

牛顿的苹果 真的？假的？*

陈学雷[†]

(中国科学院国家天文台 北京 100101)

牛顿被苹果砸中脑袋而发现了万有引力定律，是我们小时候最熟悉的故事之一，但如今它的真实性却受到一些人的质疑。他真的是发现万有引力第一人吗？一起来看看牛顿和苹果的不解之缘。

故事是假的吗？

牛顿与苹果的故事(图1)大家耳熟能详。英国纪念牛顿《自然哲学的数学原理》300周年文集的封面用的就是一个苹果。牛顿家乡的苹

果树还被移栽到世界各地的许多著名学术机构。

近年来，有很多人把这个故事归入了虚假故事里。随便在网上搜索可以找到很多这样的文章。例如《那些误导我们的教科书故事——牛顿根本没被苹果砸》这样说：“关于牛顿和他的苹果是伏尔泰编的，据说他是听牛顿的侄女说的，当然牛顿的所有手稿中没提到那个苹果。”

在另一篇《小学教材里的中国式虚假故事：华盛顿砍树，牛顿被苹果砸都是假的》里，把牛顿的苹

果故事与《爱迪生救妈妈》《地震中的父与子》等虚假故事放在一起，进而写道：“牛顿的‘假如我看得比别人远一些，是因为我站在巨人的肩膀上’名言，是在他与胡克争夺万有引力定律的优先发现权时，为了讥讽胡克而说的(胡克是个驼背和身体扭曲的矮子)，显示了牛顿卑劣的人格。”

牛顿苹果的故事难道是虚构的吗？在小学教科书和少儿读物中描述的这个故事，虽然有演绎的成分(比如苹果砸到了牛顿的头)，但基本内容来自历史文献。牛顿虽然并未在他的论著中提到苹果的故事，不过人们在正式的科学著作中一般

[†] email: xuelei@bao.ac.cn DOI: 10.7693/wl20191107

* 原文登载于“中国科学院国家天文台”微信公众号，本刊发表时有所删改。

也不会讲述自己的科研灵感来源，因此这本身不足为奇。牛顿苹果的故事是一些熟悉他的人听晚年的牛顿讲述的。

这个故事最著名的讲述者是法国启蒙哲学家伏尔泰(Voltaire)。关于牛顿发现万有引力的经过，伏尔泰写道：“1666年，他(牛顿)退隐到剑桥附近的乡下，有一天在自己的花园里散步，看到有水果从树上掉下来，便陷入了对重力的沉思……使重物坠落的力量是一样的，不管是在地下多深处，也不管是在多高的山上，都不会有明显的减小，为什么这一力量不会一直延伸到月球上呢？如果这一力量真的一直深入月球，从表面上看，难道不正是它使月球保持在其轨道上吗？”^[1]

伏尔泰的故事来自牛顿的外甥女凯瑟琳·康迪特(Catherine Conduit)，牛顿同母异父的妹妹汉娜·斯密思(Hanna Smith)之女。她的丈夫约翰·康迪特(John Conduit, 1688—1737)是牛顿在皇家造币厂的助手，并在牛顿去世后继任了造币厂厂长。夫妇俩后来都安葬在西敏寺牛顿墓的旁边。康迪特曾有意撰写一部牛顿的传记，很早就开始注意记录牛顿的谈话，并在牛顿逝世后收集了其他人对他的回忆。我们现在



图1 牛顿家乡故居(背景中的房子)旁的苹果树，取自 <https://www.atlasobscura.com/articles/newton-apple-tree>

读到的牛顿轶事大多来自他们当时收集的记录。

牛顿的同乡威廉·司徒克雷(William Stukeley, 1687—1765)是这个故事的另一位记录者。司徒克雷与牛顿一样毕业于剑桥大学，曾多次访问巨石阵(Stonehenge)，并首次进行了详细的测量和记录，成为考古学的先驱者之一。他与牛顿交往甚多，曾在牛顿小时上学的地方格兰瑟姆采访了很多认识牛顿的老人，包括传说中牛顿少年时代的女友文森特夫人，收集了许多牛顿童年时代的轶事，并调查了牛顿的家谱。

1726年4月15日，在与牛顿的一次见面中，司徒克雷后来写道：“他(牛顿)告诉我，在过去，正是在相同的情景下，重力的概念进入他的头脑。它是由一个苹果落地引起的，而当时他正坐着沉思默想。他思量，为什么苹果总是垂直地摔在地上，为什么它不斜着跑或者向上跑，而总是跑向地球的中心呢？的确，原因是地球吸引苹果。在物质中必定有吸引力存在，地球的吸引力总和一定指向地球的中心，而不指向地球的任何一侧。所以这个苹果垂直地向地球中心下落。如果物质之间如此吸引，吸引力一定与物质的量成比例。因此，苹果吸引地球，和

地球吸引苹果一样，存在一种力量，像我们所说的重力，它通过宇宙延伸自己。”^[2]

此外，还有数学家Robert Greene在他的著作中称皇家学会副主席Martin Folkes也曾听牛顿讲述过这个故事。牛顿的另一位朋友、数学家

莫弗(Abraham de Moivre, 1667—1754)虽然没有提到苹果，但是他提到1666年牛顿在花园中思考的时候产生了关于引力的想法(参见文献[3]第154页)，与其他人说法基本一致。

万有引力的发现

虽然苹果的故事并非虚假，但它是否说明牛顿看到苹果之后就马上发现了万有引力呢？这就要说到牛顿和胡克就万有引力发现贡献的争论了。

胡克(Robert Hooke, 1635—1703)是英国皇家学会的创始人之一，显微镜的发明者和胡克弹性定律的发现者。早在1662年，他和另一位皇家学会的创始人之一莱恩(Christoffer Wren, 1632—1724)讨论了行星如何在轨道上运动，他猜想太阳和行星之间有相互吸引的力，这种力可能随着距离而减少，他还设计了一个简单的实验检验重力是否随高度而发生变化。

胡克爬到大教堂顶，先用一个天平精确地称量一个铁球和一段绳索的重量之和，然后用绳索悬挂着铁球垂下，同时用天平称量看这种情况下总重量是否变化^[4]，当然这个实验的精度并不足以探测到任何差别。1666年他在皇家学会宣读论文，1674年又出版了著作《证明地球运动的尝试》(*An Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations*)，提出所有的天体都有一种指向其中心的重力，不仅吸引自己的各个部分使其不至飞散，且可以吸引位于其作用区域内的其它天体；物体在不受力的情况下做直线运动，在外力影响下才会偏离直线按曲线运动。胡克还提出物体太阳和行星之间存在的这种力随距

离增大而减小，但在书中他不确定是按照什么规律减小。

1684年1月，天文学家哈雷(Edmund Halley)与胡克、莱恩在皇家学会的会议上又讨论到行星运动问题。哈雷根据行星运动的开普勒第三定律，假定行星的轨道是圆，推测行星受到太阳的引力反比于距离的平方。但因为行星实际的运动轨迹是椭圆而不是圆，他并不能真正证实这一点。胡克声称他能够证明在这种情况下行星运动的轨迹是椭圆，但不打算立刻公布，因为这样“人们就不会知道这个证明的难度”。不过众人并不相信胡克的说法。

同年8月，哈雷来到剑桥并与牛顿见面，俩人讨论了一些别的问题后，他问牛顿如果行星受到太阳的吸引且引力与距离平方成反比，行星的轨迹是什么？牛顿回答说椭圆，并称自己做过计算。哈雷闻言大喜，请牛顿提供证明，牛顿说他未能找到给出这篇计算的论文，但同意另写一篇。

1684年11月，牛顿托人带给哈雷一篇题为《论在轨道上的物体的运动》(拉丁文*De motu corporum in gyrum*)的9页论文，在其中他证明了服从开普勒运动定律的物体受到一个指向椭圆的一个焦点且与距离平方成反比的力，也证明了在平方反比力的情况下物体的最一般的运动轨迹是圆锥曲线。

哈雷立即动身前往剑桥与牛顿会面，请牛顿发表这篇论文。牛顿在写作中产生了巨大的创作热情，不断扩充内容，从简单专题论文，变成了完整阐述整个力学的3卷本巨著《自然哲学的数学原理》(图2，以下简称《原理》)^{[5]、[6]}。这本书直到1687年才完成。

胡克的争论

1686年在牛顿完成了《原理》第1卷后，由哈雷在皇家学会的会议上加以介绍。这时胡克站出来指责牛顿剽窃了他的思想，声称万有引力与距离平方成反比的想法是他首先提出的。胡克为何突发此论呢？这就要从俩人的交往过程说起。

1671年，牛顿因发明反射式望远镜而被皇家学会接纳为会员。1672年，他给学会寄去了一篇光学论文，其中给出了用三棱镜将白光分解的著名实验，并提出了他的颜色理论和光的粒子假说。胡克没有仔细阅读和理解牛顿的论文就草率地写了篇批评文章，这令牛顿十分生气，用很多时间写出了反驳胡克的文章，由学会秘书奥登堡(Oldenburg)在1676年1月的皇家学会会议上公开宣读。

由于奥登堡与胡克关系不佳，胡克认为这是奥登堡故意挑拨二人关系，因此他直接给牛顿写信，表达了和解的愿望，牛顿在回信中也说了一番欢迎指正的客套话。牛顿经常被人引用的“假如我看得比别人远一些，是因为我站在巨人的肩上”就出现在这封回信中，其实这是引用12世纪哲学家查特斯(Bernard Chartres)的名言。这句话不大可能如某些人猜测的那样是故意讽刺胡克，因为此事发生在万有引力争端之前、二人正想和好时。而且这段话之前的两句是“(在光学上)笛卡尔迈出了很好的一步，你(胡克)又在几个方面增补良多，特别是把薄膜颜色引入了哲学”，这明显是恭维胡克。

1679年奥登堡去世后，胡克就任皇家学会秘书，主动给牛顿写了

封信，信中列出许多学术问题征求牛顿意见，特别是对他的《证明地球运动的尝试》中关于行星运动是受一个随到太阳距离增大而减小的吸引力影响的学说的意见。牛顿并未对此一一回复，但鉴于《证明地球运动的尝试》提出通过观测恒星一年中的视差变化证明地球绕太阳的公转，在给胡克的回信中牛顿提出了一个证明地球自转的实验。他指出，如果从高处释放一个物体使其自由下落，由于高处转动的线速度实际上比低处要快，因此它其实会落在偏东一点的位置上，这可以作为地球自转的实验证明。

不过，牛顿不知出于什么原因，画了一个假定地面不存在、物体穿过地面继续下落的图，其轨迹沿着一个螺旋线直到地球中心(图3(a))，这是一个严重失误，立刻被胡克抓住了。胡克回信提出落体应该类似行星，轨迹应该是一个椭圆(图3(b))。牛顿在第二封回信中承认轨迹确实不应该是螺旋，但他指出在力是一个常数的情况下，形成的图形类似图3(c)。胡克又回信，说他

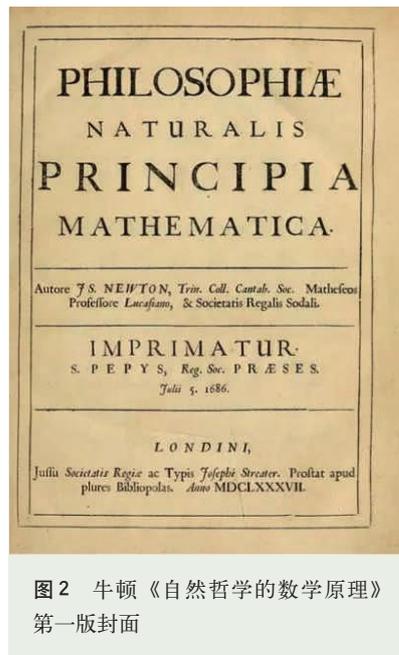


图2 牛顿《自然哲学的数学原理》第一版封面

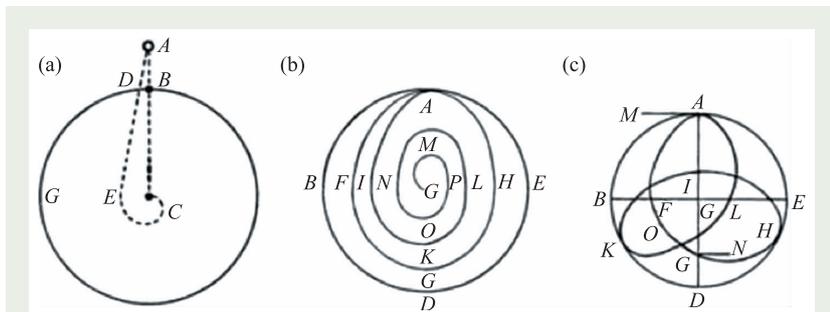


图3 (a)牛顿信中给出的螺旋线；(b)胡克提出的椭圆线；(c)牛顿讨论的常力作用下的运动轨迹(此图引用于文献[3])

假定力应该反比于到中心距离的平方。不过，牛顿之后未再回信。

胡克指责牛顿剽窃，认为牛顿引力的平方反比关系来自自己，依据就是这次通信。但根据牛顿苹果的故事，早在1666年牛顿就考虑了引力并发现其与距离平方成反比，那么就与胡克无关了。当然，也正是因为如此，有些人怀疑这个故事是牛顿为了证明自己的优先权而编造的。

月球与重力

尽管在牛顿自己写的东西中没有提到过苹果，但他的确提到早在1660年代他就导出了平方反比关系，并考虑了地球上的重力是否会延伸到月球，还进行了验算。

这个计算在《原理》第3卷中也给出了。根据圆周运动向心加速度的公式，然后借助开普勒第三定律，就可以推导出力的平方反比关系。那么如何验证这一关系呢？当时已知月球到地心的距离大约是60个地球半径，因此地球表面重力加速度应该是月球轨道向心加速度的3600倍，这个加速度可以根据月球的距离和月球绕地球旋转的周期求出来；另一方面，地球表面的重力加速度也可以使用单摆测量出来，

与上述数值进行比较。

牛顿《原理》第3版的编者彭伯顿(Henry Pemberton)、牛顿剑桥大学卢卡斯数学教授席位继承者惠斯通(William Whiston)，以及伏尔泰等人在他们关于《原理》的通俗著作中都说，由于当时所知的地球半径不准确，实测的加速度是4000倍，与3600倍接近但并不完全符合。按照他们的说法，牛顿因此没有立即发表自己的这一理论。直到后来法国天文学家皮卡德(Jean Picard)测出了比较准确的地球半径，两个数值才符合得很好，牛顿在他的《原理》中采用了这个新的测量值。此后，许多物理学教科书中都沿袭了这一说法，例如在费曼物理学讲义中就将之作为重视精密实验数据的科学态度的一个例子(参见文献[7]，卷1第7-4节)。但是近年来根据对牛顿手稿的研究，历史学家们发现实际情况更为复杂。

后人能根据牛顿的手稿对他的思想演化过程进行深入的研究，首先要归功于牛顿本人。牛顿喜欢通过记录详细的笔记进行学习和研究，而且作为完美主义者，他常修改、重写自己的论文，所以会留下同一著作的多个版本，这些文稿他都很好的保留了下来，使人们可以了解其思想的演化过程。

另一方面，康迪特夫妇功不可没。牛顿去世的时候，继承他遗产的大部分亲属都没有受过教育，他们主要关注牛顿手稿中那些近乎完成、能够出版的部分，希望通过出版这些手稿分到一点版税。康迪特夫妇则意识到牛顿手稿的巨大历史价值，因此他俩小心地把包括算草纸在内的全部手稿保存了下来并传给了后人。

在牛顿1660年代的手稿中，的确找到了几篇相关的文稿，证明他确实进行了上述月球与地面的比较演算。牛顿成功地推导出圆周运动的公式，并且正如人们所说的，由于当时采用的地球半径不准确，数值并不完全相符。此外，牛顿也演算了各行星随太阳距离的变化。这些都验证了牛顿从这时起就开始考虑重力并已知平方反比关系的说法。

但是，历史学家们也发现，在1660年代牛顿的力学观念还比较混乱。对于圆周运动，当时人们的概念存在一些错误。从经验可知，当用手挥动一个铁锤的时候，会感到需要用力抓住铁锤，否则它就会脱手飞出，这被当时的人们视为圆周运动物体的一种沿着切线方向的离心趋势(conatus)。牛顿计算的也是这种离心趋势的大小(他使用的就是conatus这个词)。至于我们现在认为物体做圆周运动需要一个向心力(centripetal force)，是牛顿在后来的著作特别是《原理》中才清晰阐明的。因此，现代历史学家们认为，牛顿的这些手稿表明，尽管在1660年代牛顿写下的公式在形式上与他后来在《原理》中给出的类似，但他在当时还没有形成后来所说的万有引力概念。

1660年代牛顿主要受到笛卡尔

机械论哲学(mechanical philosophy)的影响。笛卡尔注意到了物体的运动守恒(即动量守恒),主张物质通过相互接触作用而相互影响和改变运动状态。他认为宇宙中充满了物质(类似于以太)而没有不含物质的空间,这些以太的漩涡是驱动行星转动的原因。在这样一种理论中,并没有清晰地形成“力”的概念,只具有人们日常生活中使用的模糊含义。实际上直到撰写《原理》的时候,牛顿在其拉丁文原文中还用了惯力(vis inertiae)这个词,意为保持物体运动状态不变的“内在力”,当然今天人们一般都只说惯性(inertia)而不再说惯力了¹⁾。

总之,牛顿的确早在1660年代就开始比较月球的圆周运动与地面重力加速度的数值关系了,因此,牛顿说苹果下落启发了他的思考应该并不是为了争夺万有引力优先权而编造的谎言。只不过,牛顿当时并没有能彻底完成自己的发现,而是停留在一个错误的概念上了。不过,笔者还是总觉得有些疑惑。牛顿显然意识到要维持月球绕地球旋转需要某种指向地球中心方向的东西,也就是使苹果下落的重力。以他仅自学两年就完全掌握数学并发明微积分的天才,为什么在这个问题上会长期停留于一种模糊而错误的概念呢?这殊不可解,但总之历史学者从研究牛顿手稿中得到的结论就是如此。

那么,牛顿后来是怎样最终形成了他在《原理》中给出的、也是我们在经典物理中学习的力的观念呢?按照历史学家们的考证,牛顿的思路受到两方面的影响:炼金术和胡克。

炼金术

我们常常读到一种说法,即牛顿晚年沉迷于神学和炼金术,因此未能在数学和科学上做出更多新的发现。实际上此说不太准确,他对此发生兴趣并不晚于数学和自然科学,而且到了晚年他实际上停止了炼金术的研究。

牛顿热衷于化学或炼金术实验是当时的人就知道的,不过并不清楚他研究的内容。直到20世纪20年代,著名经济学家凯恩斯(John Maynard Keynes)尽力购买了一部分牛顿手稿,发现其中包含了大量的炼金术内容,牛顿的这些研究才为人们所知。

如今,在了解了物质的原子结构的情况下,炼金术被视为一种伪科学。不过,在牛顿的时代这并不是了一目了然的。当时,炼金术(alchemy)与化学(chemistry)刚刚分离开来,它们的很多技术都还是类似的,但也有两方面不同。一是当时的炼金术士们都很神秘,他们在彼此交往或者发表著作时经常使用假名。牛顿有一些神秘的会面,人们认为可能就是与某些炼金术士相见;二是炼金术有一整套神秘而复杂的术语和理论体系。最简单的,比如太阳☉代表金,月☾代表银,水星☿代表水银等等。炼金术的那些化学反应也被他们用一整套神秘的原理加以解释。

比如一段典型描述:“关于镁或者绿狮子,也被叫做普罗米修斯或者变色龙,也叫双性人,以及处女翡翠土。太阳之光从未能照耀到它,尽管太阳是父亲而月亮是母亲。普通水银,天之甘露可以使土肥沃,硝石更佳。它是土星属的。”(取自牛顿手稿,参见文献[3]第292页)

顺便说件有趣的事:微积分的另一位发明者莱布尼兹早年也曾对炼金术发生兴趣。他读了一通炼金术著作后却无法理解,于是他幽默了一把,模仿炼金术士们著作的风格和术语写了一封信给当地(纽伦堡)的炼金术士协会,结果竟被当成了行家而被聘为协会秘书。

牛顿并非贪财之徒(虽然他也不是对钱无动于衷),他把炼金术视为对大自然的神秘规律的探索。凯恩斯有一段经常被引用的话,“牛顿不是理性时代的第一个人,他是最后一个巫师。”^[8]但其实牛顿对炼金术的研究风格并不像巫师,而是高度系统化和科学化。他买来各种炼金术文献大全和秘籍,制作了一套索引或者说炼金术辞典,把关于每个题目不同著作中的说法一一摘录下来,每条往往多达几十种。同时,牛顿也不完全相信这些著作,他自

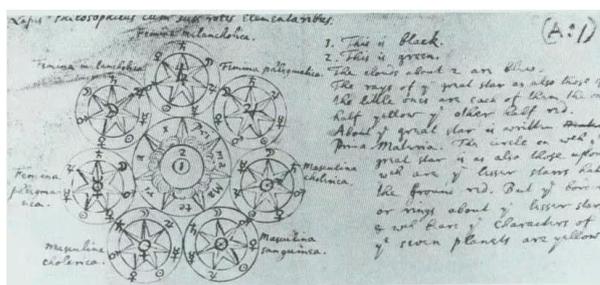


图4 牛顿笔记中的哲人之石(点金石)<http://www.departments.bucknell.edu/History/Carnegie/newton/alchemy.html>

1) 在一度长期流行的Motte—Cajori英译本中这个词被直接译为惯性(inertia)了,这倒是和现代物理教科书中的用法一致。在Cohen—Whitman的新译本^[9]中为了更好地体现拉丁文版历史原貌才又改为inertia force。赵振江翻译的《原理》中文版中,可能是为了避免与现在物理学中的术语“惯性力”(指离心力、科里奥利力等非惯性参照系中出现的与物体质量成正比的力)相混淆,这个词被译为“惰力”。



图5 剑桥大学三一学院前的苹果树是从牛顿家乡苹果树上嫁接移栽过去，牛顿住过的房间即在此树后面

己动手做实验，购买和制作了很多实验设备，尝试了各种不同的配方比例，这些也都被他一一记录在案(图4)。

根据研究牛顿手稿的历史学家的分析，尽管此时他撰写的自然哲学论文中并未直接提及炼金术，但是从其用语可以看出，炼金术中物质神秘的相互作用使牛顿接受了物质之间存在吸引力的观念，并把“力”的概念放在自然哲学更为中心的位置^[3, 5]。

结论

胡克在其1674年的著作以及1679—1680年与牛顿的通信中所阐明的一些观念，很类似最终的万有引力理论的一些基本观念，对牛顿也有很明显的影 响，应该说胡克对于万有引力的发现确实有所贡献。实际上，现代历史学家们认为，胡克对牛顿最重要的影响，可能是使他重新思考圆周运动，发现了原来概念的 错误，并最终形成了圆周运动是由向心力导致的这一正确解释。而一旦突破了最初的错误观念后，牛顿的数学天才就发挥出来，

很快建立了正确的天体力学理论。

另外，笔者认为，即使在《原理》撰写之前，牛顿以及莱恩、哈雷等英国学者都很自然地产生或接受了行星受到太阳的引力作用的想法，而后来欧洲大陆的很多学者，如惠更斯、莱布尼兹等人都觉得这种不经过

中间物质媒介的“超距作用”的观念颇难接受，这恐怕与胡克的著作也不无关系。牛顿自己在与哈雷的通信中也承认，他是在与胡克通信之后，才计算了行星的轨道并得出了这些轨道是椭圆的结论。

遗憾的是，胡克非常草率地公开指责牛顿剽窃，激怒了牛顿。并且，他似乎也并不清楚自己对牛顿的真正影响在何处，而是特别强调了引力的平方反比形式这一点来自他自己，这理所当然地遭到了牛顿的反驳。实际上之前很多人都猜想过平方反比定律，而且正如牛顿手稿表明的，牛顿自己也早就得到过平方反比的结果，在这方面他确实并不需要胡克。不过，在《原理》第3卷中，牛顿还是提到哈雷、莱恩和胡克都提出了与距离平方成反比的引力的想法。

《原理》并不仅仅是给出了运动定律和万有引力定律了事，而是发展了一整套理论。牛顿也发展了流体力学，论证了笛卡尔漩涡不可能满足行星的开普勒运动定律。他不仅从行星运动的开普勒定律导出了行星受到的力来自太阳并满足平方反比关系，解释了大行星、木星和

土星的卫星、月球、彗星等的运动，并且还发展了初步的微扰理论，能够更精确地预测行星轨迹。他也给出了对于潮汐、地球的形 状、地球极轴进动等的定量理论。1687年，《原理》最终在哈雷的努力下得以出版，成为近代科学革命中的里程碑。

总之，从历史文献来看，牛顿确实很可能是在看到苹果下落后受到启发开始思考重力与月球及行星运动的关系，最终发现了万有引力。当然，这一过程并非一蹴而就，而是持续了20年的时间，而且在此过程中牛顿也受到了胡克等人的影响。其实，完整的苹果故事很好地展示了科学创新的过程，也仍然值得向读者们讲述。

参考文献

- [1] 伏尔泰著，闫素伟译. 哲学书简. 商务印书馆, 2018. P.66-67
- [2] 威廉·司徒克雷. 伊萨克·牛顿爵士回想录(Memoirs of Sir Issac Newton's life). 转引自赵振江译《牛顿传记五种》，商务印书馆, 2007
- [3] Westfall R S. Never at Rest: A biography of Issac Newton. Cambridge University Press, 1980
- [4] 钮卫星. 天文学史——一部人类认识宇宙和自身的历史. 上海交通大学出版社, 2011
- [5] Newton I. The Principia——Mathematical Principles of Natural Philosophy. (translated by I. Bernard Cohen & Anne Whitman). University of California Press, 1999
- [6] 牛顿著，赵振江译. 自然哲学的数学原理. 商务印书馆, 2019
- [7] Feynman R P, Leighton R B, Sands M. The Feynman Lectures on Physics. Addison-Wesley, 1977
- [8] 约翰·梅纳德·凯恩斯. 牛顿其人. 转引自赵振江译《牛顿传记五种》，商务印书馆, 2007