在他的《永不停息：牛顿传》一书中说剑桥是“英国清教的中心，它是17世纪早期英国知识分子骚动的地点”，并说“1662年夏天，牛顿经历了某种宗教危机”。在圣灵降临日他迫不得已检查他的良心状况，这一天之前写了他的罪过表，这个表中有这样几句关于上帝的：“知道把我的心放在钱上比放在你身上更愉快”，“不按照我的信仰活着”，“因你自己的缘故不爱你”，“不怕你，以至于不去触犯你”等。这说明，牛顿在王朝复辟和清教受到抑制的时期，对于上帝的信仰产生了动摇。曼纽尔在《艾萨克·牛顿的宗教》一书中，也认为牛顿“被犯罪的意识、怀疑和自我诽谤所压服。因为缺乏一个更好的词表示早先标志他的个性的特点，可以把他的小心谨慎、惩罚感、俭朴、遵守纪律和勤奋称为清教的伦理。他有一个介入的检察官并始终在监工眼皮底下生活”。曼纽尔以牛顿是“宗教的恢复者”和“神学学者”的眼光，看待他在1662年写下的真心想法，并认为这是不得已写下的告解。其实，这些是牛顿在当时社会情况下对自己宗教信仰发生的变化自我暴露和写照，说明他由过去的国教徒向清

教思想和伦理转变的实际情况。魏斯特法尔正确地指出“牛顿的清教徒的生活已经使他偏离了通常的自费生，即使他的减费生地位也不是这样。他的行为在很大程度上再现了该大学作为清教徒学府全盛时期支配它的规则和观念。”牛顿在大学时代受到资产阶级革命风暴和清教伦理与精神的极深刻影响，正是这种思想使谨慎的牛顿在学习前人的自然哲学思想和科学成就时，敢于批判地接受和提出自己的新想法和理论。他尊重知识，但不盲目崇拜权威及其学术思想，因而在1664年至1666年，他不但做出很多重大发现，而且为他后来的不少伟大发现奠定了思想和知识基础。

牛顿在1688年资产阶级革命胜利之后，当选上议院议员，对争取国王威廉维护剑桥大学的独立性，做出了重要贡献。亥森说牛顿“属于辉格党”，是“上升时期资产阶级的典型代表……他也是1688年阶级妥协的典型的儿子”，“他属中产阶级”，“按牛顿的宗教信仰来说，他是一个新教徒”。这些评价是有道理的。牛顿长期任造币局领导职务，并做出重要成绩。他在资产阶级革命胜利和清教处于主导地位之后，在政治上和宗教观点上基本上是与当时的思潮合拍的，虽然他的宗教和神学观点可能比当时居统治地位的清教还要激进，并且机械唯物论的观点更加鲜

明。

与此同时，实验哲学和原子论等哲学观点对牛顿也有过较大影响。16和17世纪英国工商业的重大发展和海外贸易的繁荣，使英国资本主义经济和政治势力处于主导地位。与罗马教廷脱离关系，又使英国的哲学思想界和宗教界摆脱了严酷而僵化的思想禁锢和宗教裁判所的迫害。生产和技术的发展，要求科学和哲学为资本主义经济的发展提供现实的和可靠的知识及思想，而彻底批判罗马教廷尊奉为圣典并不可违抗的亚里士多德唯心主义哲学部分和经院哲学，最有力的武器就是事实。于是，实验和观测就成为哲学和科学的基础，实验哲学、摆脱神创论的自然神论等机械唯物论观点和思潮应运而生。首先是重视实验的传统得到发扬和实验哲学和得到启迪。

英国人重视实验并用以批判亚里士多德的唯心主义哲学部分和经院哲学，是有历史渊源的。罗杰尔·培根曾毕业于牛津大学，被有些人认为“近代第一个科学家和近代科学革命可能由他开始的著名学者”。他提出检验前人说法的唯一方法只有观察和实验，主张数学与光学是其他学科的基础。还认为有一种科学比其他科学都完善，要证明其他科学就需要它，那就是实验科学，它胜过一切依靠论证的科学，因为无论推理怎样有力，这些科学都不可能提供确定性，除非

有实验证明它们的结论。丹皮尔认为“他的理论又成为另一位更有名的培根的先声”。这人便是350年以后英国的国务大臣弗兰西斯·培根，他利用了他的前辈罗杰尔的某些见解。罗杰尔认为错误的原因有四，即对权威的过度崇拜、习惯、偏见与对知识的自负。培根的实验哲学受到R·培根思想的影响。奥坎的威廉曾在牛津大学学习，他是唯名论学派在中世纪的代表，反对不必要的假设，补充称为“奥坎的剃刀”。后来成了牛顿的“不做假设”的先声。唯名论的复活及其提倡恢复古希腊的原子论，使中世纪学者对感觉的对象和实验重视起来。冲破对抽象观念的信仰和重视观察与实验，体现了奥坎学派对经院哲学及其崇拜偶像——亚里士多德的一大冲击，它“标志经院哲学独霸中世纪的局面结束。从此以后，哲学就可以自由地进行探讨”。近代科学革命和文艺复兴运动的这两位先驱者的求实精神，对17世纪英国的哲学和科学思想的唯物主义倾向产生了启迪和示范的作用。

近代科学产生的基本条件是实验，但是把实验的作用提高到哲学的高度来认识和评价的则是F·培根。他把实验和由实验建立起来的知识看成是批判亚里士多德哲学和经院哲学的最有力武器。他说亚里士多德“把他的哲学看成只是他的逻辑的奴隶，从而把它弄成富于争辩而近于无用”，“他以他的逻辑败坏了自

然哲学”。于是，他要“直接以感官为起点，另外开拓一条新的准确的通路，让心灵循以行进”。感官的起点就是经验和实验，所以他说：“最好的论证当然就是经验，只要它不逾越实际的实验”。这样，他就把历来研究科学的人分为实验家和教条主义者。并且，他得出除非科学新生，否则人类是没有希望的，所谓科学的新生是把它从经验和实验上有规则地提高并重新建造，但是他认为这是从未有过的。于是他提出“首先，我们必须准备一部自然和实验的历史，要充分还要好，这是一切的基础。因为我们不是要去想象或假定，而是要去发现……”。为了反对亚里士多德哲学和经院哲学，以及反对迷信和对宗教的盲目崇拜，F·培根又提出了实验和经验胜于雄辩并在其上重建科学的思想，并且得出为了科学发现而不是为了假设需要把自然和实验史作为一切的基础，从而实际上提出了实验哲学。马克思曾经对F·培根这样高度地评价：F·培根的实验哲学对17世纪英国的科学家和哲学家产生了极其深刻的影响，这种影响在科学上的主要代表人就是牛顿。牛顿在F·培根以实验哲学批判亚里士多德的哲学和经院哲学之后，坚决地相信并站在实验哲学一边，他在《光学》第二版《疑问31》等著作中，对亚里士多德的神秘的质进行了坚决的批判。他对实验哲学一再地加以赞扬，并作为治学的指

导思想。著名的牛顿传记作者布鲁斯特写道：“所以，在我们听到牛顿把他的全部发现归之于培根的方法时，只能是指培根在《新工具》中热烈推荐的在观察与实验的道路上前进”。牛顿在《原理》的《哲学推理规则》、《总释》等著作中，都提到实验哲学及从实验出发运用归纳方法进行科学研究的重要性，以及从这种观点引伸出来的“不做假设”的必要性。他在《总释》中说：“但是至今为止，我没有能从现象中发现重力的这些性质的原因，并且我不做假设。因为凡不是从现象推导出来的就被称作假设，并且不论是无形的假设还是有形的假设、神秘的质还是机械的质，在实验哲学上是没有地位的。在这个哲学中，特殊命题是由现象推导的，并且然后用归纳法提出普遍的命题。”这些说明，牛顿认为实验哲学是正确的，并且将此自觉地作为治学的准则并运用到了自己的科学研究之中。

自然神论对牛顿也有重要影响。清教和实验哲学盛行的结果，使17世纪的英国在哲学发展过程中出现了像霍布斯、洛克和托兰德等人为代表的自然神论的唯物主义哲学学派。自然神论是一种企图摆脱神创论的学说，他们认为宇宙被上帝创造出来以后，便按照自然的规律发展下去而把上帝的作用推到仅仅是初始原因的地位。马克思在《神圣家族》中指出“自然

神论——至少对唯物主义者来说只不过是摆脱宗教的一种简便易行的方法罢了”。所以，自然神论是从神创论向无神论过渡过程中的必然产物，在当时是进步的并基本上属于唯物的哲学学派。霍布斯猛烈抨击国家之上的教会，把罗马教皇比作魔王，把僧侣比作群鬼。他赞同 F·培根主张的哲学的目的在于认识自然，因此马克思说：“霍布斯把培根的唯物主义系统化了。”

牛顿在 1663 年学习了霍布斯的哲学，深受其唯物论、宗教观和上帝在创世后不干预自然思想的影响。但是，牛顿的自然神论思想与洛克比较接近，他们的关系是在 1689 年洛克从荷兰流亡回国时起才密切起来，也就是说在牛顿的科学和哲学思想已经定型之后才志同道合的。洛克出身于清教徒家庭，反对当时的教义和教会组织，主张自然和合理的宗教。他否认包括上帝观念在内的天赋观念，认为知识的唯一源泉是感觉和经验，应该以严格的经验进行科学探索。1690 年 11 月至 1691 年 2 月牛顿与洛克的四封通信说明，洛克赞同牛顿注释但以预言书和约翰启示录的观点，认为罗马教廷对这些早期基督教义进行背叛和歪曲并欺骗了人民，因而造成了很严重的弊端和罪恶。洛克请人将牛顿的部分宗教作品译成拉丁文或法文并联系出版等。他们在上帝创造世界之后就不干预自然界的事等观点上是一致的。至于托兰德，由于

这位更激进的自然神论者比牛顿年轻 28 岁，对牛顿思想的形成似乎未产生影响。

牛顿的自然神论观点肯定受到了 17 世纪英国自然神论哲学的影响，并与这种思潮融合在一起。但是，他在早期企图摆脱神论的观点，受剑桥的新柏拉图主义的代表人物 H·莫尔和巴罗的科学观的影响更大些。

牛顿在三一学院写的笔记《原子问题》中，提到 H·莫尔的著作《心灵不灭》，他在 1664 年中期之前已经熟悉 H·莫尔的观点，并赞赏他“已经雄辩证明了物质的非无限可分性”。H·莫尔认为古希腊哲学分流，神学部分可并入柏拉图的哲学，自然哲学部分由原子论主义者伊壁鸠鲁和德谟克利特承担，他们将它“无神论化”。他的物质观是原子论，这对牛顿来说产生了一定影响。H·莫尔认为，宇宙是上帝创造的。他在《灵魂不灭》中说：“空间是神的本质或本质存在的某种相当混乱而又含糊的表示……而只涉及神的纯粹本质和存在”，从而表明他认为上帝的无所不在与空间是一回事。巴罗在 1669 年发表的《数学讲演》中对他的时空观做了说明。他也认为宇宙是上帝创造宇宙之前就存在的空间，甚至现在这个宇宙之外也有无限的空间……这个宇宙以前和这个宇宙一起，过去和现在也都有时间……可是时间不蕴含运动吗？我的回答是就时间的绝对的和固有的本性来

说，它根本不孕含运动，也不孕含着静止；时间的数量在本质上与运动和静止都无关。不管事物是前进还是停留，不管他们是睡还是醒，时间总是按其稳定的进程流逝着。从 H·莫尔和 I·巴罗的这些观点可以看出，他们实际上认为空间和上帝是共存的而非创造的，它既然是非创造的和永恒的，也就是绝对的。同样，时间也因之是绝对的。牛顿在他的三一学院笔记的《问题》一节中写道：“它们被创造所需的物质以前就存在。”在《论流体的重力和平衡》一文手稿中，他写道上帝创世之前物质质量是不确定的，一旦被创造了也就确定了。

牛顿认为物质是非创造的。他又在后一手稿中提出上帝并未把广延包含在自身之内，所以不能创造它，并认为二者是两种“分立完成的、绝对的和有同样意义的本体”，他进而说时间也是一样。牛顿的这种物质、时间和空间的非神创论观点，是与 H·莫尔和 I·巴罗的看法基本上一致的，因此塞耶说：“H·莫尔形成的剑桥圈子，包括 I·巴罗在内，对牛顿的思想产生了强烈的影响。”此外，牛顿在《论流体的重力和平衡》和《总释》中所说的“上帝无所不在”、“全智全能”等等，与 H·莫尔和 I·巴罗的说法几乎完全一样。因此，可以说，牛顿早期的时空观和上帝观受到了 H·莫尔和 I·巴罗的很大影响，他的这

种摆脱神创论观点属于自然神论，但是却比以前进了一大步。

牛顿也接受了 W·伽桑狄的影响。莱顿是第一个有系统地将原子论引进英国的唯物主义哲学家，并且对 17 世纪中叶以后的英国唯物主义哲学家、自然神论者和科学家的思想产生了深刻的影响。虽然伽利略的《关于两种新科学的对话》的原子论思想约同时传入英国，并且对牛顿的物质观有一些影响，虽然 F·培根赞赏德谟克利特的原子论并要下决心恢复它，但是这些唯物的观点毕竟只是蕴含在这些名人的思想体系或科学理论中的点滴想法，影响却不大。1654 年 W·查尔莱顿发表了《伊壁鸠鲁、查尔莱顿的生理学和建立在原子假设上的自然科学结构》一书，系统地介绍了伊壁鸠鲁和伽桑狄的原子论观点及他自己的看法，从而对在英国推广伽桑狄学派的原子论起了重要的作用。

魏斯特法尔在 1971 年发表的《牛顿物理学中的力》一书中，指出牛顿的原子论思想来自英国物理家、自然哲学家和原皇家学会会员 W·查尔莱顿。W·查尔莱顿在 1650 年之后受到了霍布斯的影响，对当时的新哲学先驱者笛卡尔和更明显的是对伽桑狄发生兴趣。格尔拉克认为查尔莱顿是“青年时代的牛顿在他的笔记中潦草写的字里行间的根源，这是没有什

么可怀疑的”。查尔莱顿在他的书的第一章中歌颂了伽利略、哈维、开普勒和笛卡尔，说他们胸中充满了普罗米修斯之火。他还引用了柏拉图和亚里士多德的谚语，以说明17世纪哲学革命与柏拉图取代苏格拉底所掀起的柏拉图主义者的热情的相似性。格尔拉克认为“从这里可以理解从做大学生的苦读中大大解放出来的牛顿，经受了亚里士多德和后来的逍遥派学的沉重压力时，恰好发现了笛卡尔、伽桑狄和他的其他‘新朋友’，就会发现这个设想是他的新自由的和见到诱人前景的一种实实在在的表示”。这些说法对于牛顿寻求新思想和信仰唯物的原子论的情况，做了比较符合实际的描述。

伽桑狄是17世纪法国著名的唯物主义学派的主要代表，在欧洲特别是这个世纪后半叶的英国哲学和科学界，有着很大影响。他的主要贡献是在近代首先系统地恢复和宣传伊壁鸠鲁的原子论。马克思曾经说过：伽桑狄把伊壁鸠鲁从教父和整个中世纪加给他的禁令中解放出来。为此，伽桑狄先后发表了《伊壁鸠鲁的生活和品格》、《评第欧根尼·拉尔修十书：论伊壁鸠鲁的生活、性格和见解》和《伊壁鸠鲁哲学汇编》，后者收集了伊壁鸠鲁的著作残片、古代对他的评论和卢克莱修的《物性诗》。他在原子论者伽利略受审判的最困难时刻，写信支持伽利略，说：“关于

您的审判，我处于极不平静的状态之中……在您永远正确的事业中，信念将伴随着您。”他与笛卡尔的长期争论是唯物主义和唯心主义及原子论和以太旋涡说的争论，他在1641年至1644年间写了三本书批判笛卡尔。

牛顿早在1664年初以前，已经读了W·查尔莱顿的上述著作，魏斯特法尔认为他很可能也读过伽桑狄的某些著作。牛顿从他的科学生涯一开始就接受了原子论思想，虽然那时也在某些问题上有时采用过笛卡尔的以太说法。在他写的三一学院笔记中，头几节就是关于原子和原子如何构成宇宙的，如第一节《初始物质问题》写于1664年早期，用数学点与无数数学点加到一起仍是数学点说明原子是不可分的。他认为“初始物质就是原子”，并证明“它不能是无限可分的”。他甚至认为上帝只是把原来不确定的物质造成原子，只是由于上帝和自然的操作，才使原子构成宇宙和万物。牛顿在前期是一个原子论者，在70年代因为他的光和色理论受到胡克等人的批评后，一度与以太说妥协，但是他的以太说不过是他的原子论的变种，在1684年8月之后他又转变成一个比较坚定的原子论者。从他的很多手稿、论文和《光学》与《原理》的一系列思想、推理和论据来看，他的物质组成思想和自然哲学的基础都是原子论。牛顿在给

本特雷的信、《原理》第一版修改稿第三卷的《假设》、给格里高利的信和《光学》的《疑问28》中，甚至在1668年左右写的《论流体的重力和平衡》中，都直接提到伊壁鸠鲁、卢克莱修及古希腊的哲学家。他反对伊壁鸠鲁的重力是物质内在固有的属性，但是却基本上全面接受了伊壁鸠鲁和卢克莱修的原子论，并且用于物质组成、粒子作用力、万有引力定律的推导、流体阻力及他的化学作用的基本理论之中，并试图使原子论科学化。因此，丹皮尔说：“他继承了原子论，使它得到正统地位。”贝尔纳说：“一句话，牛顿一劳永逸地建立了对宇宙的动态观，来代替曾使古文明国民满意的静观。这个转变，结合他的原子说，就表明牛顿不自觉地和他那个时代的经济和社会世界是相调和的。”

牛顿在物质观和自然哲学的基本思想上，受到了17世纪唯物主义哲学特别是原子论的恢复的深刻影响。他在伽桑狄的原子论与笛卡尔的以太说斗争中，坚决支持伽桑狄，对笛卡尔的以太旋涡说一直持反对态度。

牛顿的时代，国内外的科学交流日益频繁，英国皇家学会迅即出现。文艺复兴运动和近代科学革命的一个重要结果是科学从神学的奴婢和教廷的禁锢中得到了自由和解放。从哥白尼以日心地动说取代了托勒

密的地心说之后，至牛顿时代的一个半多世纪中，天文学、数学、物理、力学、光学、磁学和化学等学科，在实验与数学分析相结合的基础上得到很大发展，硕果累累，对于从理论上进行全面的分析和大综合创造了良好的条件，资本主义经济和技术迅速发展，也对科学提出了这种客观的需求。在全面进行分析和综合的基础上建立一个科学理论体系和宇宙系统的历史使命，就落到了牛顿的身上。这时，科学界已公认牛顿是近代科学革命的完成者和经典力学体系的主要奠基人。他所以能全面地学习过去的和当时的各种科学成就和旧科学思想，并进行分析、比较、扬弃、发展和大综合，与科学著作和信息的出版和交流、英国皇家学会的成立、开展广泛的学术交流和《皇家学会哲学会报》刊物的出现关系至大。

科研成果的传播和交流为牛顿提供了许多启发性的思想。他在近代科学革命晚期的1661年进入剑桥大学读书，后来在该校任教至1699年，在1701年辞去剑桥的卢卡锡数学讲座教授。剑桥大学是英国自然科学和自然哲学的教学与研究的中心，也是当时欧洲的主要科学中心之一。这里学术思想活跃，各学科的专家云集，图书资料多，学者交往和学术交流频繁，牛顿能够在剑桥度过他的大学生活和科学创造的主要时期，显然是他能够取得那么大科学成就的

重要条件。

印刷术在欧洲的传播和发展，使科学革命中科学研究成果能够印成书在国内外流传。资本主义经济发达和新教思想比较开放的英国，特别在知识分子清教徒的中心——剑桥大学，成为旧天主教统治下受迫害的学者流亡、访问和讲学的好地方。牛顿在1663年之前接受的主要是关于亚里士多德及其学派的哲学和科学观点的教育。1663年他买了占星术的书，对天文学发生兴趣，为了研究天文学他学习了三角学和欧氏几何原本，并且读了笛卡尔的《哲学原理》和波义耳的《新物理——力学实验》和《怀疑的化学家》，从而对数学和物理又发生了兴趣。1664年牛顿读了斯特里斯的《卡洛林天文学》，从这本书知道了开普勒的行星运动三定律和布里阿德在1645年提出太阳的吸引力与距离的平方成反比的思想。他通过伽利略的《关于两种新科学的对话》的英译本，学习了伽利略的动力学，特别是惯性定律、落体定律和抛物体定律深深地吸引了他的注意。这一年，他学习了笛卡尔的《几何》、瓦里斯的《无限算术》，从中学习到变量代数和几何图形的关系和级数与极限概念；读了舒顿的《评注》和《杂记》，从中知道费尔马用分析几何求极大和极小值的方法，及用以做切线的方法。这些数学上的成果对牛顿后来的数学研究和许多发现

起了重要作用。

1663年，I·巴罗成为卢卡锡数学教授，并教牛顿光学。次年，牛顿学习了笛卡尔的《屈光学》。他在1664年用三棱镜考察笛卡尔创立的光学理论，导致他创立了光学与颜色理论并发现太阳光谱。1665年他仔细地研究了胡克的《显微术》。

牛顿在1663年至1664年如饥似渴地学习前人的科学发现和成果，并且用实验和数学相结合的方法加以验证、分析和联系起来思考，他能博采百家之长，因此不久后在光学、数学、物理、力学和化学上做出了一系列重大的突破。“站在巨人们的肩上”才使他看得更远，是他在早期通过学习和学术传播取得累累硕果的重要原因。但是，由于那时他刚刚开始走上科学道路，当时又无刊物可以发表，只能以笔记、手稿的形式写学习心得和看法。此外，在他入皇家学会之前，实行学术交流的唯一办法是通信，可是据H·W·特恩巴尔编辑的《艾萨克·牛顿通信集》第一卷，在1661年1月11日当选皇家学会会员之前，在H·W·特恩巴尔收集的17封通信中，牛顿写的只有11封，别人写给他的信件6封，平均每年近1、5封，这说明牛顿在此期间与别人交往甚少，基本上是靠阅览群书和独立思考取得早期成果的。在入皇家学会后，在70年代中，通信人数和信件均增加缓慢，

只是在 80 年代后增加速度才逐年明显起来。在《原理》发表之后，增加速度就更快些。牛顿早期的知识准备阶段，主要靠读书和实验来学习和鉴别前人的科学成就，与别人来往很少。

在牛顿创造高峰时期的 1665 年至 1666 年，主要成就有三个方面的：数学、光学实验和力学上的思想准备，基本上靠勤奋和钻研，并且没有将成果发表的机会。他只是在数学继而在光学上有了重大的一系列发现后，才引起社会重视并逐步扩大交往范围。此外英国皇家学会对牛顿科学研究起了不可估量的促进作用。

格雷山姆学院在 1640 至 1660 年间已经成为英国科学活动的中心，并且云集了英国各方面最优秀的科学家。1657 年 C·雷恩在 25 岁时被聘请为该学院的天文学教授，1660 年一天在他讲课时，他首先提出成立皇家学会并得到全体成员的同意，其目的是促进科学的实验研究。当时拟定 40 个成员的名单并规定每人每周缴纳 1 先令。这时查理二世于同年刚刚复辟，对这个学会发生兴趣，并在 1662 年发给特许状与银职杖，定名为皇家学会。皇家学会的成立标志英国的科学进入有组织地活动和交流的新时期，头 10 年内主要是总结过去技术和工艺的经验科学的应用，因此论文和学术报告大多是实验方面的，

至 70 年代之后科学理论内容开始增多。牛顿的研究除光学外主要是实验，在数学、力学和物理方面则是进行基础理论研究。因此，他进入皇家学会的直接原因是由于光和颜色的实验研究和制成反射式望远镜，而不是数学和力学方面的成就。他的反射式望远镜得到包括国外会员惠更斯在内的皇家学会会员一致好评，但是他的光和颜色理论却在讨论中受到胡克的批评，并在法国引出了惠更斯等多人的不同意见。这一切在皇家学会的会刊上争论达三年之久。在 1672 年初之后，牛顿通过皇家学会的科学活动，从个人研究走向社会，并与国内外的很多科学家建立了联系，受到过批评，也得到不少启发、帮助和知识与信息。他的孤僻和谨慎使 J·M·凯恩斯产生了这样的看法：“除非在朋友的极大压力下，否则他从不脱手或发表任何东西。”显然，没有哈雷访问、敦促和资助，没有皇家学会的决定和支持，《原理》是不可能写出和发表的。正是过去没有参加皇家学会组织的讨论和交流，才使牛顿发明的微积分未被学术界了解和早日发表，造成后来在发明权上引起多年痛苦的争论。1703 年至 1727 年牛顿担任了皇家学会主席，他不但做了大量有益于科学发展的的工作，而且这个荣誉和带来的威望对于他的理论和种种发现得到国内外学术界的承认，无疑地起了促进作用。所以，皇家学会的活动

对于牛顿的科学发现和思想活跃，起了很重要的作用。

从牛顿所处的时代背景，以及这些背景对他的科学发现和科学思想所产生的深刻影响，可以看出他正是因为处在资本主义经济上升和资产阶级革命时期的社会各方面激烈变革的条件下，在科学发展达到一定程度时，以他的天赋、勤奋、知识和唯物的科学思想才做出了科学史上划时代的贡献。

三、发现与丰碑

牛顿一生中有许多划时代的重大发现。其中最主要的是数学、光学、物理学方面的发现。他的发现几乎为后来的相关学科奠定了理论基础。

在数学发展史上，牛顿有着十分突出的重大成就。他的数学研究遍及17世纪后半叶数学前沿的各个领域，在做曲线的切线、求二次曲线面积、解多元高次代数方程、发明二项式定理、发明微积分和微分方程等方面，都有重要建树。仅仅微积分和微分方程的发明，就足以使他在整个数学史上最伟大的数学家行列中显示出他的光辉。他的数学研究有着很明显的特点。他追求的不是局限在纯理论和抽象的数字关系上，也不像有些数学家那样，力图使自然从属于数的法则。或用数学模式来硬套实验观测的结果。他从数学与自然科学和实践的关系着眼，致力于数学与应用的相互补充、渗透和印证方面的探索，从而使数学成为活跃的和有生命力的学问。并且，在他的科学发现过程中，不仅把数学作为有力的推理工具，还把科学和哲学塑造在数学原理和实验之上。这方面，还显示出牛顿对17世纪各科学的融会贯通、综合和变革所起的作用。

牛顿的科学生涯从1664年开始，这是因为他

在1663年买了一本占星学的书，阅读时对天文学发生兴趣，为了深入了解天体位置的观测知识，他购买并学习了三角学。在去世时，他的书房里竟有1657年出版的七种三角学书籍，为了了解三角学的各种证明，他又阅读了欧几里得的《几何原本》和巴罗著的《欧几里得原本 Lbrixv 简证》一书，因为欧氏几何是三角学的基础，研究的结果使他得出占星学一书空洞无物，是伪科学的结论。1664年中期，牛顿看了奥特莱德的《题解》，对于其中与二次和三次方程的解有关的说法不太理解，但是在后来的回忆中却说这本书是最好的和复兴几何学艺术的第一批论著之一。不久，他废寝忘食地读了笛卡尔的《几何》。并且笛卡尔的解析几何对他产生了决定性的影响。在1664年至1665年的冬天，牛顿做了舒坦和瓦里斯没有做过的注解，同时发现了无限级数法。随之而来的巨大发现是用极限法求得了曲线的切线，在用级数法求曲线的面积时又发明了二项式定理。在这些过程中，概念和无穷数的上下限概念成了他发明微积分的重要步骤之一。另一步骤则在应用二项式定理中出现。他在1665年夏季已经有了微积分的概念。

关于无限级数和求二次曲线面积方法的发现，牛顿在笔记中写道：

“1699年7月4日。根据我对我在1663

年和1664年在剑桥花费的账目的查对，发现在1664年圣诞节前不久我是高年级肄业生，我买了舒坦的《杂记》和笛卡尔的《几何》并且借了瓦里斯的著作，随后在1664年和1665年之交的冬天做了舒坦和瓦里斯所没有过的注解。那时，我发现了无限级数法。在1665年夏天因疫症流传我被迫离开剑桥，在林肯郡的布兹比用同一种方法计算双曲线面积足有52种图形。”

这些话说明，牛顿根据瓦里斯的极限概念和级数。在1664年底至1665年早期发现了无穷级数。

根据怀特塞德的考证，牛顿从奥特莱德的著作中采用了算术符号，从笛卡尔的著作中采用了代数符号。传统的几何证明方法是他从欧氏几何和巴罗的几何著作中学来的，这与他从少年时期在中学和后来在剑桥学习的逻辑学相结合，对于他应用归纳法和演绎法证明几何问题起了重要作用，代数中的自由变数是F·维埃特在《数学逻辑》一书中用作表示代数式结构的，奥特雷德在《题解》一书中根据维埃特自由变量提出变量和逻辑符号，笛卡尔将他们的变量推广到他的解析几何之中。所以，变量并不是笛卡尔发明的，牛顿应用了他们提出的变量符号、概念及变量数学于自己的数学研究之中。牛顿也学习了笛卡尔和瓦里斯的切线计算过程及后者的求积法、级数、极限和极大与极

小概念。牛顿在1664至1665年间，学习了当时数学上两大分支——几何与代数上的最新概念和成就，并将其加以综合发展，进而做出了下面所说的很多重大成就，这些成就牛顿自己有一个简略的概括：“在1664年和1665年之间的冬天，我有了像休德、格里高利和斯留修斯那样的画切线方法以及在任一既定点上求曲线曲度的方法，由考虑怎样插入瓦里斯博士的某项级数我发现了这个规则……以便化任何次方的二项式成为一个近似的级数。随后疫症在那年夏天袭击我们并在迫使我离开剑桥之前，我发现了怎样用连续相除和根的开方法处理同一问题的方法。不久后我把这个方法推广到求解各种方程的根，并由这一切我得知从曲线图形的既定面积或弧推导其纵坐标和横坐标，以及从纵坐标和横坐标推导面积或弧。这样，一直进行到疫症迫使我离开剑桥之时。并且，在1665年11月13日的一篇论文中，我发现了一些例子和一个证明处理最初的流数的直接方法。”

但是，牛顿是一位性格内向，处事十分谨慎、多虑和怕引起纠纷与争论的科学家。特别在他的数学创作高峰的1664—1665年，学习心得和研究成果多写在笔记、账本及草稿纸上，那时他不想也没有机会发表。他在1676年10月24日给奥登伯格的信中说：“如果不具有我的基础的话，没有一个

人能用其他方法画出切线，除非他思虑得迷失了直路而碰巧了”，又说“现在我不说，事实上，这些运算的基础显然是足够的。但是，我不能现在就进行说明，我宁愿将它收藏起来。”特恩巴尔认为“这种收藏在18世纪不是反常的事”，但是J·M·凯恩斯认为：“除去在朋友的极大的压力之外，他什么也不参与，也不发表东西。”可见，这种做法是时代条件和个人特性结合造成的。

考林斯和巴罗在1669年7月之后曾劝牛顿发表《论分析》一文，但是牛顿认为不经仔细修改就不应该发表，一年后，由于牛顿忙于将其内容并入《级数和流数方法论著》一文，而失去了将《论分析》作为巴罗的《光学讲义》附录的发表机会，直至1711年经牛顿同意才在W·琼斯的《级数流数和差分的数量分析》一书中发表。1671年牛顿在考林斯的积极支持和催促下，曾准备把他对金克哈森的《代数》的注解和自己推广流数的论文发表，但由于纯技术性的书销路有问题和伦敦发生大火，使发表的希望破灭了。《原理》第一卷的第一节以数量的首末比表示流数概念，并说他用这个方法证明了第一卷的所有命题。然后，他提出第一卷的11个前提，这些前提都是利用首末比处理与曲线有关的问题。因此，可以说《原理》虽然没有明显地应用流数分析法，可是却通过首

末比和增量法将流数概念用于物体运动的几何关系上。他曾经说过《原理》中没有用流数法的原因是担心人们对分析法不习惯，但是其中却贯穿着以几何关系求极限、首末比和求总和等的流数思想和微积分概念。把首末比和增量法作为处理《原理》中一切问题的前提或数学基础，表明流数法对《原理》写作的极其重要性。

1704年《光学》第一版中加了两篇数学论文附录，取名为《曲线图形的种类和大小论著》，它由《曲线平积法论著》和《三次曲线的数目》两文组成，这样做原因是他发现了一些关于求曲线面积的普通性定理，与求二次曲线面积的一样好，很多朋友不但知道而且要求他将其发表。1707年惠斯顿发表了牛顿在剑桥的代数讲稿，书名为《普通数学或数学结构与题解集》，不久被拉尔夫逊先生译成英文发表，其第二版经牛顿修订后由皇家学会秘书马臣博士发表。

《论方法》是由剑桥大学的数学教授科尔逊译成英文并加译注后，于1736年发表。牛顿的很多其他数学论著是于1779年在霍尔斯基莱编辑的《典型事例分析技巧，即分析几何》中首次发表。1666年10月牛顿写的那篇著名的流数论文《以运动解问题》，直到1962年才在A·R霍尔和M·B霍尔编辑的《未发表的牛顿科学论文集》中首次发表。

微积分的发明在数学甚至在科学的发展史上，有着重大的影响，它是数学史上的几个主要里程碑之一，因此关于微积分发明权的争论一直是学术界很感兴趣的课题。这场争论是在牛顿中年时期发生的，一直延续了一二百年，这桩历史公案虽然以牛顿和莱布尼茨先后独立发明而告一段落，但是科学史学界至今仍有不同看法。

在光学上，牛顿也有许多重大发现。光和视觉的研究一直是古代自然哲学家和牛顿之前的近代科学家关心的重要课题。毕达哥拉斯和古原子论的奠基者德谟克利特、伊壁鸠鲁及卢克莱修认为光由物体表面的粒子组成，视觉不过是物体放射的粒子或原子流在眼睛内引起的感觉。但是，与这种光由粒子或原子组成思想不同的是亚里士多德的观点，他在《心理学》一书提出光不是物质的发射引起来的，而是他称为透明的介质产生的性质或作用，在这种看法的基础上后来演化出光的波动说。所以，关于光的本质究竟是粒子还是波，在古希腊已经产生了分歧。

在文艺复兴之后，波尔塔在黑屋的百叶窗上开个小孔，使阳光照在的墙上显示出自然的色彩。道米尼斯在1611年用水滴对光的一次反射和两次折射解释虹现象。斯涅耳约在1621年发现了早期的折射定律：在相同介质里入射角和折射角的余割之比总是

保持相同的值，并用实验予以验证。但是，他在1626年去世前未发表这个发现，1637年笛卡尔在《屈光学》中推导出折射定律的现代形式：在相同的介质中入射角的正弦与折射角的正弦之比为常数。笛卡尔对于光的本质的解释显然与他的以太说是一致的，他很可能受到亚里士多德的影响，提出光是由充满宇宙空间的弹性介质——以太的瞬时传递压力而产生的，他认为颜色是由这种介质的粒子——小球的旋转速度不同产生的，折射时小球转速会改变，转得最快的是红色，其次是黄、绿和蓝。他也曾用三棱镜做过实验，但结果并不理想。波义耳在《接触色的实验和思考》中，提出颜色是对光的一种修改才产生的，如物体反射的光经眼修改后产生了视觉，人们一般称之为颜色，他曾用三棱镜见到了阳光展示的不同颜色。牛顿通过笛卡尔的《屈光学》了解到开普勒的视觉理论，并且读过胡克的《显微学》。

牛顿不但读过上述著作，而且受到一定影响，其中以笛卡尔和波义耳的光学著作对他的影响最大，这在他早期的笔记和实验方法上表现得很明显，甚至还出现过用以太的小球说明光与色的迹象。那时，他曾打算采用波义耳的颜色修改理论，如他的三一学院笔记中的《颜色问题》部分就是在《接触色的实验和思考》的影响下写的，但是却提出了自己对光和颜色的

看法。从牛顿研究光学的起步情况，也可以看出他是在“巨人们的肩上”根据实验进行批判和扬弃，才建立起自己的光学体系的。

牛顿在他的三一学院笔记中，有1664年中期写的一节《颜色问题》，其中画了肉眼看三棱镜的图，说他研究光学一开始就做三棱镜实验，这可能是看了波义耳的《接触色的实验和思考》和笛卡尔的《屈光学》得到启示的结果。他写道：“如果用两个三棱镜，把一个映出的蓝色放在另一个映出的红色上，并不产生白色。”“从这个实验显示，产生蓝色的光线比产生红色的光线折射得更多：如果线段abc的一半是蓝色，另一半为红色，一个阴影或黑体置于其后，于是通过三棱镜看到线的一半将显得高于另一半，二者不在一直线上，因为两个不同的颜色有着不相等的折射。”说明牛顿早在1664年中期已经发现白色不是由红色和蓝色组成，这是后来对胡克否定的先兆，也说明这时他发现了颜色取决于折射率的现象。接着他又写道：“按照光反射的颜色，排列顺序是白、红、黄、蓝、紫红、绿、黑。”“阳光通过彩色纸或玻璃，也像不同颜色的混合物一样，展示出这样的颜色：黄和蓝变成红，黄和红变成橙，紫红和红变成深红，红和绿变成黄褐，红和蓝变成紫红……由两个三棱镜产生的颜色的混合可以产生出任何种颜色。”同时，他

还对视觉做了很多实验。这些情况又说明他在1664年中期已经基本上发现日光谱和颜色按折射率大小排列的顺序，并且可使任意两种颜色合成第三种中间的颜色。正是在这些发现的基础上，才使他在1665年至1666年间正式做了发现日光谱的实验。他在1665年至1666年写的手稿画出了日光穿过墙壁上的小孔展示在墙上的光谱图形。他说：“取一三棱镜放在一黑屋中，阳光仅通过一个圆孔照入，以光线进出的折射方法将三棱镜放在靠近小孔处，使光线投照在对面的墙上。如果进入黑屋的阳光通过小孔很倾斜地落到器皿的玻璃侧面上，在其出口的光线将颜色涂在它们投放的纸上，这时蓝色和红色光线被第一次折射所分开。”牛顿发现日光谱确实是在1665年至1666年间完成的，至于具体时间，他在1672年2月6日给奥登伯格的信中做了说明：

“……在1666年初，我取一个玻璃的三棱镜，用以试验闻名的彩色现象。为此，将我的房间搞暗并在百叶窗上搞一个小孔，以使适量的阳光进来，我把我的三棱镜放在光线入口处，光线因之折射到对面的墙上，起初这是一种颇令人愉快的事，看到由此产生的生动而明显的彩色，过了一会儿，我仔细地对它们进行思考，对看到它们呈一椭圆形感到惊讶，因为按照我接受的折射定律，原来希望它应当是圆形！”

牛顿在这时完成了发现太阳光谱的工作，他在1664年中期，只看到红、黄、蓝、紫红、绿五色光谱，而这一次却看到了七色光谱：红、黄、绿、蓝紫—紫红同橙和青在一起，并夹有明显的中间颜色。关于这类实验的详细情况和分析，牛顿在任卢卡锡讲座教授后发表的光学讲义第二部分的第五讲中，做了详细的介绍，并且他于1672年2月8日在皇家学会宣读的《关于光和颜色的问题》论文中，介绍了两个三棱镜向后折射再映到墙上这个实验。他提出颜色分两类，即简单的或原色和复合色，“原色或基色是红、绿、蓝和紫——紫红同橙和青在一起，并有不明显的各种中间程度的颜色。”由于皇家学会会员们的出席和《哲学会报》于2月19日的发表，牛顿发现的太阳光谱才被学术界了解。他在1675年12月7日给奥登伯格的信中，明确将颜色分为红、橙、黄、绿、蓝、青和深紫。

关于颜色的来源，笛卡尔认为各种颜色的区别是由组成以太的小球转速的不同引起来的，波义耳认为它们是由于眼球对光的修改才使视觉感到颜色，胡克认为是光脉冲的强弱程度的不同产生的，巴罗认为颜色是由放出的光的稀疏程度不同形成的。牛顿在经过实验和原子论观点分析后，提出颜色是由光的折射率不同产生的。

牛顿在1665年至1666年的手稿中描述了他使光通过小孔并接连投到黑屋中相距五或六码的两个三棱镜上，发现第一个棱镜入出的蓝色光线的折射角比红色光线要大，绿色的折射角居于其间，而纯红色的光线被第二个棱镜折射后仍为红色，蓝色的仍为蓝色。当将三个以上的棱镜上下排列时，几束光线分别投入这些棱镜，它们经过折射后，每个棱镜将折射后展示出上下排列的从红到蓝的光谱。由于叠加的结果在墙上映出上红下蓝边界和中间呈白色的光谱。他从这些实验得出颜色由光的折射程度不同引起的，白色的光经折射展示出各种基色，而各种基色合在一起又呈现为白色。

牛顿在他的《光学讲义》的第四部分《颜色的起源》中写道：“但是，至今为止我的思想才更清楚了：第一，我发现不同的颜色与不同折射的光线相对应，紫红或紫色与最大折射的光线相对应，红色对应于最小折射的光线，绿色或勿宁说是绿边和绿蓝与中间色相对应，然而，蓝色落在紫红与绿色之间，黄色在绿色和红色之间。因此，光线是越来越折射的，产生这些颜色可依次排列成：红、黄、绿、蓝和紫色，与所有和它们次第相连的及中间的颜色在一起。”

接着，他提出了不同的颜色与不同折射的光线相对应。这是第一次将他发现的太阳光谱公之于众。稍

后几个月，牛顿又在《光学讲义》第 部分的第三讲中，首次公开提到“折射率”一词及其与颜色的关系。

他说：“从已经指出的不同颜色与折射率的一定程度相对应来看，不仅是明显的，而且也可以由存在不同折射的光源，和不同的折射光线就是不同的颜色的同样实验所证明。反之，……我在第一讲讲授了解与颜色有关的不同折射率问题的目的是要搞得更加清楚。所以，很明显，不与别人相谈，人们就不能清楚地讨论。”

这些说法也在皇家学会宣读的第一篇光学论文中也讲过，并且在《哲学会报》上发表，引起了强烈反响。

光的微粒说作为近代的一种科学上的光组成理论，与光的波动说并立，对后来光学和辐射的研究产生了重要影响。牛顿是近代学的微粒说的提出者，并在著名的波粒说争论史上一度居于统治地位。

牛顿主张光的微粒说有两方面的原因，一方面是他的科学生涯从一开始就有接受原子论的原因，另一方面是他的有关光学实验能够证明这种说法是合理的。

牛顿在他的三一学院笔记《空气问题》中曾说过：“空气的部分是否比光的那些部分更小。”他认为空气“由子物体”即粒子组成，则光也是由粒子组成。在同一时期写的《颜色问题》中，以笛卡尔的“小球

“多少讨论颜色的差异。尽管他在1664年后期写的《颜色问题》中，用以太的振动和脉冲法说明视觉与大脑的关系，甚至说“光的反射和折射是由种种以太造成的。”但是这不过表现出他的研究不多的情况下，部分接受了笛卡尔的说法，并且成了70年代中后期向以太说妥协的根源。此外，他在1665年至1666年间阅读胡克的《显微学》第73页上所加注释中，有这样一句话：“何况，在第73页的实验中虽然不是一切红色变成黄色，所有黄色和非黄色却可以浓化为红色，除非色彩的最小粒子已经就是黄色的。”明显表现他早年的光由微粒组成的思想。

牛顿对光微粒说的进一步研究发生在光学讲课过程中。约在1670年4月左右的光学讲义第四部分第四讲中，他第一次提出不同颜色粉末的混合实验，不但用这种实验证明他的颜色理论，而且清楚地印证了他的微粒说。他说：“最后，通常观察到不同颜色的粉末混在一起时，一种新的颜色就出现了。而且，如果用显微镜考察这些粉末，可看到全都是具有它们自己的颜色。因此，它们自己的颜色并未因这些粉末的混合而破坏，而却是因为混合才有一种新的颜色产生出来。很清楚，同一种颜色是从几个三棱镜引起的颜色及几种粉末的颜色的混合所产生的。”他将光通过三棱镜折射后的混合色和粉末混合产生的颜色对比，

说明光的组成和复合色由基色的混合所形成的道理。他在向皇家学会报告的第一篇光学论文中，批驳了笛卡尔的光理论。他说如果光是由小球体组成并穿过以太，必然受到阻力，使其径迹弯曲，但实验中未发现其径迹有曲度，因此他得逐渐排除这些猜测，着手做窗上开小孔的光学实验。这篇论文没有明确谈他的微粒说，但包含着这样的思想，以致引起胡克的批评。但是，牛顿在1672年6月11日给奥登伯格的信中，谈到胡克说他认为光是一个物体并将它说成是他的假设时，表示“我曾经宁愿把它们看作光粒子的各种运动形式中大小在大脑中激发的感觉模式，它是光粒子对感觉器官造成的各种机械的影像，像我在说光的形体的地方所表示的”，“但是，假定我提出了这个假设，我不了解胡克先生为什么竟这样竭力反对它”。牛顿这段话是针对胡克指责他发表的第一篇光学论文中的命题说的，牛顿认为光是实体的思想与他的光粒子是符合的。但是，在他的光和颜色理论受到胡克和惠更斯等人的批评后，他开始向以太说妥协，并一度由粒子和以太波的变化相结合的方法说明光和颜色。

牛顿在1665年至1666年间发现颜色与光线折射的关系，他根据折射定律认识到光经过透镜分成多种折射的不同颜色光线，则透镜成像必然产生色散像差，使折射望远镜的清晰度大减弱。为了改变传

统折射望远镜的这个缺陷。他在1668年开始自磨透镜片研制反射式望远镜。

牛顿在1666年初开始进行理论上的探讨，直至1667年才买磨透镜的设备，当他用已有的“标准球面透镜”检测其他球面透镜的偏差时，才引起他对色差和像差的注意，因为不同折射率的光线的折射角不同，各有其焦点位置，必然出现色散像差。出于这样的考虑，使他在1668年研制能消除色散像差现象的新望远镜——反射式望远镜。但是，牛顿自己在1672年2月6日给奥登伯格的信中，却说这是在疫症流行前的三棱镜实验中发现光的不同折射率时产生的想法。他写道，当他了解这种情况时，他意识到那时望远镜的完善性是有限制的，并不像按照光学学者们的法规之所要求的那样，用准确的图形表示玻璃的形状，那是人们的理想情况，因为光本身是一种不同折射光线的混合物，实验发现使他感到“我惊奇了，像我发现的那些折射率之差一样大，现在望远镜将达到它们应有的完善程度了，”“这使我考虑反射，并发现它们是名符其实的，这就是各种光线的反射角等于它们的入射角。”1668年他用自己配成的金属并磨成镜片，制成长6英寸和放大40倍的反射式望远镜，其原理是光通过抛物面目镜后，由斜45°的平板反射镜将光线反射，通过镜筒上的小孔进

入凸透镜的目镜。他这用台小望远镜观察到木星及其卫星和月牙形金星。关于这台望远镜的详细情况，牛顿在1689年2月23日给一位朋友的信中做了说明，并说按这种方法可做成6英尺长甚至60或100英尺长的望远镜。1671年他又做了一台长25英寸和放大38倍的反射式望远镜。有人要他将自己的发明送到皇家学会审查，为此他在1671年12月给奥登伯格写信并应约将望远镜送到皇家学会。奥登伯格在次年1月2日给牛顿的信中，告诉他将由著名科学家审查。并在1日写信告诉在巴黎的惠更斯，为此给出其图形，准备了说明结构与用途的资料，11日他向皇家学会宣布已将望远镜呈交国王观看，受到广泛好评。

1671年12月23日索尔兹伯里的主教和牛津大学天文学教授S·瓦尔德提议选牛顿为皇家学会会员，1月11日皇家学会接纳牛顿为皇家学会会员，2月8日他又在皇家学会会议上宣读了他的第一篇光学论文《关于光和颜色的理论》。可见，发明反射式望远镜是牛顿进入皇家学会和在学术界闻名的直接原因。

光的薄膜实验和发现是牛顿研究光的干涉现象和提出“突出理论”的根据，在光学史上有着重要意义。

早在1665年至1666年间，牛顿就在波义

耳和胡克等研究透明薄膜因光照产生的彩色现象的影响下，开始研究这个问题。他观察了球形玻璃与平面玻璃靠紧时，彩色光环与球面和平面之间空气厚度的关系，厚度越小色环的宽度越大，反之则色环愈窄和愈密。他认为从接触点以外彩色光环按日光谱顺序周期性排列。此外，他还观察到两个相靠在一起的三棱镜平面间有空气或水膜时，也都在阳光照射后出现环的周期性排列。这是牛顿在早年研究薄膜光环的情况。约在1670年，牛顿为了准备光学讲课又仔细地做了关于二平玻璃之间和曲面玻璃与平玻璃之间充以空气或水的折射实验，并写了《二邻接玻璃之间色环问题》一文。1666年他用的是2.5英寸曲率半径的透镜，这时改为5.0英尺的，色环半径增加5倍，眼距离透镜8至9英寸，经过实验和测量，首次提出色环的周期性和薄膜厚度与环直径的平方成比例。他在1672年写的《观察结果的讨论》中，根据胡克的批评，将他的颜色理论与光的概念分开。得出“色环直径与光线的倾斜度的余弦成比例，或与其倾斜度的正弦成反比，或者与正弦的平方、运动或撞击成反比。”这使他的粒子说更容易成立。但是，不久光学争论使他开始向以太说妥协，这种妥协在1672年6月11日的信中已开始出现，约在1674年左右写作《论空气和以太》一文时发生决定性的转变，从此至

1679年，甚至到1684年中期，基本上属于他向以太说妥协的阶段。

1675年12月7日牛顿在给奥登伯格的信中，描述了他对薄膜光环的24个实验观察，并用他的以太说从理论上加以阐述。这些实验是在60年代实验的基础上，因1672年初之后在光和颜色问题上争论的需要又重新仔细做的。他用的是靠在一起的两个三棱镜、两块玻璃和凸透镜与平玻璃、玻璃气泡和肥皂水泡等，他认为后三种产生的彩色光环比前两种清楚。根据他列出的入射角、折射角、空气厚度和色环直径的实验数据表，入射角和折射角越大及空气越厚，则色环的直径越大。他还列出各周期色环序列与薄膜厚度关系的实验数据表。其中，他将薄膜的材质分为空气、水和玻璃三种。表明色环的周期是随薄膜厚度产生的质的变化，同一周期内的色环序列因薄膜厚度增加而由紫向红递次量变。对于同一周期的同一种彩色光环来说，空气的最宽，水的次之，最窄的是玻璃的。关于形成色环的理论问题，他在这封信中指出，一个凸透镜的凸起部分与平玻璃相靠，因为光线几乎可以完全通过顶点呈现为暗点。

牛顿在光学研究上还有一些其他重要成就，如对虹和衍射现象的实现观察和解释等。

古希腊的自然哲学家如古原子论的创造者和亚里

士多德等，对于虹现象已经根据自己的观点做过解释。近代的科学家如笛卡尔、波义耳等也曾比较详细地研究过。笛卡尔在《流星》第八章中，用水滴折射的观点做过说明。牛顿受到他的启示，在1665年至1666年间写的《颜色问题》中，提出虹是阳光被云层中的水滴折射后在天气中产生的彩色环现象。他用以水充填的大玻璃球做实验，可看到阳光被它折射并经过空气后在白纸上呈现出彩色。在光学讲义中，牛顿说：“现在仍然保持着笛卡尔对奇特的虹现象所提供的解释方法，……关于水滴折射及其范围的一种最巧妙的发现也是他。但是，他处理虹的物理原因却欠佳。”牛顿认为虹物理原因是光线入射到一个水滴表面之后，经过折射到对面另一点上，其中部分又折射到大气中，另一部分再次反射到水滴表面的其他点上，它再次分为折射和反射光线，有的可在水滴内反射多次后才折射出去。但是，水滴极小，可视为点，只考虑其入射角和出射角，当入射角最大或最小时，出现的光线通常是集中的。不同的最大和最小入射角与不同颜色光线相对应，并显示出虹的某种色带，其最里的为虹的蓝色带，最外的为红色带，其他的为中间色带，因为其边缘的云亮度大，可看到的虹宽度难以超过 2° 。他在《光学》第一卷的命题IX中，指出古代和A·道米尼斯在1611年发表的一本书中已了

解虹，后者甚至用光线在水滴内外的折射和反射进行解释。也指出笛卡尔的解释也一样，可是他认为“他们不了解颜色的真正原因”。

关于衍射现象。牛顿在1672年或早些时候还不了解格里马尔迪发现过衍射现象，但是他在1670年早期的光学讲演第一部分第三讲中，由日光穿过小孔投射到三棱镜上的实验看到了衍射现象。在1675年12月7日给奥登柏格的信中，他以近两页的篇幅明确地阐述了衍射现象及其产生的原因。他说：“在这里，我将断定存在另外的颜色现象，它会逃脱人们的注意。您会记得，胡克先生说在一黑屋中在接近一把剃刀、刀或其他不透明物体的边缘的通道上引起一种奇特的失散现象。很接近边缘通过的光线因之被搞得在所有角上失散到刀的阴影中。

……我想我以前在意大利的某作者的著作中看到过这个实验，作者是昂诺拉图斯·法布尔，著作是他的《关于光的对话》，他是从格里马尔迪那里才知道的。我说到他是因为我要进一步描述出自他的东西，您由这样的图形将会理解。”

在《光学》第三卷第一部分中，牛顿称衍射为“拐折”，在介绍了格里马尔迪发现物的影子之后，他对拐折现象做了11次实验观察。他用的东西是头发、线、针、稻草等细长物体，当将它们放在经过小

孔的光线照射处，影子宽度远远超过它应有的数值，如放在 10 英尺之外的头发，其影宽竟放大 35 倍。如用石、金属、玻璃、木、鹿角和冰等，在这个光照下的影子显示出以三个平行条纹或色光带为边界，则影宽、三个条纹与影边距离、各条纹亮光中部间的距离和各条纹的各个色带的宽度，都因这些物体与小孔距离的增大而变大。

在《光学》的头五个《疑问》中，牛顿提出了光和物体的相互作用问题，这些问题自然也与“拐折”和衍射的机理有关。按照他把力定义为相互作用，这种原因显然是物体与光之间的力产生的。但是，按照 1684 年中期之后他又回到原子论观点和光微粒说，可以得出拐折和衍射是由于光通过物体边缘时受到物体吸引力的作用才产生的，很可能由于他回到光粒子说的观点和当时实验条件的限制，使他在光的绕射和衍射的研究上未能再深入发掘下去，直至 1801 年才由 T·扬和 1815 年由菲涅耳用切实的光干涉和衍射实验恢复了波动说。

此外，牛顿还考察过惠更斯发现冰漩石的双折射现象，研究了后来所说的偏振光原理。由于他的小孔光实验有时靠助手去观察和通过棱镜折射穿过小孔的光线，使他在与沃拉斯顿几乎同样的实验情况下，未观察到夫琅和费线。

在牛顿的许多重大发现中，牛顿力学所表现出来的历史面貌尤为卓越。牛顿从早年写《流水帐》时起，直至《原理》和《光学》的写作，凡是比较系统的理论性论文手稿或著作，几乎都采用欧氏几何公理系统的方法，以定义、前提、命题、定理、系、问题和注释的推理层次展开他的论述。这种论述的方法在牛顿之前的物理学上，只有伽利略在《两种新科学的对话》中采用过。伽利略只用了命题、定理、系和定义的体系，牛顿显然受到伽利略的启发，却没有采用他的对话形式。他的公理系统首先是从定义开始的。

从牛顿的一系列手稿和《原理》给力所下的定义来看，他所说的力指的是外加的力，与伽利略在《关于两种新科学的对话》中的说法一样。因此可以认为他在力的说法甚至后来的力定义上，是沿着伽利略的思路进行的。

牛顿的力的定义大体上分为四个发展阶段。在1665年写的《流水帐》中，他的力定义完全是感性的和表象的，如他说“力是一个物体加于另一物体上的压或挤”。在1668年左右写的《论流体的重力和平衡》中，他基本上采用了伽利略对力下的定义：力是“运动或静止的”原因。牛顿这时的力定义为：

“力是运动和静止的原因，或者是加在某一物体上的外因，或者产生或破坏它的运动，或者至少在某

种范围内改变它；或者力是内因，物体的运动或静止由这个内因而保持下来，并且每一个实体由这个内力图保持它的现有状态并反抗任何阻碍。”

这个定义包括外加力和惯性力，但是其基本内容是“力是运动和静止的原因”，这表明牛顿对力的认识由表象向本质发展。在1684年8月至10月的《论运动》的手稿中，头几个手稿未对外力下定义，只是在《论均匀介质中的物体运动》和《论初始自由体的运动》中，以“外加于物体的力”的词汇定义为：“外加于一物体上的力是一物体极力改变其运动或静止状态的力，并且是与撞击的冲力或压力、连续压力、向心力和介质阻力不同的力。”

这个定义是以打破物体惯性运动的作用来定义的，它是《原理》第一卷中外加力定义的基础，但是却以“作用”取代过去用的“原因”或力，因而更科学化了。他又说：“一个外加力是施加于一物体上以改变其静止或在一直线上匀速运动的状态的一种作用。”从牛顿对力或外力下定义的过程，可以看出他在伽利略的基础上，是怎样一步步深刻认识并从感性上升为理性的，以及逐步严格和科学化的。流行至今的力是物质间的相互作用的定义就最早出自《原理》。

随着研究的不断具体化和深入，牛顿将力的概念分成多种力，并分别下了定义。1668年左右在

《论流体的重力和平衡》手稿中将力分为能动力、惯性力、压力、重力。在1665年发现离心力定律后不久，提出了离心力这个词，但未下定义。在1684年写的《论回转物体的运动》手稿中，第一次提出向心力概念，并定义为使物体迫向或拉向可看作力心的力。这些定义在《原理》中被采用，并且逐渐科学化。其中，牛顿又从向心力出发分为向心力的绝对量、加速量和动量，并分别给出了定义。

牛顿对惯性力的理解可分为三个阶段。1668年左右他在《论流体的重力和平衡》手稿中，把惯性理解为惯性力，并定义为“惯性是物体的状态不易被一个外力所改变的物体内力”。但是，在1684年的《论回转物体的运动》中，又改称惯性为“一物体的力或物体中固有的力”，并定义为“因为这个力使物体力图保持沿一直线运动”。牛顿将惯性力与惯性概念作了区分，并且实际上将它们理解为惯性质量。这种思想在随后写的《论物体在流体中的运动》手稿中仍未改变，但是却在不久写的《论物体在均匀介质中的运动》手稿中，将它分成了“物体内在的和固有的力”和“一物体的力”两种。而且说“一物体内在的和固有的力是它保持静止或在一直线上运动的状态的动力”。又把一物体的力的定义改为“物体力图改变它的运动量的力”。他在认识上前进了一步，最后，

在《原理》中，他综合了上述一些定义的特点，下了一个科学的定义：

“物质固有的力是一种抵抗力，每一个物体在它所处的位置上利用这个力继续保持它现有的状态，不论它是静止的还是在一直线上匀速地向前运动。”这个定义将惯性和惯性力在说法上明显地区别开来。牛顿一再变化后，他对物质内在固有的力的解释实际上就是指惯性力或惯性质量。由于他对引力质量和惯性质量的区分的看法只局限在思想上，从未在文字上明确提出它们的概念和词汇，所以造成了表达过程的复杂。

质量概念和定义在牛顿发现运动定律和万有引力定律过程中有着十分重要的意义，没有质量概念或动质量概念的突破，不可能科学地表达运动第二定律及其表达式，也不可能把运动三定律作为一个整体提出来和发现万有引力定律。

牛顿对质量概念的认识分静质量和动质量两个方面。静质量就是他在《原理》中所说的由物体的重量知道的，并与其重量成比例的物质之量。动质量就是他说的物体得以继续保持其运动状态而对外反抗的一种内在固有的力，对于惯性运动来说就是惯性质量，对于落体运动来说就是引力质量。

牛顿不同意笛卡尔将空间同物体都定义为广延性

的说法，笛卡尔主张稀薄的以太充满着空间，因此将二者等同。牛顿主张原子和真空，认为宇宙由物体和真空的空间组成。因此，他认为空间有绝对的和相对的之分，二者的区别在于是否与外部的物体有关。地方是空间的一部分，运动不过是处所的变化。由于时间也分绝对的和相对的，绝对时间是与外部物体无关的均匀流动，相对时间则与外部物体有关。所以，他把运动分为绝对运动和相对运动，绝对运动是物体从一个绝对地方转变到另一个绝对地方，相对运动则是物体从一个相对地方转变到另一个相对地方。他认为速度是运动的强度，是“在一定时间内经过一定径迹长度的平移运动的数量”，加速度是“与既定时间内产生的速度成比例”。

牛顿发现的运动第一定律从内容来看，和惯性律没有什么不同，那么发现了惯性律是否就等同于发现运动第一定律呢？严格说来，不能这样说，这是因为运动三定律是一个整体，它们作为牛顿力学的一个基础彼此是紧密联系在一起，正是在这种意义上才产生“运动第一定律”这个名称。因此，伽利略虽然发现了惯性律，并为牛顿后来的工作开辟了道路，但是却不能说伽利略发现了运动第一定律。

牛顿在1664—1665年写的三一学院笔记的《运动问题》中，未提到惯性运动。他对惯性运

动的研究不会早于1665年中期。而这种研究约延续到1668年，因为只是在这时写的《论流体的重力和平衡》一文中，他才第一次提到惯性及其定义。他写道：“惯性是一个物体内的力，以其状态易于被一个外力所改变。”

从这个手稿开始，牛顿的注意力已经从惯性运动的阐述转向研究惯性运动的本质，提出它是由物体内在的属性——惯性力或质量决定的。这种转变在1684年8月中，表现得十分明显，如在《论回转体的运动》、《论流体中的球体运动》、《论均匀可变形介质中物体的运动》和《论物体的运动》等手稿中，都是以物体或物质的内力为着眼点，探讨惯性的本质。这种情况发展到《原理》中，牛顿将惯性或惯性力与运动第一定律分开，分别予以表述。他在《定义》一节的定义中谈到物质固有的力是一种抵抗力之后写道：“这个力总是与物体成比例，它就是这个物体的力，与质量的不活动性没有什么不同，而是以我们设想的方式存在。从物质的惯性来看，一个物体表现出它的静止和运动状态不是没有困难的，因为这个原因，用一个最有意义的称呼，可以把这个 *vis insita* 称为惯性或者不活动性的力。”牛顿在《原理的定理或运动定律》中，提出了他的定律：“每个物体继续保持它的静止或在一直线上匀速运动的状态，除非被加

于它上面的力所迫改变这个状态。”这就是著名的牛顿运动第一定律的最早的正式说法，它是关于运动状态的，而与物体内部固有的力无关。

《原理》中的运动第一定律是作为运动三定律的第一定律提出的，而在《原理》第一卷写作之前的两个手稿中，牛顿提出的不是运动三定律，而是运动五定律和六定律。在《论球体在流体中的运动》一文中，他提出的是运动五定律，其中运动第一定律是：“假如没有东西阻止，一个物体将只在它固有的力作用下，在一直线上永远匀速地运动下去。”他在稍后的《论均匀可变形介质中的物体运动》一文中，又提出运动六定律并改变了运动第一定律的说法。每一个物体由于它固有的力保持静止的或在一直线上匀速运动的状态，除非它受到加于其上的力，被迫改变它的状态。然而匀速运动有两种，物体沿着它的中心所描绘的直线向前运动，和绕一个静止轴或与这个轴的以前位置一直保持平行等速运动的某个轴旋转的圆周运动。

从演化过程看出，牛顿从研究惯性运动时起至最后提出运动三定律的运动第一定律止，花了长达20年的时间。这段演化过程的重要原因是发现惯性质量或惯性力并将它与惯性运动区别开来。因此，在质量概念中演化出惯性质量概念，是从惯性律向运动第一定律转变的关键，只有这样才能深刻地和科学地理解

惯性律的含义，才能找到它与其他运动定律的内在的有机联系，才能作为运动第一定律提出来。

运动第二定律是牛顿动力学中最主要的定律。它的内容包含着两个层次，第一个层次是惯性运动状态的变化与作用力的关系，第二个层次是作用力与惯性质量和加速度的定量关系。伽利略的研究方法是发现惯性运动、落体运动及它们的合成——抛物体运动，他研究的出发点是作用力与加速度的依赖关系，批判并否定了亚里士多德的力与速度的依赖关系。牛顿接受并发展了伽利略的作用力与加速度的依赖关系的观点，并且以惯性力或惯性质量概念揭示了保持和打破惯性运动状态的动力学问题。牛顿的研究方法是分别研究打破惯性运动和落体运动时，外加力和重力与质量和加速度的关系，然后在惯性质量和引力质量等效的条件下，将二者统一起来，形成一个普遍性的运动定律。这就要求质量概念的突破，并具有高度的概括能力。

运动第二定律是应发现万有引力定律的需要才发现的。这是因为发现万有引力定律的过程必须由发现万有引力与距离的平方成反比和与相作用的两物体的质量乘积成正比两部分组成，后一部分的前提就是作用力与质量的比例关系，而这个比例关系与动质量概念的突破和惯性质量与引力质量等效概念的确立又紧

密地联系在一起。所以，运动第二定律的发现是一个复杂的从定性向定量转变的过程。在牛顿之前，没有一个科学家认真研究过和提出过运动第二定律。牛顿早在1665年，通过研究惯性运动的变化与作用力的关系开始注意运动第二定律。他在《流水帐》中，谈一物体妨碍另一物体前进的力是由压力形成的，使物体运动的力或保持物体运动的力“与物体成比例”。“因此，任何二物体发生的运动与作用于它们上的力成比例”。牛顿在1665年至1666年间，已经认识到作用力与物体和运动大小成比例，也说明他从一开始就试图定量地指出作用力与质量和加速度的关系，但是他在1684年之前没有做过大量实验和未提出动质量概念的条件下，没能得出定量的结果。因此，他基本上在沿着定性的途径探索运动第二定律问题。

牛顿在《流水帐》中，在提出每一种东西都自然地保持它所处的状态之后，又在定理104中把减小或增加速度的原因“通常地称作力”。接着，他以一个定理的形式表述说：“按照这个原因，用或应用它的动力或力阻止或改变物体所处状态的持续性，也就是说力图改变它们的持续性”。牛顿在这里把作用力改变物体的惯性运动的观点，作为他研究动力学的起点，并且提高到定理的高度予以处理。在同一手稿中，

牛顿提出了运动第二定律的早期说法：“一物体必定按它受压的途径运动。”赫利威尔认为这相当于运动第二定律的部分内容，即运动的变化发生在作用力的方向上。1667至1669年间牛顿在《论流体的重力和平衡》一文中，根据这个想法定义了力，并将力分为外力和内力，内力就是保持物体惯性运动的内在固有的力，实际上就是惯性质量。他写道：“力是运动和静止原因的本原。它或者是一种外因的本原，即产生、破坏或改变外加到某物体上的运动，它或者是一种内因的本原，由这个本原现有的运动或静止存留在一个物体上，而且由于这个本原，任何存在都力图继续保持其状态并反抗阻力。”

牛顿在这里将保持和打破物体的惯性运动状态的力看作本源的观点，定义力并将力分成外力和内在固有的惯性力两种。这种观点和将力分类的方法，在后来具有重要的科学意义，对力学的发展产生了深远的影响。

牛顿在1684年8月后，在《论运动》一文中，用几何法和极限概念论证引力平方反比定律。但是，从引力平方反比定律到发展成万有引力定律，必然发现运动第二定律，以解决万有引力与质量成比例的关系问题。这就必须把惯性律和打破惯性运动的规律性及其他运动规律，提高到运动基本规律的高度认真加

以分析、研究和概括。如果说牛顿在过去只是个别地和偶尔地接触到这种问题，那么到1684年8月之后就开始把它们全面而系统地进行考察，并且将它们与引力平方反比定律和万有引力定律联系起来，因而使牛顿的动力学研究进入了一个崭新阶段。

在1684年写的《论球体在流体中的运动》一文中，牛顿提出运动五定律，在运动第一定律之后，他的运动第二定律是：“一物体的运动或静止状态的变化与外加的力成比例，并且沿外加力的直线发生变化。”在稍后提出运动六定律时，运动第二定律为“运动的变化与外加的力成比例，并且沿外加力的直线发生变化”。两个说法基本一致，它们构成了牛顿的《论运动讲义》和《原理》中运动第二定律的基础。

《原理》中的运动第二定律的正式说法是：“运动的变化与外加的动力成比例，并且运动的变化发生在外加力的直线方向上。”运动第二定律的这些说法，表明了作用力与运动变化成比例和运动变化的方向问题，却并没有明确指出作用力与质量和加速度的关系问题，恰恰是这种定量的关系才是发现万有引力定律的关键环节和动力学计算的基础。

牛顿在1684年写的《论物体的运动》一文中，对作用力、质量和加速度的关系做了明确的说明：“加速的量或力与一既定时间内产生的速度成比例；

因为同一块磁铁的力在较小的距离上较大，在较大的距离上就较小，或者重力在接近地球处较大，在较高的区域就较小。运动的量或力与在一既定时间内物体产生的运动成比例，因为重量在较大的物体中较大，在较小的物体中则较小。所以，动力与加速的力之比等于运动与速度之比。因为运动之量是由速度乘以运动的物体导出的，因为加速力的量是由加速的力乘以同一物体导出的，所以在地球表面附近，在一切物体中加速的量是一样的，运动的重力或重量是与物体成比例的。但是，如果一物体进一步自地球退离，并升入加速量较小的区域，重量会对等地减小，并且将总是与物体乘以加速的重力成比例。”这段话中的“加速的量”和“加速的力”，指的是加速度。“运动”或“运动的量”指的是动量，“加速力的量”指的是与加速度相对应的作用力。“物体”就是质量，“加速的重力”是重力加速度。根据这些理解，这段话的意思主要是加速度和力与单位时间内的速度变化成比例，动量和力与单位时间内产生的运动成比例，作用力与加速度之比等于动量与速度之比。因为动量是由速度乘以质量求出来的，作用力是由加速度乘以质量求出来的，所以在地球表面附近一切物体的重力加速度是一样的，重力或重量与质量成比例并且总是与质量乘以重力加速度成比例。牛顿在此之前，一再提出物体

固有的惯性力或“物体”就是惯性质量。但是，水平面上的运动与落体和磁力作用产生的运动不同，因其作用力并不是持续地作用于一个物体上，因此由水平面上得出的运动第二定律并不能用于落体运动。为了得到适用于水平运动和落体运动两种情况的普遍的运动第二定律，牛顿利用磁铁在水平和垂直方向都可持续施力于铁块的特点，将二者联系起来，得出普遍的运动第二定律表达式：作用力等于加速度乘以质量。它也表明，牛顿通过磁力作用证明惯性质量和引力质量的等效性。从而得出了普遍的运动第二定律及其表达式。这个结论在《原理》中做了明确的说明：“因为运动的量是由速度乘以物质之量求出来的，并且动力是由加速的力乘以同一物质之量求出来的，物体的几个粒子上的加速的力的作用总和就是整个物体的动力。”牛顿提出了运动第二定律，明确提出了运动第二定律的表达式：作用力等于加速度乘以质量。他甚至提出了重力或重量与质量乘以重力加速度成比例，表明牛顿在发现引力平方反比定律之后，为了进一步发现万有引力定律的需要，才发现了运动第二定律及其表达式。遗憾的是18世纪中，欧洲大陆很多著名科学家，只承认牛顿发现了运动第二定律，不了解或不承认牛顿提出过作用力或动力等于质量乘以加速度和重力与质量乘以重力加速度成比例，并且产生广泛

的影响。

牛顿发现运动第二定律，在理论力学上的决定性意义很快得到欧拉、达朗伯和拉格朗日等人的高度评价和发展，对后来的力学和物理学发展产生了极其深刻的影响。

运动第一和第二定律是关于物体惯性运动和打破惯性运动的定律，但是对于一个物体系统来说，必须存在作用和反作用或运动传递的问题，这就需要一个有关物体之间相互作用的定律加以补充。牛顿从力的观点研究了物体碰撞过程中相互作用的关系，在一般意义上说碰撞过程中力的关系更基本些。牛顿研究这个问题是受到笛卡尔的影响才进行的。《流水帐》的记载说明，他早在1664年1月20日，即刚开始学习动力学时，对弹性体的碰撞问题发生兴趣，并用动量观点进行讨论。到1666年，牛顿研究了二球形绝对刚体的碰撞问题，并从作用力而不是动量的观点提出了看法：“在它们向彼此运动的时间中，它们的压力处于最大值，或者勿宁是以它们的运动停止所需的全部力进行的。那么，只要这两个物体都不相互屈服，它们彼此之间将会持有同样猛烈的压力：那就是像阻止它们向彼此运动的物体同样多的力，像现在促使它们相互分离所需的同样多的力。所以，它们将以像弹回之前向彼此趋近那样多的运动相互离开。”

牛顿已经认识到二刚体相互碰撞的瞬间，彼此以相等的最大压力或作用与反作用力相互作用，也就是说那时已经有了运动第三定律的萌芽。稍后，牛顿说：“如果二物体 p 和 r 彼此相遇，因为 p 压 r 和 r 压 p 是一样大小，所以二者的阻力是相同的。”同时他还用图形明确表明 p 压 r 和 r 压 p 的力在同一直线上。已经通过二弹性体或刚体的碰撞，认识到作用力与反作用力相等并在同一直线上，由此也知道了运动第三定律的内容。他在《论球体在流体中的运动》一文中，没有把作用力和反作用力相等和方向相反作为一条定律。稍后，牛顿认识到这个不足，就在《论均匀的可变形介质中物体的运动》一文中，提出了运动六定律，并把这一个规律列为运动第三定律。他说：“任一物体对其他物体的作用与它在反作用中受到的作用大小相同。这一东西压或拉其他东西与它被压和拉的力相等。”这是运动第三定律的初始说法。运动第三定律的正式说法是在《原理》一书中提出的：“对于每一个作用，永远有一个相反而相等的反作用，或者，二物体彼此的相互作用是永远相等的，并且指向相反的方向。”

尽管牛顿早在 1665 至 1666 年就发现了运动第三定律的内容。但是牛顿如实地提到了许多科学家在论证和验证第三定律上所做的工作，并且指出他

们工作的局限性，他以自己更广泛的考虑、实验和理论与实验相印证，确认了这个定律的正确性。所以，牛顿才是运动第三定律的最早的发现者和科学的论证者。

1685年决定把前三个运动定律看作动力学的基本定律。表现出他在动力学研究上的卓越才能和高瞻远瞩的学术水平。从这个意义上说，提出运动三定律作为运动的基本定律本身就是牛顿的一项划时代重大发现。他把这三个定律看作一个整体并作为动力学的主要基础，也是他对科学发展的伟大贡献。

万有引力定律是牛顿的最著名的科学发现之一，正是这个发现奠定了天体力学的基础，并使牛顿建立了他的“宇宙系统”。他将地球上和天上的物质运动规律和相互作用统一起来，实现了划时代的重大突破。拉普拉斯在《宇宙系统论》一书中写道：“用地球的运动去解释天体运动所表现的简单性，得到天文学家们一致的赞同，它被认为是万有引力原理的一种新的验证，使其达到物理科学可能达到的最高境界。”关于万有引力定律的发现过程和年代问题，一种熟知的说法是在牛顿因剑桥流行疫症而返故乡林肯郡的家中的时候，一天在后花园的苹果树下乘凉，见到苹果落到地上。于是，他就想苹果为什么落到地上而不到天上呢？循此推想下去，使他发现了万有引力定律。其

实，牛顿发现万有引力定律有着深远的思想渊源，也经历了20年的曲折道路，并且在发现权问题上还与胡克发生过争论。牛顿在1676年2月5日给胡克的信中说：“如果我曾看得更远些，那是因为我站在巨人们的肩上。”这句名言正确地阐明和评价了他和前人的关系，它显然对于牛顿的万有引力思想也是适用的。古希腊，斯多葛学派认为一切东西都向宇宙的中心落下，正是自然的运动倾向体现出的“重力”。伊壁鸠鲁的原子论认为重量是原子的三种属性之一，也是说原子由于这种属性才能平行地自上等速下落。他和他的信徒卢克莱修认为斯多葛学派所说的宇宙中心是不存在的。亚里士多德从他的地心说观点出发，认为地球是宇宙中心，说“重的物体本性趋向中心，轻的物体本性趋向上层”，“重的东西在中心，地球是在中心”。亚里士多德主张重力指向地心，由于中世纪经院哲学家们尊奉亚里士多德，使重力即万物趋向地球中心的观点变成正统的，直至哥白尼在1543年发表的《天体运行论》中，提出“日心地动说”之后，伽利略将重力概念按各种天体和地球作为对象加以区分。

他在1632年前已经在考虑地球和天体的重力具有统一性和地球运动是由太阳的引力引起的。牛顿在1665年之前看过伽利略的两个《对话》。对牛

顿的万有引力思想产生影响的早期学者，除伽利略之外，还有 R·培根、开普勒、笛卡尔等。

培根甚至把物体落下的原因和加速运动归于地球的“吸引”。对 R·培根的这些思想牛顿不会不知道。开普勒是行星运动三定律的发现者，这三个定律对于牛顿发现引力平方反比定律和万有引力定律，以及建立他的宇宙系统、彗星理论、潮汐理论和月球理论，都有重大的意义。

牛顿在 1665 年前后了解了开普勒三定律，甚至可能读过开普勒的著作。笛卡尔在《哲学原理》中，提出重量是“依靠各种物体的相对运动关系和位置关系的一种性质”，因此他认为单独考虑一物体时不存在重量问题。笛卡尔用以太旋涡说说明物体或天体的相互作用。他的这些观点与伊壁鸠鲁的原子论相对立，牛顿定义力为相互作用并认为万有引力或重力为物体间的一种相互作用，与笛卡尔的重量观点相符。但是，牛顿在 1667—1669 年间写的《论流体的重力和平衡》一文中，对笛卡尔的以太旋涡说进行了系统的批判，这种批判在 1684 年之后更加严厉和彻底。

法国天文学家布里阿德早在 1645 年就预言过引力平方反比关系，鲍莱尔在 1666 年也有同感，而且胡克在 1680 年 1 月 6 日给牛顿的信中所说的引力平方反比关系来自于布里阿德。说明牛顿的这种

想法受到了布里阿德的影响。

离心力定律几乎都认为是惠更斯在1673年发表的《摆钟》一书中提出来的。但是，这个定律是牛顿在1665—1666年发现的。由于受布里阿德的引力平方反比思想的启发，再加上离心力定律的发现，促使牛顿试图利用开普勒行星运动第三定律、落体定律和离心力定律从理论上论证引力平方反比定律，但事与愿违。这件事发生在1665—1666年间他因剑桥流行疫症回家的时期内。他在1665年1月结束学士学位考试，夏季回家乡，到1667年4月22日才回剑桥。在这段时期，他试图将引力平方反比的思想转变为现实。

牛顿在力学、数学和光学上的重大成就，使他闻名遐迩，但是他在化学研究和炼金术方面的成就却在化学史上几乎不被人提及。其实他像研究数学、光学、力学、宗教与年代学等一样，他研究炼金术和化学有深刻的思想背景和原因。

巴罗在50年代曾研究过医药和炼金术及炼金术哲学，并形成了一个班子。牛顿的化学实验室就是巴罗、尼德和J·瑞过去相继用过的两层木阁楼的屋子，牛顿在一个手稿中所说的F先生就是研究过炼金术的福克斯克饶夫，牛顿当时生活在剑桥的炼金术和化学研究的圈子内。牛顿为了追求物质组成底蕴的知识，

曾阅读过亚里士多德以后各期的重要炼金术著作，特别是 F·B·海尔蒙特的书。因此，牛顿研究炼金术和化学就是可理解的了。他探索物质的组成和嬗变的机理。在 1664 年后，基本上接受了物质组成的原子论观点和光的微粒说，但是这种看法与上帝创世的教义始终存在着矛盾或不协调，对于一个严肃的科学家来说，通过实验去探索解决这矛盾的方法和寻求切实的答案显然是可以理解的。他对物质的组成也持非神创论的观点，这就决定了他研究炼金术和化学是出于对科学的追求。牛顿研究化学的过程可大致分为三个阶段。一阶段是学习和实验进行探索与研究。二阶段是探索化学使用的机理阶段，由于力学研究和发现万引力定律等原因，牛顿的物质观由向以太说妥协转变为后期的比较坚定的原子论阶段。与此相对应，他的化学思想也转变到以粒子和粒子观点研究化学变化和物质转变与嬗变，也就是说将他在《原理》中表现出来的力学研究成果加以发展，运用到化学研究上，从而开创了继波义耳之后在化学作用机理上进行实验和理论研究的新时期。牛顿明确抛弃了以太说并用新的观点谈论物质的嬗变和转变。他说：“假如以太或其他哪一种物体没有重力，或者虽然有却与物质质量不成比例，那么除去物质的形式之外此物体与其他任一物体之间并无区别。依照形式的递次变化，物体可以

嬗变成重力与物质几乎成比例的那些物体的同一种条件下的一种物体。”说明他以重量与质量普遍接近成比例的大量测量数据所确定的力学观点，否定了无重量的以太构成万物的思想，继而用于物质的嬗变问题上。他还提出了这样的定理：“每一物体能够变成其他的任何一种物体，并且能够假定它会递次转变成所有中间程度的质料。这是几乎所有哲学家们所制定的，他们教导我们一切东西都是由某种获得不同形式的共同物质产生的，并且由于消除这种形式和结构而反转过来又分解成同样的物质。”关于化学作用的实验和机理问题，牛顿在1687年之后做了大量工作。他在《结论》手稿中做了一些描述，如认为酸由水和酸精组成，其粒子很小。酸中的其他物质粒子会因酒石盐粒子强烈吸引酸粒子而沉淀。同理，金属可置换汞的酸化物中的汞而使它沉淀，硫酸精与硝酸盐粒子相遇，会形成硫酸盐而析出硝酸精。金子的密度比水重19倍，但其孔隙仍可被王水、汞和光穿入。金子受热后因其粒子振动的结果而熔化。水因为发酵而转变成更稠密的盐、石和不同的土等物质，最后经过漫长时间而聚积成矿物和金属物质。他认为物质的这些化学变化是由于水和酸的粒子很微小，易于进入物体的孔隙之中并将它们包围，由于它们之间的吸引力更强些，将物体分解而溶解。在1692年3月初写的

《论酸的性质》手稿中，他详细说明了酸粒子浸入其他物体孔隙并将其粒子包围、动摇和解离的原因。他说：“它们使流体运动，激发热量并剧烈地动摇一些粒子，直至将它们变成气体和产生气泡，这就是溶解和剧烈发酵的原因。”又说：“若酸的粒子与土的粒子以较

小的比例结合时，它们就被后者紧紧固持住，事实上被止住和隐藏起来。因为它们不再刺激感官，也不吸收水，却组成甜的和不易与水混合的物体，所以它们就组成我们在二氯化汞、天然的硫、氯化银和升汞腐蚀过的铜那样的油腻物体……但是固持在硫化物中的酸被其他物体吸引得比它自身更强，产生缓慢的和自发的发酵，并甚至使它进入化合物的腐败阶段。这种腐败是这样引起的，有时候酸粒子持续发酵，最后使自己进入最小的缝隙，甚至位于第一类组成之间，因之与这些粒子紧密结合，产生新的混合，这种混合不会消除或退回到其以前的形式。牛顿对化合作用的粒子层次和置换关系做了阐述，他认为碱是由酸和土质以一定比例结合形成的，将“碱”加入酸盐溶液可使溶于酸的金属析出，这说明他对酸盐与“碱”的化合作用做过不少实验研究。最后，他指出化学家们说每一种东西都是由硫和汞构成的道理，就在于前者指的是酸，后者指的是土，他说的土就是碱。

《论酸的性质》是牛顿的一份著名化学手稿。关于化学作用的机理，他提出过这样的说法：“但是，在吸引力强的地方，溶剂的粒子到处都被吸引，例如被金属粒子或勿宁是金属粒子到处被溶剂的粒子所吸引的地方，金属粒子被夺走并到处受到包围，这就是它们腐蚀金属。当用于感觉器官时，这些同样的粒子以同样的方法撕掉感觉器官的部分，而使人感到痛苦……水转化为土时土增加，并且每种东西能成为水。在每次受溶剂分解时，被分解的粒子受到溶剂的部分的吸引反而远大于其相互之间的吸引。”

牛顿用粒子及粒子力的观点说明化合、对人的刺激、金属的腐蚀和溶解过程中亲合力的作用等，这些看法与今天化学上的说法是一致的。

关于物质组成的层次问题，牛顿说：“金子有相互接触的粒子，它们的总和被称作第一类组成的总和，其总和的总和称为第二类组成的总和，以此类推。汞能通过而且水更能通过最后一类粒子间的孔隙，而其他的却不能。如果溶剂能通过那些其他类的粒子间隙，或者第一和第二类组成金子的部分如果能被分开，就将成为液态。如果金能发酵，它就能转变成其他任何物质。”

由于当时牛顿只发现金的密度最大，因此将它定为第一类物质组成，并曾认为它的粒子是紧紧相靠的。

在探索化学变化规律和试图建立化学理论阶段，牛顿的实验工作基本上在1696年任造币局监督时中止。他后来在造币局为了确定金币的成份和改革货币标准等，自己曾指导助手们做过化学实验，只是次数不多，但不属于炼金术性质。

他在1706年的《光学》拉丁文版中加进了光和物体互变及其在物质组成上具有统一性。而且光可以使物体发热、冒烟和产生火焰等内容。在1721年的《光学》第三版的《疑问30》中他又说物体变成光和光变成物体，与自然过程是很吻合的，自然过程似乎是喜欢嬗变的……浓密物体因发酵而稀化成几种气体，这种气体因发酵和有时不需要发酵，反过来变成稠密的物体。汞有时表现为一种流动的金属形式，有时表现为一种硬而脆的金属，有时表现为升华的一种腐蚀性的透明盐，有时表现为一种无味、透明和挥发性的白土形式，称为二氯化汞。或者是一种红色不透明的挥发性土的形式，称为原砂，或者以一种红色或白色沉淀物的形式，或者以一种流体盐的形式。在蒸馏时它转变成蒸汽并在真空中骚动，像火一样闪光。在这一切变化之后再返回汞的起初形式。关于生物和非生物之间的化学转变关系，牛顿说：“鸡蛋产生于感觉不到的大小，并会转变成动物。蝌蚪变成青蛙，蛆变成苍蝇。所有鸟兽和鱼、昆虫、树和其他植物及

其几个部分，都成长于水、多水的结构和盐，并因腐败又再回到水这种物质。并且，水在开畅的空气中凉几天，发生气味，它凉再长一些时间，产生沉淀物和一种精，但是在腐败之前它对动植物来说是合适的营养。并且，在这种不同和奇怪的嬗变之中，自然为什么不可以变物体为光和光变为物体呢？”

他从粒子和力的观点出发，认为某种“精”侵入并处于物体之中，精和力使粒子相互作用并聚集和结合。他说电力“对附近的粒子产生像吸引附近粒子一样的排斥……激发一切物体，使动物各部分按意志运动。”电精是一种极其稀薄的带电以太或电载体，他承认自己不能够确定和证明电精作用所循的规律，却能够从电精的观点分析和认识感觉——神经——大脑——神经——肌肉——反应的传递机制，并且排除了心灵论和精神与物质关系的二元论，这在17世纪早期是一个难得的见解。

关于定量分析和置铁关系动植物的生长与死亡也有独到的见解。他研究化学和炼金术并做出了重要贡献，他是继波义耳之后第一个用原子论观点研究化学的科学家。波义耳认为“绝大部分的物质性质及因之产生的现象，决定于最小粒子的运动和组成”，“化学组合产生于基本的粒子之上”。

牛顿不仅接受了波义耳的合理部分且有很重要的

发展。

他接受了波义耳在《怀疑的 chemist》一书中所说的“这些粒子与另一种粒子相遇，同其中的一些粒子结合得比与这些粒子的结合更加紧密”，运用酸或溶液的粒子浸入溶质粒子间隙并将它包围，以比溶质粒子之间更大的吸引力将它拉入溶液或酸中，说明溶解、化合和分解，并进而用粒子力因距离变化和转变说明化学作用，从而使波义耳的化学思想进一步科学化。他对波义耳的带有炼金术思想的物质嬗变问题，用物理和化学相结合的方法加以发展，并进行更深入的研究。牛顿反对亚里士多德的土、水、气、火四要素说和帕拉塞斯的盐、硫、汞的三要素说，而且用化学观点将它们扬弃。认为硫代表酸，“盐”代表碱，汞代表金属，土代表矿物质和盐，水和气不过是化学过程中的两种物质，火则是化合和分解的一种手段。这样，他接受了前人在医药化学和炼金术研究中的一些有益成果，并用化学方法加以检验和发展，明显表现出他在炼金术向化学发展中所起的促进作用。

牛顿将化学研究推广到了金属和非金属、无机物和生物、物质三态的酸、碱、盐等各个领域，并且研究了生物的营养、消化、生长和死亡的机理，甚至对于过去认为神秘莫测的心灵的神经系统，用电力的作用和传递观点做出唯物主义的解释。尽管他在生命物、

心灵和神经系统方面的形容是很原始和初步的，但是他能在这个过去被神创论和宿命论统治的领域中拓出一个科学的开端，对于后来科学的发展有着很大意义。

牛顿关于一切物质都是变化的和相互转变的观点，追求的是科学真理而不是点石为金，他研究的是物质为什么和怎样才能具有相互转化的统一性，并且从最基本的粒子的排列与组合的观点探讨其机理，这种观点在那时只是用猜测和定性的分析得出的，但却是在将他的力学原理与化学实验结合的基础上进行的，因而有一定的科学根据，并试图将嬗变思想科学化。C·N·瓦维洛夫说牛顿的物质具有统一性和嬗变性思想也是卢瑟福的“新炼金术”的先导。牛顿的这种思想是与物质观上的形而上学和机械论相对立的，而且被科学的发展所基本证实，因而不是徒劳的和无益的。

牛顿不仅接受了古代原子论，而且也有很重要的发展，试图将原子论科学化并用实验去证明。在这一点上，牛顿超出了包括伽利略、伽桑狄和波义耳在内的当时所有的哲学家和科学家。

他经过一系列化学实验、对比和分析，终于发现了金属元素在酸和盐溶液中进行置换的次序，这些实验显然包括了金属元素置换氢和其他金属等，这不仅提出了一个正确的置换次序表，而且导致粒子力和亲和力思想的产生。牛顿进而用粒子力的大小和粒子细

微程度，说明化合和分解及溶解现象，尽管其中含有猜测和不够科学的成分，但是他的思路和研究方法却是十分有益的。19世纪在这方面的一系列发现与牛顿的这种思想发展分不开。

四、巨著与影响

《原理》是牛顿完成近代科学革命和奠定经典力学体系的划时代巨著，也是自然科学史上一座伟大的丰碑，对近现代科学和自然哲学的发展，产生了无与伦比的影响。它是在16和17世纪英国经济迅速发展、资产阶级革命、宗教改革运动和唯物主义哲学兴起年代中，牛顿总结前人一系列科学成就以他特有的才智、学识和勤奋，经过20多年刻苦学习、钻研和创造性劳动，才写出来的。这部力图把自然及其结构的机理纳入到一个统一的科学理论体系之中的巨著，也是试图以科学取代神创论的一次伟大的尝试。它在科学观和方法论上对后来的无数学者的影响是巨大的。

《原理》代表了整整一个时代的科学成就。它的哲学思想基础是原子论。并且以绝对时空与相对时空相结合、绝对运动和相对运动相结合的观点，从质点、质量、运动和力的定义或概念出发，运用渗透在大量欧氏几何中的极限和微积分概念，以及归纳和演绎相结合的方法进行写作。

《原理》第一卷完成于1685年夏天，同时开始写第二卷，约在1686年11月或12月写完。关于第三卷的写作有过一段波折，根据牛顿和哈雷的

通信情况来看，他在开始时并未考虑写这一卷，只是在1686年6月20日给哈雷的信中才提到它。他在信中说：“我曾计划整本书由三卷组成……第三卷应该有彗星理论。去年秋天，由于没有一个好方法，我费时两个月徒劳地作计算，这使我后来返回到第一卷，并用去年冬天发现的一些与彗星有关而与其他事物无关的命题将第一卷加以扩充。我现在计划把第三卷删掉，哲学是无理搅三分的贵妇，一个男人与它发生关系等于卷入一场诉讼。以前我发现它是这样，而现在只要我再次同它接近，它就向我提出警告。没有第三卷，头两卷用《自然哲学的数学原理》这个书名是不太适宜的，所以我把它改为《论二自由体的运动》。但是，进一步考虑后，我保留了前一个书名，它将有助于销售，那是我不应该减少的，因为这是您的事。”

牛顿因为哈雷在同年5月22日的来信中，告诉他胡克提出引力平方反比定律的发现权问题，感到又要发生纠纷而不快，打算删掉第三卷，而哈雷作为个天文学家自然对包括彗星理论的这一卷十分感兴趣，并深感其重要。于是，哈雷在6月29日的信中说：“我衷心感到遗憾，为了这件事，所有的人本应认识到他们受惠于您，可是您竟遇到使您不安的那种事，或者任何厌恶感都会使您打消对贵妇的要求的想法，她对您的偏爱，您有这么多的理由可为之夸耀。嫉妒

您的幸福，试图扰乱您的平静的享受的并不是她，而是您的竞争者，当您考虑到这一点时，我希望它将会使您改变以前决定删掉您的第三卷的想法。凡是在该卷中所能编写的，学术界将无不因其被束之高阁而表示关切。我曾经把这件事向皇家学会的绅士们透露，他们对此很忧虑，这一不幸事件竟会给您带来苦恼，他们对作者都有一种适当的感情……现在我必须再次请求您，不要让您的愤慨大到如此地步，以至于使我们失去您的第三卷，在那里有数学学说在彗星理论上的应用和若干绝妙的实验。从您所定的东西，我推测这些内容应当组成第三卷，对于那些自称不懂数学的哲学家来说，毫无疑问该卷将受到欢迎，而这类哲学家却是大多数。”

哈雷的信表明学术界对于牛顿要删去第三卷感到的遗憾和关切心情。在这种殷切要求下，牛顿着手写第三卷。

第二卷约在1687年3月1日送到伦敦，第三卷也于这个月29日送到伦敦。第一卷约于4月26日印完，此后第一、三卷相继印出，至7月5日哈雷通知牛顿《原理》书全部印刷完毕，并将勘误表编入书中，皇家学会主席佩皮斯在这一天颁发了出版许可证。哈雷根据牛顿的要求，将书赠给皇家学会、波义耳、帕吉特和弗拉姆斯蒂德等人，寄给牛顿20本以

赠给他在剑桥的朋友。此外，又寄给他 40 本，按小牛皮装订并压印的精装本，9 先令一本，普装本 6 先令和短时间可售出的 5 先令一本价格，交书商出售。他在将此书献给英王詹姆士二世的同时写信说：“您本人倾向于偏爱力学和哲学上的发现：我敢说如果曾经有过一本值得一个亲王应允和接受的话，这本关于可见宇宙的组成的有这样多和这样大发现的书已经产生了。”

引力平方反比定律以及万有引力定律和《原理》一书，都是由于哈雷的敦促才发现和完成的，并且从审阅、制图、资助直至印刷过程和发行，也都是他负责进行的。由于他的推荐，皇家学会在 1686 年 4 月 28 日接到第一卷手稿，皇家学会向牛顿致以谢意并召开理事会进行讨论，决定自费以大四开版和优美的字体印刷。当时皇家学会由于已资助出版另一本书引起的经济困难，才由哈雷主动资助。所以，牛顿在第一版序言中特地说明“这本著作出版时，最敏锐和博学的艾德蒙德·哈雷先生不仅帮助我纠正了印刷错误、准备了几何图形，而且正是通过他的敦促，它才得以出版”。哈雷的慧眼和热心赞助与具体帮助，才使这部巨著得以面世。他在 1687 年 3 月 7 日给牛顿的信足以说明他的态度。他说：“直到全部结束时，我决不进行其他事物，并由此希望在一件事情上

避免我自己被加上一切疏忽的罪名，在这一件事情上，我很高兴在某种程度参与了把千秋万代将为之赞美的著作呈献于世人。”哈雷在《原理》写作和印刷过程中，已经预见到它将是千秋万代赞美的著作，并愿放弃一切工作为它的出版竭尽自己的心力。《原理》共有三个拉丁文版，第一版由牛顿本人写作和哈雷负责审定、印刷。第二版发表于1713年，由科茨负责校订、印刷并写了很长的序言。第三版发表于1726年，由彭伯顿负责校订和印刷。它已经被译成荷兰文、英文、法文、德文、意大利文、日文、罗马尼亚文、俄文、瑞典文和中文。《原理》有两种英译本，一种是A·莫特根据第三版翻译的，于1729年出版。另一种是R·索尔普根据第一版翻译的，但补充了科茨为第二版写的第二版序言的英译文。前一种译本经过卡乔里修改后，于1934年出版。后来，考义莱、I·B·柯恩和A·惠特曼又根据第三版并参考了三种版本、第一版手稿和牛顿在第一、二版抄本中加的注释译成英文，于1972年出版。三个版本的书名是《自然哲学的数学原理》，第三版的英译本的书名为《自然哲学的数学原理及其宇宙系统》，1972年的英译本书名《艾萨克·牛顿的自然哲学的数学原理》，第三版附有各种译文。

牛顿在《原理》第一版的序言中，从总体上论述

了数学、力学和哲学的关系，说明他写这本书的原因、内容和方法及出版过程，言简意赅，颇富哲理性。

牛顿认为古代人研究自然最看重力学，他们从理性和实用两方面进行研究。他说理性的力学是关于“力引起运动和产生任何运动所需要的力的科学”，方法是准确证明，而实用的力学则是关于技艺的，因此才出现力学这个名称。他说的数学主要是几何学，即欧几米德几何，它与力学的区别在于工匠是否能准确操作，完全准确的是几何学，它是在力学实践中建立起来的，否则就是力学。几何学的光荣在于由少数几个定量，从无到有，产生那么多东西。哲学的任务在于从运动现象研究自然力，然后从这些力论证其他现象，它与理性力学只研究力与运动的相互关系不同，而是研究运动力现象的。从这个意义上说，它比理性力学内涵更广。他在《原理》中说的力指的是自然力，包括重力、浮力、弹力、流体阻力和其他自然力及与它们有关的问题。他反对亚里士多德学派的神秘的质和实体的形式，而力图通过理性的力学将数学应用到自然哲学上去。这就是《自然哲学的数学原理》一书的宗旨和名称的由来。《原理》以哈雷写的并由里森译成英文的颂诗开始，接着是牛顿为第一、二、三版写的序言和科茨为第二版写的长序。其次，是定义的运动定理或定律。定义有八个，它们是关于质量、动

量、惯性、外加力、向心力、向心力的绝对量、向心力的加速量和向心力的动量。并有一个关于绝对的和相对的时间、空间、处所和运动的定义及其说明与注释。《运动定理或定律》中包括三个运动定律和六个系及一个注释。再后，就是正文，由第一、二、三卷组成。

牛顿的《原理》出版后，得到了哈雷、皇家学会主要负责人和国王的赞赏，但是它是在笛卡尔的自然哲学上取代亚里士多德学派的教条，并在英国和欧洲居优势地位的时候问世的，在国内和国外分别经过25年和40多年的时间，牛顿才逐步取得学术界对他在《原理》中提出的理论体系的广泛承认。在国外得到普遍的高度评价是在百科全书学派在法国取得优势之后。

17世纪晚期英国的大学中，亚里士多德的物理学遇到强烈的抵制，受到笛卡尔的以太旋涡说的排斥。在牛顿的《原理》和光学理论出现时，以太旋涡说已得到广泛的拥护。至1706年，罗尔特以笛卡尔的力学观点写的《物理》的英译本，仍然在剑桥被作为哲学方面的教科书，到1697年S·克拉克的一个更好的英译本加了牛顿力学观点的附注，实际上是反对笛卡尔的观点。这个译本在教和学的同时，对剑桥的师生产生了很深的影 响，在笛卡尔观点的外衣下宣

传了牛顿力学观点。英国宗教界及唯心主义学者们对《原理》不提上帝创世和反神创论倾向十分不满，后来以贝克莱主教为代表，对牛顿的无限小和极限概念、绝对时空观和宇宙系统等从神创论观点出发进行猛烈攻击。1710年发表的《人类知识原理》一书，成了阻碍牛顿自然哲学的推广的重要因素。《原理》发表后几年，D·格利高里的J·格利高里分别在爱丁堡大学和圣·安德鲁斯大学讲授了牛顿的物理学。在苏格兰大学中，洛克的哲学和牛顿的物理学首先被选作教学内容，但是在剑桥，正如牛顿的讲座继任者惠斯顿说的，变化是很可怜的，“仍在可耻地研究笛卡尔学派的虚构的假设”。1690年前D·格利高里到牛津任教授，继续讲牛顿理论，牛顿和惠斯顿在剑桥的卢卡锡讲座上自然也在讲授，但是这两个学校起主导作用的导师体制，却使牛顿的理论在教学上取代笛卡尔理论推迟了很长时间。惠斯顿是在1699年接任卢卡锡讲座，开始讲授天文学和物理-数学课程，并在1707年和1710年发表了论述牛顿宇宙系统的天文学教程和理论物理教程。1707年盲人数学家N·桑德逊进入剑桥的基督学院，得到院方允许发表《论牛顿的原理、光学和代数学》教程的讲学，对牛顿的理论普及起了很大作用，受到牛顿的称赞并在1711年继惠斯顿任卢卡锡数学讲座教授，直至

1739年去世。到1707年根据牛顿的理论体系做作业和论文在该大学已很普遍。在1709—1710年劳顿任学院监督时，积极促进牛顿理论的普及和亲自写有关牛顿理论的论文。1706—1716年科茨任剑桥的普拉姆天文学和实验哲学讲座教授，不但为《原理》第二版的发表贡献卓著，并写了影响很大的序言和讲授牛顿理论，推荐他负责《原理》第二版出版的本特雷则是三一学院院长和牛顿理论的崇拜者。洛克是牛顿哲学的支持者，不但宣传牛顿的理论，而在科学与哲学的观点上与牛顿基本上一致，配合默契。J·凯尔在1704年左右在牛津大学，首先以用数学法处理实验结果的方式讲授自然哲学，他是牛顿微积分发明权的保卫者和牛顿自然哲学的推广者。1710年德萨格里斯继J·凯尔之后，在牛津用实验讲授牛顿的理论，讲了120次以上，当他在1713年居住在伦敦时说：“牛顿的哲学在各行各业中被普遍接受，甚至在妇女中靠实验的帮助也接受了。”就这样，到1713年牛顿的自然哲学在英国开始得到广泛的承认。

在欧洲大陆，特别是法国和德国，笛卡尔的自然哲学观点已被广泛接受，经过惠更斯和莱布尼茨的发展和宣传后，已经形成两个很大的学派，即笛卡尔——惠更斯学派和莱布尼茨学派。惠更斯是在168

7年6月知道《原理》将出版并在1688年读到这本书，开始时他不反对向心力概念及用这个概念说明天体之间的相互作用，但他却企图用球面以太旋涡理论加以说明。他认为重力不可能延伸到那么远的距离，并且说：“旋涡已经被牛顿破坏了。”他不同意粒子间的引力作用和潮汐理论。但是，他接受了牛顿关于行星

的作用与行星对地球的策略作用之间是一致的证明。他试图用球面旋涡产生的离心力和向心力之间的平衡说明天体现象。莱布尼茨在1688年看到了《原理》的概括说明，次年4月在罗马见到《原理》，开始时受到鼓舞，并与惠更斯讨论，既不接受牛顿的引力理论，又对他的天体理论持批评态度，企图根据自己的自然哲学观点设计一个新的理论。1692年4月他在给惠更斯的信中批评了后者的说法对原子论有利，他说：“我重读了最近您对重力的解释，我注意到您那是对真空的原子有利……我看不出迫使您回到这一个奇特实体的必要性。”他在反对牛顿的原子论观点上比惠更斯更坚决。1693年7月，莱布尼茨在给牛顿的信中，一方面称赞了牛顿发现的万有引力定律，另一方面仍主张以太说。他写道：“按照我们的数学的和所有自然的知识，我是多么感激你，在有机会时我也公开承认……你已经做出了惊人的发现，这就是

由吸引力或引力及其通过一行星的概念简单地得出的开普勒的椭圆轨道。可是，我却根据在这种情况下我们所知道的策略与磁力的模拟，倾向于相信这些情况是由流体介质的运动所引起或安排的。可是，这个解释不会贬低您的发现的价值和真实性。”莱布尼茨像惠更斯一样，都承认牛顿发现引力平方反比定律的成就，却不同意用万有引力或重力做出解释，他们都把原因说成是以太作用，惠更斯用球面以太旋涡加以说明，而莱布尼茨则与笛卡尔的看法一样。他们只是在通信中或私下讨论，并没有将反对的意见发表。

在惠更斯于1695年去世后，法国的笛卡尔-惠更斯学派中反对牛顿的《原理》及其理论的，主要是马勒布朗希及其三个追随者莫利埃雷、雷奥和迈尔布朗，而迈尔布朗希望重新塑造并偏离了笛卡尔的理论，破坏了笛卡尔阵线的屏障，为像莫泊丢、克勒洛和伏尔泰这样基本的牛顿学派开辟了方便的道路。他们把牛顿看作不仅在数学上，而且在将自然数学化上，是一个主要的人物，在看重牛顿的实验的光辉成就的基础上，他们是法国第一批把牛顿的光学实验看作可遵照做的特定实验模式。赞同牛顿的引力平方反比定律，认为他成功地应用他的数学法则于开普勒的行星运动的经验性定律。

此外，J·伯努力反对牛顿的自然哲学，卡西尼

不太了解《原理》并用不合理的方法计算彗星轨道。冯太纳尔称赞了牛顿在数学和光学上的成就，他说《原理》破坏了笛卡尔的旋涡，而牛顿把笛卡尔从物理上排除的吸引和真空又带了回来，并以全新的力量武装起来，但是却……被认为是无用的，或许仅仅是稍加伪装的。他把牛顿和笛卡尔看作“两个伟人，其体系是这样相反，在这几方面又相似，二者都是第一流的天才人物，以超人的悟性而生，并为知识王国的建立而准备着”。他说“当艾萨克爵士写作他的伟大著作《原理》时，他有另一本著作在手中，同样是创造性的和新的……这著作就是他的《光学》。在他写的这本小册子中，对于牛顿在英国取得的地位做了描述。他说：“一个国家产生了这样多有学识的人，他们全都以齐声喝彩的方式把萨克爵士奉为他们的首领，承认他是他们的主帅和大师，以至于没有一个反对者敢于显露出来，不，他们甚至不允许一个温和的崇拜者存在。他的哲学已经被整个英国采用，它在皇家学会和从那时以来一切显赫的仪式上处于优势，好似它是曾经被多少世代的崇敬所构成的秘密。欧洲大陆对牛顿及其《原理》看法的根本转变约在1728年。”

1727—1728年法国两位著名学者访问英国，一个是莫泊丢，一个是伏尔泰。莫泊丢在这一年当选英国皇家学会会员，并且成为牛顿自然哲学的积

极拥护者。1738年他发表了《论天体图形》，指出地球是并非理想的球形，确认了牛顿的预言，他在法国和德国科学界影响极大，对牛顿的科学理论在欧洲大陆的传播起了较大的作用。伏尔泰在1726年至1729年侨居英国，他访问过一些学者和牛顿的亲属，对牛顿的自然哲学思想十分钦佩。他说：“一个到达伦敦的法国人发现，在哲学上像在其他事物上一样发生很大变化。他不谈宇宙是充满的，而发现它是空虚的。在巴黎你会看到宇宙由稀薄物质的旋涡组成的，在伦敦我们没看到这种东西。”1738年伏尔泰发表了一本关于牛顿自然哲学的专著《艾萨克·牛顿的哲学原理》，歌颂牛顿的成就，并且介绍了牛顿的学说。他说：“在我们进一步进行判断之前，让我们开始证明稀薄物质的旋涡并不存在，证明充实的思想至少是空想，因而也就证明建立在这些想象基础上的整个体系，不过是一个巧妙的罗曼斯和没有真理的现象。”

他甚至说“笛卡尔的旋涡和充实是不可能的，因此必有重力的其他原因”，“我们必须求助于把引力作为这些旋涡的原因，而不是求助于把虚假的旋涡作为引力的原因”。总之，伏尔泰作为一个著名的启蒙运动的思想家和影响很大的文学家，全面接受了牛顿的自然哲学，而反对笛卡尔和惠更斯的以太旋涡说。

他后来和夏特勒夫人合作，发表了一本关于牛顿力学体系的通俗著作。这一切对法国百科全书学派产生了深远的影响。以狄德罗为首的法国百科全书学派，提倡牛顿的自然哲学和机械唯物论，对变革法国的哲学思想和法国大革命起了重大作用。随着法国大革命的胜利，牛顿的理论体系在法国和欧洲大陆居于统治地位，并对整个欧洲和世界的哲学和科学发展产生极深远的影响。在整个科学史上，一个科学家和一种科学理论在自然科学、社会科学的政治上产生像牛顿理论体系这样大影响的，至今仍是空前的。

牛顿的科学探索，不仅获得了许多划时代的发现，而且构成了他的世界观，形成了他的思想方法。牛顿的物质观和物质组成思想是探讨和评价他的自然观和科学观的最基本因素。他的全部自然哲学的基础是原子论。原子论或粒子说不但是《原理》推理的基础，而且贯穿始终，也是《光学》的主导思想。美国著名的研究牛顿的学者萨克雷说过：越来越清楚，关于物质的本质属性和微观结构问题，在牛顿的漫长和多产的一生中是他的科学研究的核心。也很清楚，在18世纪，关于他和贝克莱、波斯考维奇或普里斯特利随即做出的贡献如宗教的、哲学的和化学等方面的相互关系的争论中，这些问题仍然保持其中心地位。但是，原子或牛顿所说的谁也打不破上帝创造的最小粒子，

在他所处的时代只能是根据宏观物体逐次被粉碎的一种推测和模拟，直至卢瑟福和佩兰在1908年先后用电法计数器和根据布朗运动计算证明原子的存在为止，仍然是一种哲学上的设想和科学上的假设。

牛顿从1604年初开始他的科学生涯时，就接受了原子论。原子论的基本特征是原子和虚空，只有原子和虚空才是万物的本原，原子论的基本假设是原子不可分和不可变。

牛顿认为物质本身不是上帝创造的，而是与上帝共存的。他说：“在上帝宣告关于创世的任何东西之前，物质之量、星数和所有其他东西都是不确定的，一旦世界被创造了，它们就确定了。”

他解释说，“不确定的”一词不是指实际上是什么样的东西，而是一直与预示某种尚未决定或确定的东西在将来可能存在有关。牛顿认为物质和星体等是在上帝创世之前就已经存在的。

原子论成为牛顿物质观的基础。则原子成为他的物质组成思想的基石或物质组成的最基本的单位。在《原子问题》中，他回答说：“初始物质必定是原子。”他认为初始物质是匀质的，原子不是无限可分的，因为没有一种东西能被分成比组成它的还要多的部分，况且有限的物质不能由无限的部分所组成。他既然承认了原子，也就必然承认它的对立物——真空。因此，

他说：“在来到一起的二球之间不能有物质，因为对于插入它们之间的东西来说，所有的物质都是太大了。”“这样，最小的物质粒子会是数学点，所以真空必然介于其间”。这样，利用最小的物质粒子或原子与真空，构成他的物质组成理论。

原子是上帝用本来不确定的物质创造出来的，他说：“你也必须承认，或者原子被创生，或者利用真空加以分开。”在《论流体的重力和平衡》手稿中，他认为原子是上帝创造的，由原子变成万物则是上帝和自然的操作。直至1721年，他在《光学》的《疑问31》中，还在说：

“对于我而言，所有这样的事似乎是可能的，把上帝在开始时构成的牢固的、有质量的、硬的、不可入的、能动的这些大小和形状的粒子，和具有这样的一些其他性质并与空间成比例，看作最有利于他构成这种粒子的目的。并且认为，这些原初粒子是牢固的，比将它们结合成任何多孔隙的物体要无比地坚硬，甚至坚硬到永不会磨损或破坏成碎块。没有一种平凡的力量能够分开上帝本人在第一次创世时做成的一个粒子。”

所以，牛顿确实认为原子是上帝用原有的不确定的物质做成的，它是人力和自然力所不能破坏的。在物质观上，牛顿的自然神论就表现在原子是上帝造的，而由原子再构成万物则由粒子力的作用按照自然规律

形成的。

牛顿物质观的发展，与他的物质组成思想和科学观点的发展相对应，并且对他的科学理论的形成与发展，有着很大甚至有时是决定性的影响。根据牛顿在著作和手稿中的一系列说法和贯穿在其中的科学思想，大体可以分为三个发展阶段。

前期原子论阶段从1664年到1674年。从他接受原子论观点并开始用于科学研究时起，至他的光和颜色理论受到胡克和笛卡尔——惠更斯学派批评而向以太说妥协时为止。牛顿在1664年把初始物质看做原子，又把原子看作万物组成的基本单位或实体。与此相对应，他在数学上，把线看作无数点组成的或点的径迹。正是把曲线看作点或粒子运动所形成的，才使他把运动、速度和极限概念引进到曲线及其切线的分析上，把动力学与数学结合起来，从而发明了他的切线法、二项式定理和微积分等。在光学上，他的原子论观点从一开始就从笛卡尔的以太小球观点解脱出来，提出了光的微粒说。在化学上，他接受了波义耳的观点。他说：“那些被压在一起的粒子可以固持住一个挤进的粒子，像它处在它们之中那样，因而它就不能从它们那里落下来……但是，情况会是这样的，化合物的粒子被创造得大于那些适用于其他场合的粒子。”

在力学上，他也是用粒子力的观点进行处理的。他谈到过空气压力使“一切东西挤得紧靠在一起，使它们之间没有空气将它们隔开，这使它们贴在一起，如两块大理石的抛光面和水的各部分等”。但是，他又说：“空气的压力不是很强的，像波义耳的实验所显示的那样。”于是，他引出了物质从太阳逃逸所产生的压力。他说这种力大得多，能使物质结合得更紧密。在《论流体的重力和平衡》中，他认为物体中的变化是由于自然的原因引起的，只有“通过自然力才有可能使它们结合”。他说：“我想象硬体的部分不仅彼此接触并保持相对静止，而且它们又粘结得这样强和牢固，好像用胶粘结在一起一样，如果不把其余的部分同它一起拉走，它们就没有一个能够移动。”此外，他还用粒子力的观点探讨了物体和天体运动问题。在向以太说妥协的1674年至1684年，牛顿因在1672年初向皇家学会宣读了第一篇光学论文，而受到胡克等人的批评。这些批评涉及到光的本质和颜色来源等根本问题。在胡克看来牛顿的实验也可以用光的波动说加以解释，甚至更合理。

牛顿的妥协一方面是因为要面对像胡克和惠更斯这些权威的压力，另一方面是因为他胆小怕事和自己的粒子说还只是一种假设，还不完善。

1672年6月11日，牛顿在给奥登伯格的信

中说“现在，我将采取胡克先生对我的理论的看法，并且他构成的那个归之于我的一个假设并不是我的”，这个假设指的就是光的粒子说。接着，他进一步说：

“假定我提出了这个‘假设’，我不了解胡克先生为什么这样极力反对它。可以肯定地了解到，它对他自己的假设比他似乎要提醒的有更大的吸引力。在这里以太的振动是有用的，像在他自己的理论中一样。因为假设光的射线是以各种方式从发光物质射出的小物体，当它们投射到任何折射面和反射面上时，似乎必然要在以太中激起振动，像石头投入水中激起的一样。”牛顿受到胡克的批评后，为了使他的颜色理论被人们接受，在光学上提出了向以太说妥协的说法。

1674年，牛顿又写了一篇《论空气和以太》的文章，表示向以太说妥协已由光学扩展到整个物质观方面。他在文中说，正像地球上的各种物体因破碎成小粒子而转变成空气一样，空气粒子又因剧烈的作用而转变成更稀薄的空气粒子。他接着说：“如果它稀薄到足以穿入玻璃、结晶和其他地球上的物体，我们可以称为空气精或以太。这种精的存在是由波义耳的实验所表明的，在这个实验中，在铬接密封的玻璃器皿中，熔化的金属在这时有一部分转变成金属灰，变得更重。很清楚，增加的重量来自通过玻璃孔隙的最稀薄的盐精，它锻烧金属并使其转变成金属灰。”他进

一步说：“我相信每一个看到曲线排列的铁锉屑像从天然磁石的一极到另一极环绕的磁流所描绘的子午圈的人，都将承认这些磁流就是这种精。这样的情况还有玻璃、琥珀、煤玉、石腊、树脂和类似的物质，似乎都是以同一方法由这种最细微的物质所引起的。”

牛顿例举了大量的物质作为以太存在的例证，表示他的物质从原子论转向了以太说。只是他说的以太，不像笛卡尔所说的是物质无限分割下去产生的无所不在的和极其稀薄的介质，也不是胡克说的介质，而是空气粒子因磨损的碰撞而粉碎下去的细微粒子，即空气精、盐精、酸精、电精和磁流质等，也就是说牛顿的以太不过是他的原子论的变种。他在1675年12月7日给奥登伯格的信，甚至将以太说推广到了宇宙万物的本原，他说：“为了做这个假设，首先在这里假设有一种与空气差不多相同组成的以太介质，但却更稀、更细微和更富于弹性……或许整个自然的结构只会按发酵原理凝结的以太，只会是凝结的某种以太精或蒸汽凝结成水，发散物凝结成较粗大的物质，尽管不是这样容易凝结的。凝结之后，又锤炼成各种形状，起初由上帝的直接参与，之后由自然力，依靠控制力而增长和繁殖，使它变成按照原形体复制的完美仿制品。这样，或许一切东西都可以起源于以太。”他从光学上的妥协开始，采用以太假设，使他的原子

论物质观也蜕变成以太说。这种变化在1679年2月28日给波义耳的信中提出五个假设时而得以系统化。他说：“首先我假设有一种向一切地方扩散的、能够收缩和膨胀的、富于弹性的、和总而言之在各方面酷似空气但却更稀薄的以太物质。我假设这种以太浸入一切粗大的物体，但在粗大的物体中比在自由空间中更稀，而且孔隙愈细则愈稀……我假设以太在物体之内较稀，而在物体之外较密，并未终止在一个数学表面上，而是彼此逐渐消长的。我假设相互接近的二物体靠近时，其间的以太变得较以前更稀，以太逐渐变稀的空间从二物体的表面各自进一步向对方延伸。”最后一个假设则由第四个假设得出：“当二物体相互接近而近到足以使它们中间的以太开始变得稀薄时，它们将抗拒再靠近，力图相互退离，这种情况将随着物体不断接近而增加，因为它们引起中间的以太变得越来越稀薄。但是最后，当它们接近到物体周围的外部的以太压力超过它们之间稀薄的以太压力，大到足以克服它们靠近时产生的抗力时，则会像第二假设所说的，超过的压力将迅猛地把它们推到一起，并使它们强有力地相互粘结起来。”

在这些假设中，牛顿不但说明了以太的性质、稠密程度与物体距离的关系，而且说明了光的折射和衍射、大气压使水银柱升高、物体靠紧的物体的结合与

分离。这些解释在今天看来，显然是不合理的，但是它们说明了牛顿曾向以太说一度妥协，甚至试图用以太效应说明还不能科学地解释的多种现象。写这封信以后，他在1684年《论运动》中，再次以肯定的口气提到以太说。此后则不再在以太说中绕圈子。惠塔克认为：“在1675年底，牛顿寄给皇家学会一篇论文，文中有些偏离了他通常对假设的态度，他表示在这时，他对这个假设最有好感。在这个假设中，他主张有一种以太介质，与空气有颇相同的组成，但却稀薄和细微得多，并且更富于弹性。”

霍尔等认为牛顿受到压力或恳求时，才回到了猜测性的假设，像笛卡尔和惠更斯在他之前所做的那样，但是他认为牛顿想的以太既不是以笛卡尔的术语，也不是以场的词汇说。麦克盖尔则说这是牛顿在“1672年与胡克争论中说明以太作用的一种苦心”。原子论阶段的1684—1727年，他转变为比较坚定的原子论者，主要原因是发现了运动三定律和万有引力定律而根本不再需要以太说，这些发现都是以粒子说即《原子论》为基础的。以太说无法说明彗星的扁椭圆轨道为什么能几乎通过太阳系各行星的轨道平面，而未造成各天体的以太旋涡相互之间的干扰。波义耳的真空实验未证明以太存在。牛顿的实验证明空气或以太阻力很小或几乎为零。牛顿在向以太说妥

协时期中最后一次正面谈到以太是在1684年11月写的《论球体在流体中的运动》一文的注释中。他说：“我深入考虑了物体在无阻尼介质中的运动：所以我可以确定天体在以太中的运动。但是，尽我所能判断出纯以太的阻力或者没有，或者极小。”这是导致他否定以太的前奏，在此后的文章中，不再提到以太。《原理》是一本以原子论为主导思想写的巨著。在1687年《原理》一版序言中，集中地反映了牛顿的粒子说：“它们形成硬的、软的、流体的、弹性的、延展性的、稠的、稀的、挥发的、固定的……物体，取决于粒子来到一起和粘结的力与方式。较大的粒子是由很小的粒子形成的，从这些较大的粒子形成最大的粒子，全都是棚格式结构。于是，从这些最大的粒子就形成了可感觉到的物体，它允许光在各个方向上通过，并且它们之间在密度上明显不同……”他认为一切物体由不同层次的粒子组成，并用粒子和粒子力说明了万物的形成、分离、化合和分解，1717年牛顿发表了《光学》的第二版，并且附加了《疑问17—24》。在这些疑问中，牛顿都围绕着以太提出问题，如关于光的折射和反射、重力、性质、视觉和神经的传递等，是否可用以太介质做出解释。使人易于产生牛顿在1717年之后又回到以太说的想法。牛顿在这些疑问中，主要是迫于当时的激烈的争

论，提出了一些可供商讨的和可能的问题。

牛顿的物质组成思想的基础是原子论，而且他的原子论对古希腊的原子论做了重要发展。他在粒子和粒子组成层次上的论述是前人不可企及的。

牛顿在万物由原子或虚空组成这个根本问题上，与古希腊的原子论是一致的，但是，在原子或粒子因为什么原因才结合和分离上，却存在差异。德谟克利特认为物体的带钩和角的原子在必然的旋涡运动过程中，因重量不同而分层集聚，并镶嵌在一起而形成各种物体。伊壁鸠鲁和卢克莱修认为，原子和结合是由原子垂直下降过程中产生偶然的偏斜运动，才相互碰撞到一起并结合的，至于偏斜和结合的原因他们并未讲。伽桑狄在恢复伊壁鸠鲁的原子论时，认为原子结合成物体有其原因，这个原因就是力。他说：“可称为原因，也就是称为激励的或产生的力，在力的影响下产生东西。”至于是什么力和力又是怎样使原子结合的，他也未讲。牛顿从粒子力的观点做了比较详细的说明。

在1664年至1665年，牛顿认为粒子或物体的结合力来源于压力，这种压力或者由大气压力产生，或者由物质从中心天体退离所产生的力引起来的。

在1666年之后，牛顿从动力学观点研究了粒子的物体的受力关系和运动，发现了离心力定律和从

重力观点研究天体之间的相互作用，反映在物质组成上，就是从自然力观点研究粒子结合问题，到1675年，他提出粒子力的物体的作用有电力、磁力、重力、发酵作用和发育作用等，也就是说引力表现为多种形态。《原理》系统地阐述了粒子间的引力和天体间万有引力的作用，而对粒子力和粒子是怎样通过这种力结合的，则是在《原理》第一版序言的草稿和《结论》手稿中阐述的。

牛顿的物质组成思想与他的物质观、粒子力思想相适应。其中粒子说或微粒说是其主导的观点。他认为物质是可分的，物质的组成是有层次的，粒子的大小基本上是相等的。

牛顿的物质观和物质组成思想构成了他的科学观与科学思想的基础。在这个基础上，还形成了他的质量概念，时空观和运动观等一系列的哲学思想。

牛顿的时空观和概念在绝对时空观的形成和稳定时期，他学习前人的哲学著作，不但接受了原子论的无限空间观点，而且从自己的宗教观念出发很容易地接受了莫尔的时空观。他将无限空间与上帝和空间等同的思想结合起来。他所以能将二者结合，很重要的原因是受到霍布斯、伽桑狄的影响。他在绝对时空观和“相对时空观”结合时期的1684年第一次提出了绝对的和相对的时间和空间的定义。他说：“绝对

时间是这样的，按其本身的性质与别的任何事物无关，平静地流动着。天文学家研究的就是它的时差，用它的别名称之为期间。”而就任何可感知事物的流动和变化而言，被看作相对的时间是均匀的。这就是日、月和像公认的其他周期性天体现象那样的时间。”他又说：“绝对空间是这样的，按照其本身的性质和与无论什么样的其他任何事物无关，永远保持静止，像片刻时间部分的次序是不变的一样，空间的部分也是不变的。如果这些是从它们所在的地方移开的，则它们就是从其本身中移动出来的。因为时间和空间就是它们本身，并且一切东西都有地方，一切事物都处于与递次的次序有关的时间中，并处于与地点的次序有关的空间中。这些现象的本质是它们都是位置，说基本的位置被移动了是荒唐的。例如，如果一部分空间可以被某一种力移动，如果将一个相等的力施加于空间的所有部分，直至无限，则整个空间将被移动，这再次是荒唐的。而相对空间是被看作关于任何可感知事物不动的空间：我们的空气空间与地球有关。然而，事实上这些空间是通过重体下降而彼此区分的，在绝对空间中重体直接地寻找中心，但是在绝对回转的相对空间中，则偏斜到一边。”他的“绝对”概念已经从是否经过上帝创造的含义，转变为与任一事物没有关系，时间是平静地流动着，空间则永远保持静止和

不变。按照相对论的时空随运动速度和质量大小而变的观点，牛顿的这种时空概论确实属于绝对时空观范畴。

牛顿在《原理》中没有定义时间和空间，而只是在《定义》部分的注释中做了说明。他说：“他没有像所有的人熟知的那样，去定义时间、空间、地方和运动，因为一般的人都是从与可感知对象的关系去设想这些概念，因而产生了某些偏见，为了去掉这些偏见，将这些概念分成绝对的和相对的、真实的和表现的及数学的和通常的，更方便些。而提出绝对时空和相对时空概念，在牛顿时代是一种创建时空观上的大突破，牛顿对这四个概念做了一些说明。

他说：“绝对的、真实的和数学的时间本身，并由于它的性质，与外部的任何事物无关而相等地流动着，它的别名称作期间。相对的、表观的和通常的时间是利用运动作为期间的某种可感知的和外部的量度，通常用它取代真实的时间，这样的量度有一小时、一天、一月和一年。”并且“以绝对空间本身的性质而言，它与外部的任何事物无关，永远保持为同样的和不动的。相对空间是绝对空间的某种可动的大小或量度。我们的意识是由它相对物体的位置来确定绝对空间，通过把绝对空间取作不动的空间，这就是地下的、空中的和天体的空间的大小由它对地球的位置而确定。

绝对的和相对的空间的形状和大小是相同的，但是在数字上它们并不总是保持一致的。如地球运动，我们空气的空间相对于地球来说总是保持相同，它在某一时间是绝对空间中进入空气的那一部分，在另一时间将是同一绝对空间的另一部分。所以，说得绝对些，它将是连续变化的”。牛顿将绝对时空和相对时空加以区分的准则，由1684年秋季的“与任一事物”是否有关，改变为与“外部的任一事物”是否有关，并把相对空间看作绝对空间中的可运动部分和量度，把相对时间看作通过运动所表示的绝对时间或期间的部分和量度。他认为相对时空和绝对时空的区别在于是否有限定时空的外在事物，也表明相对的时间和空间总是具体的，而绝对时间和空间则是从整体上讲的，并且是抽象的。他为了使人们对绝对空间有个明确的认识，也为了使时空概念在逻辑上形成一个完整的体系，必须假设在宇宙中存在一个静止的中心作为绝对空间坐标的原点。牛顿的时空观是在18世纪前，在哥白尼的日心地动说得到确认并作为当时天文学研究的基础时，对传统的时空观进行研究后发现的。它综合了哥白尼、伽利略和开普勒等人的发现，但是决不仅仅是综合，而是凭借后来大量天文观测的新事实，运用了他发现的各种力学定律，因而有了重要的发展。但是尽管他在力学所及的范围内做了合理的推算，在

时空的本质和宇宙中心这些本原性的问题上，不可避免地受到当时科学发展水平的历史局限，而带有宗教色彩，并假设了一个宇宙中心作逻辑推理的前提。牛顿开创了运用科学的观点和方法研究时空和宇宙的先河，将猜测性的东西变为理性的，使经验性的东西科学化，为近现代天文学和天体力学的大发展奠定了基础。牛顿的绝对时空观以否定上帝创造时空为前提，并在后来提出绝对的与相对的时空相结合的观点，从摆脱神创论开始到完全将上帝排除在时空和运动过程之外为止，表现了他的坚定的唯物主义倾向。这在宗教神学在时空观上居统治地位的年代，有着重大的意义，它甚至比霍布斯和洛克的自然神论还要发达，充分表现了牛顿对科学的信仰超过了对上帝的“虔诚”，以及他在科学上的胆识。

牛顿的时空观不能简单地说是“绝对的”。他是把相对时空看作与绝对时空并存的。他认为通常所说的和科学上研究的时空，都是具体和相对的时空。相对的时空既然是绝对时空的一种量度，后者通过一个个前者体现出来，这里已经有了绝对真理与相对真理的辩证关系。他的时空观总体上属于绝对时空观范畴，这是因为它首先假设了宇宙中心不动和承认绝对时空的客观存在。其次，他认为时间以均等的速度流逝和空间永恒存在，它们本身是不变的，而且也不因运动、

质量等而改变，在这些意义上讲，他的时空观是绝对的。由于它在长时期内是一种“先进的时空观”，并且易于为广大学者所接受，影响了近代科学200多年的发展。

牛顿的时空观是当时唯一有成效的时空观：在牛顿时代及以前，先后居主导地位的是上帝创造时空和笛卡尔的物质等同于广延或空间，前者纯粹是神创论，后者则是以太说的产物；前者是迷信，后者则是哲学上的设想和科学上的假设。二者都不是以事实为依据的和理性的。

牛顿认为世界是物质的，而这些物质是运动发展变化的。这本是物质的固有属性和存在形式。牛顿经历了反对亚里士多德的运动观和批判笛卡尔的运动观的阶段。从而形成了他的绝对运动和相对运动相结合的运动观。而且发现了万有引力定律，提出了引力概念。牛顿万有引力概念的提出，既是重力概念历史发展的必然结果，也是牛顿从具体到一般进行逻辑推理和定量分析的科学研究产物。万有引力定律的发现标志着人类认识宇宙的进程发展到了一个高度的理性阶段，开创了引力理论研究的先河。

引力的本质与引力产生的原因相关。这个问题在古往今来，引发了大批自然哲学家和科学家的极大兴趣。古希腊的自然哲学家虽然从探讨自然运动的原因

方面，做了不少猜测，但是都以承认重力存在或认为重力是物体的属性、特质而止步。

牛顿在重力和引力的问题上，也试图从几个方面去解释重力的本质或产生的原因，但是，直至他发现万有引力定律之后，甚至晚年，都一无所获。他的引力的本质思想有三个明显的发展阶段，这些阶段与他的物质观发展三阶段相对应。他的引力本质思想是由他的物质组成思想决定的。在重力射线阶段的1664年到1674年，牛顿说：

“重力射线是否可以因将它们反射和折射而停止，如果是这样，以这两种方法之一，就可造成不停的运动。物体的重力随它们的因体性而变。因为一切物体在相等的时间内下降相等的空间，这必须考虑空气的阻力。”

他认为重力有如固体，会使不同重量的重体以相等的速度下降，并不像光线那样可以反射和折射。他在《磁铁的吸引》一文中，提到“磁射线”，因为可以由磁铁能吸引装在水面上的较大的飘浮物中的铁针，了解任一磁射线的运动。他在《光问题》一文中，提到了“光射线”，提出光射线是否可以像风吹动风车叶片那样，使一物体运动。光线可以折射和反射，磁射线可以吸引铁运动，这种类比使牛顿得出重力射线实际上是物质发射的某种原子流——射线，也具有反

射、折射和使物体运动的性质。于是，他在《重力和浮力问题》一文中说：

“引起重力的物质必定通过一个物体的所有孔隙，它必定又再升起，因为(1)或者地球的内腔必定有包含它的空穴或空腔；(2)否则这种物质必定使地球膨胀；(3)或者这种物质猛烈地将土和所有其他物体冲向中心，除非你将使它成长得像地球一样粗大。如果都加到一起则会变得像地球一样小，在那时几乎是不可能的。因为它必定下降得快而迅速，像物体落下和以很大压力冲向地球所表现的那样。它必须以与下降时不同的方式上升，否则就会有一种与它必须迫使物体落下那样类似的力，能将物体支撑起来，这样就将没有重力……下降的重力射线流将抵住上升的重力射线流，那么将它压得更紧，使它更密。所以，它将使较慢的重力射线流升起。当下降的重力射线流更加接近地球时，将会变得较浓，但是直到它找到像得利于它后面的洪流同样大小的反抗之前，不会失去它的速度……”

牛顿开始把重力的本质理解为一种射线或物质流，在以太效应阶段的1674年到1684年，随着他向以太说的妥协，不再从原子论而从以太说去寻求引力产生答案，但是对于其具体机制沿袭了他在1664年用重力射线的解释方法。在1684年1

1 月后，又随着他从这种妥协过程中摆脱出来加到原子论观点，又相应地开始抛弃用以太压差效应解释引力的观点，从而使他的引力本质思想进入一个新的时期。希望在未知原因阶段的 1684 年至 1727 年。牛顿的物质观在 1684 年后发生重要转变，原因是他论证了引力平方反比定律、万有引力定律和运动基本定律都是以原子论或粒子说为基础的，根本不需要以太说。以太旋涡说无法说明作用力和反作用力大小相等和方向相反，更无法说明扁椭圆的彗星轨道几乎穿过太阳系各行星的轨道面却未发生干扰现象，此外他自己和波义耳的真空实验都未证明以太存在，以及从以太旋涡理论考虑天体沿轨道运动的向心力，只能得出它指向中心天体的几何中心，而不是指向其重心或质心。由此，牛顿的物质观再次回到原子论。随之，他对引力本质的看法也与他的物质观相对应，应该再次回到重力射线观点上来，并加以改进和完善。但是，由于 1670 年在光和颜色理论问题上的争论，使牛顿对于无根据的设想和假设十分反感，自然对自己一度向以太说妥协也感到遗憾。从此开始，直至晚年，他奉行了“我不做假设”的名言。他把凡是不以实验事实和数学推理得出的想法，都称为假设，对亚里士多德的神秘的质和笛卡尔的以太说尤为反感。他不能用实验找出重力或引力的原因，在光学上更无法推导

出来，因此如果再回到重力射线说法，无异又在重大问题上做假设，违背了他立下的信条。于是，他在引力本质问题上，持十分谨慎和实事求是的态度：“我不知道。我尚未揭示重力的原因，也未约定去说明它，因为我不能从现象了解。它不是由任何旋涡的离心力产生的，因为它不趋向一个旋涡的轴线，而趋向一个行星的中心。从现象来看，这是很肯定的，重力是既定的，并按照上述与距离成比例所描述的定律，作用在一切物体上，这对于行星和彗星的运动是足够了。虽然从现象中尚不可能了解这个定律的原因，它却是一个自然定律。因为我避免假设，不论是形而上学的、物理的、机械的还是神秘的质的。它们都是有害的，并且都不会产生科学。”他还再强调说：

“迄今为止，我们已经解释了天空中的现象……提供了那些远日点是不变的，并且最终原因不是把物体推向旋涡轴线，而是推向太阳和各行星的中心，在距中心相等的距离上，作用到处相等。的确，我从现象不能发现这些性质的原因。因为我避免假设，不论是机械的还是神秘的质。它们都是有害的，并且都不会产生科学。只要重力实际上存在，按照我们已经阐述的定律作用，并且对于说明一切天体和我们的海洋有用，就足够了。”他还说：“迄今为止，我们已经用重力说明了天空和我们的海洋，但是我们尚未确定

这种力的原因……至今我还不能由现象发现策略性质的原因，并且我不做假设，因为凡是从现象导出的东西都称为假设，不论是形而上学的还是物理的，是神秘的还是机械的质，在实验哲学上是没有地位的……对我们而言。重力实际上存在，并按我们已经阐述的定律作用，而且对于我们说明天体和我们的海洋极其有用，足够了。”他无法从现象上发现引力的原因，他又不愿做空洞的假设，因而始终没有给出力的本质的定义。在他从1684年11月起直至去世，他对于引力的本质或产生的原因一直持不了解的态度，甚至说“将其原因留给后人去发现”。即使在笛卡尔—惠更斯学派的后继人和莱布尼茨等一再反对时，他仍然能坚持谨慎的科学态度，回答仍然是“我不了解”和“留给后人去发现”，这是很可贵的。

牛顿的上帝观伴随着他的宗教信仰和科学思想，是他的科学观和世界观的一部分。

牛顿极大地影响了近代科学、科学哲学和哲学的发展。他的上帝观也有着鲜明的时代特点，可分为科学上的和宗教上的上帝观两个方面。他在科学上的上帝观是探讨他的科学观和科学思想的核心之一。他首先是激进的自然神论者。他把一切自然现象归之于自然的规律所形成的，他主张本原的时空和物质是客观存在的，与上帝共存。在他的科学生涯刚开始不久，

就有了上帝与空间共存物质先于上帝创世的萌芽。他说：“……因为广延不是创造的，而是永远存在的，并且因为我们有一个与上帝无任何关系的绝对广延观”，“因为广延是永恒的、无限的、非创造的……”和“上帝并不明显地包含广延于其中，因而不能创造它”。此外，对于时间，他也认为它是永恒均匀流着和像空间一样，是非创造的。关于物质，他认为“物质之量，星体数目和其他一切东西是不确定的，一旦创造了宇宙，它们就被确定了”。直到1668年，牛顿已经明确地认为时间、空间和物质都不是上帝创造的，因而在最终原因上，表现出质强的摆脱神创论的倾向。他只是把物质怎样形成原子、心灵的宇宙归之于上帝的创造。在这些观点上，他比一般的自然神论前进了一步，唯物的倾向比较明显。

最后他从科学上探讨了上帝的实质和作用。在《原理》发表后受到宗教界及其在科学界的卫道士的攻击时，他说：“上帝是一个代名词，与他的仆人有关……一个人要证明有一个完美的神，却未同时证明他就是造物主或万物的创造者，则就尚未证明上帝的存在。一个永恒的、无限的、全智的和最完美的却无支配权的神，不是上帝，而是自然上帝的神性，最好不由抽象的概念，而由现象，由它们的最终原因来证明。”他认为教会和神学家们一直在试图从抽象的概

念证明上帝的存在，却都未能做到。他认为这只能由现象和最终原因来证明，可是所有人却未能证明，而人们已经证明了的，不是上帝，而是自然。他又说：

“我们有什么样的上帝实体的思想呢，我们知道他只靠他的最大明智、事物的精美设计和最终原因，我们因为他的完美而崇拜他。但是，我们因为他的支配权才敬重他和爱慕他，因为我们作为他的仆人才爱慕他。并且，一个没有支配权、神意和最终原因的神，只能是命运和自然。”

“我们对上帝的一切想法，来自模拟人类的方法，虽不完全，却有些相像。于是，关于上帝的很多事情是从事物的表象去讨论的，肯定属于自然哲学的范畴。”

牛顿提出了从自然科学上研究和论证上帝是否存在的问题。波义耳临死时留下 5 0 英镑作为从科学上论证上帝存在的讲座基金，而牛顿则实际上在为把上帝看作他尚不了解的自然开辟道路，甚至一针见血地指出上帝的名字和形象不过是人构思出来的。他的科学精神和唯物主义观点，与他头脑中的宗教信仰残余和宗教界及其科学界的卫道士们的压力形成尖锐的矛盾。这个矛盾的激化和由此出现的巨大压力，迫使他用神学上的名词掩盖他试图进一步摆脱神创论的实质。“上帝”只不过是尚未了解的自然。

牛顿一生进行科学探索，不仅在科学上成功地应

用了归纳法和归纳与演绎相结合的方法，而且在近代科学史上系统地应用公理系统于科学著作之中，将分析和综合、实验和理论巧妙地结合起来

他还是科学实验——归纳法的开山鼻祖。牛顿的力学建立在原子论、绝对时空与相对时空相结合及欧几米德几何的基础上。其方法论基本上是传统的形式逻辑和因果论。它在这些观念占统治地位的200年间，被普遍认为是正确的，因而取得了公认和发展。但是，进入19世纪后，在光的本质和微观领域的科学新发现上，不断出现例外的实验现象。由点滴的不足，逐步出现一系列的反常现象，后来甚至在磁场、电磁波、电磁质量、长度收缩和质量因放射性而亏损等等问题上，用牛顿力学无法得到解释，因此暴露了牛顿力学的局限性。但是，丝毫不影响牛顿作为科学巨匠在历史上的地位和作用。

牛顿的一系列伟大成就在科学史和哲学史上赢得了高度评价。他的同代人、著名天文学家哈雷在1687年4月5日给牛顿的信中称赞牛顿说：“当世人尚未进一步经受经过证明的学说的教诲之时，他们会为有一个这样深入的、最难理解的自然奥秘及殚思竭虑而使人类理性达到无比的高度而感到自豪。”

冯太纳尔是第一个为牛顿写传记的人，他说：“在1687年，艾萨克·牛顿终于决心揭开面纱，

现出他的真面目。于是，《自然哲学的数学原理》披露于世。在这本以最深邃的几何学作为新哲学体系基础的书，起初全然没有取得它应得到的荣誉。这种荣誉是它后来才获得的……大量几何学家如不很专心就不能理解，并且那些下层的人直到这本书受到最精通的专家们的称赞之前，对它是不知道的。但是最后，当这本书受到充分了解时，它慢慢获得的这些称赞在各个方面爆发，并联成一片赞扬。每一个人都被整个著作所闪烁的创造精神所打动，都被大师般的天才所打动。这种天才在整个最愉快的年代期间，仅由一切最有学识的国家挑选出来的三四个人所分享。”

伏尔泰也在《艾萨克·牛顿爵士的原理》一书中说：“牛顿的哲学到现在为止对许多人来说，好像古代人的哲学一样深奥莫测。但是，希腊人的哲学从其产生以来实际上已经暗然无光，而牛顿的哲学从离我们极其遥远的光芒处升起。他已经发现了很多真理，但是他曾探求的和位于深渊中的，是他必然深入其中的，他要把它发掘出来，并且把它们置于充分的光明之中。”

法国著名天文学家和天体力学家拉普拉斯是继牛顿之后，对天体力学做出重大贡献的科学家，他还是根据牛顿的自然哲学原理和因果律提出“决定论”的人，被称为“决定论之父”。他也对《原理》做出了

高度的评价。他说：“这些发现的重要性和普遍性，以及大量创造性的和深邃的观点，已经成为本世纪哲学家们极其辉煌的理论根据，并且全是以优雅的文字表述的，确保了《自然哲学的数学原理》这部著作成为超出人类智慧的一切产品的杰作。”又说：“《原理》将成为一座永垂不朽的深邃智慧的纪念碑，它向我们揭示了最伟大的宇宙定律。这部著作是高于人类一切其他思想产物之上的杰作。这个简单而普遍的定律的发现，因为他囊括对象之巨大和多样性，给予人类智慧以光荣。”他还在其名著《宇宙系统论》一书中写道：“用地球的运动去解释天体运动所表现的简单性，得到天文学家一致的赞成，认为是万有引力原理的一种新的验证，使其达到物理科学可能得到的最高境界。”“如果考虑到没有一个现象不是可以从引力定律去得到解说的话，而且考虑到这个定律以很高的精度决定天体在每瞬间和整个过程里的位置与运动，我们更不怕这个定律为某个还没有观测到的现象所否定。最后，天王星和它的卫星以及新发现的四颗小行星都顺从而且验证了引力定律。我们不能否定这一切证据，使我们不得不肯定，除地球的运动与万有引力的原理之外，自然哲学里没有什么更完美的论证了。”

牛顿传记的著名作者物理学家布鲁斯特，在《艾萨克·牛顿爵士的生平：伟大的哲学家》一书中写道：

“按照普遍的意见，艾萨克·牛顿的名字被列在有着他们那种光荣的人们的榜首。然而，给人深刻印象的是标志，随着时间的推移，把这种标志赋予了古代的哲人和英雄们。他们声名的光辉已经被牛顿荣誉的显赫搞得暗淡下来；既不是竞争的国家的偏爱，也不是傲慢年代的虚荣，的确，或许后代将选定地位仅次于牛顿的哲学家把《原理》描述为人类一切智慧产物之上的杰作，并且因之剥去同代人加给它的作者的过分的颂词。”但是，到20世纪，人们仍然对他的赞誉不减，而且随着时间推移，他的历史地位愈加突出。他说：“自从牛顿奠定理论物理学的基础以来，物理学的公理基础换一句话说，就是我们关于实在的结构的概念的最伟大的革命，是由法拉第和麦克斯韦在电磁现象方面的工作所引起的。”他又说：“我觉得有必要在这样的时刻来纪念这位杰出的天才，在他以前和以后，都还没有人能像他那样决定着西方的思想、研究和实践的方向。他不仅作为某些关键性方法的发明者来说是杰出的，而且他在善于运用他那时的经验材料上也是独特的，同时还对于数学和物理学的详细证明方法有惊人的创造才能。由于这些理由，他应当受到我们最深挚的尊敬。”1946年，爱因斯坦在《自述》中说：“牛顿啊，请原谅我，你所发现的道路，在你那个时代，是一位具有最高思维能力和创造

力的人所能发现的唯一道路。你所创造的概念，甚至今天仍然指导着我们的物理思想，虽然我们现在知道，如果要更加深入地了解各种联系，那就必须用另外一些离直接经验领域较远的概念来替代这些概念。”卢瑟福也针对本世纪初出现的企图以相对论推翻牛顿力学体系的说法，在1923年举行的大英科学促进协会的主席致词中说：“今天有一种颇为流行的误解，科学是由推翻以前建立的理论才进步的，这是极少见的情况。例如，时常有人说爱因斯坦的广义相对论推翻了牛顿在引力上的工作。真理再前进一步会是谬误。事实上他们的工作是难以比较的，因为他们处理着不同的思想领域。就爱因斯坦的工作与牛顿的工作的关系而言，仅仅是它的基础的一种普遍的推广，事实上是数学和物理发展的一个典型情况，总之，一个伟大的原理不是可弃之物，而是加以修改，以便将它放在一更广泛的和更稳固的基础之上……”

薄柏形象地讲过这样一句名言，后来被广泛引用：“自然和自然规律隐匿在黑夜之中”，上帝说：“让牛顿降生吧，则一切就有了光明。”牛顿的确给人类带来了光明。