

牛顿是世界上从未有过的最伟大的科学家。

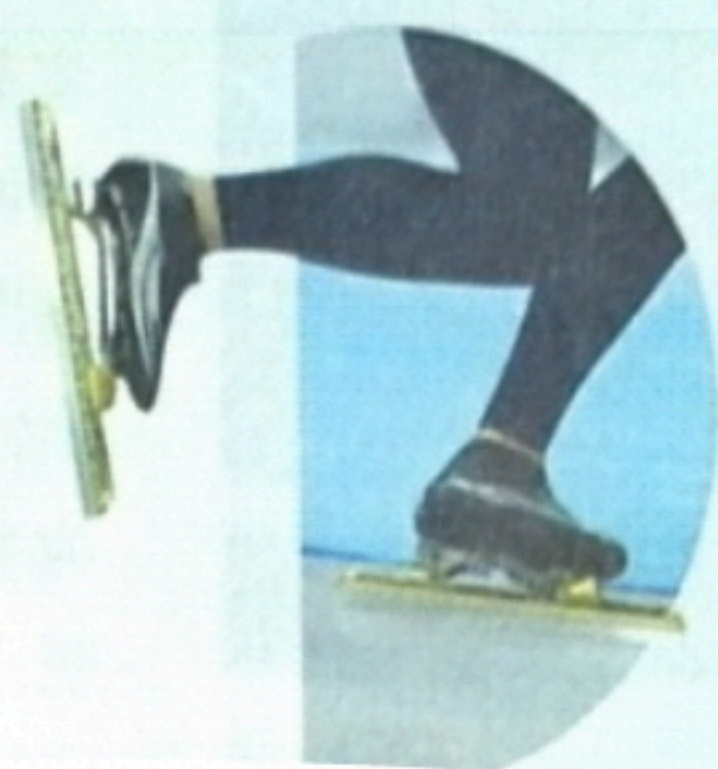
——阿西莫夫^①

1 牛顿第一定律

问题

?

初中我们学习了牛顿第一定律的基本内容，你能说说它揭示了物体运动遵循怎样的规律吗？滑冰运动员如果不用力，他会慢慢停下来。这是否与牛顿第一定律矛盾呢？



爱因斯坦曾把一代代科学家探索自然奥秘的努力，比作侦探小说中警员破案的过程。在侦探小说中，有时候明显可见的线索却把人们引到错误的判断上去。

长期以来，在研究物体运动原因的过程中，人们的经验是：要使一个物体运动，必须推它或拉它。因此，人们直觉地认为，物体的运动是与推、拉等行为相联系的，如果不再推、拉，原来运动的物体便会停止下来。根据这类经验，亚里士多德得出结论：必须有力作用在物体上，物体才能运动；没有力的作用，物体就要静止在某个地方。然而，在探究运动原因的“侦探小说”里，这正是由明显的线索引出错误判断的案例，而且这个“错案”维持了很久。直至近四百年前，伽利略才创造了有效的“侦察”方法，发现了正确的线索，揭示了事物现象的本质，成为物理学中的“神探”。

► 无论是亚里士多德，还是伽利略和笛卡儿，都没有提出力的概念。牛顿的高明之处在于，他将物体间复杂多样的相互作用抽象为“力”。本书为了表述方便，在陈述亚里士多德等人的思想时，借用了力的概念。

^①阿西莫夫 (Isaac Asimov, 1920—1992)，美国科幻、科普作家，曾获科幻界最高荣誉的雨果奖和星云终身成就“大师奖”。

理想实验的魅力

伽利略认为，将人们引入歧途的是摩擦，而物体在通常情况下运动时，摩擦又是难以避免的。

伽利略注意到，当一个球沿斜面向下滚动时，它的速度增大；向上滚动时，速度减小。他由此猜想：当球沿水平面滚动时，它的速度应该不增不减。然而，实际情况却是，即使沿水平面滚动，球也会越滚越慢，最后停了下来。伽利略认为这是摩擦作用的结果。若没有摩擦，球将永远运动下去。

为了阐明自己的观点，伽利略设计了如图4.1-1所示的实验：让一个小球沿斜面从静止状态开始运动，小球将“冲”上另一个斜面。如果没有摩擦，小球将到达原来的高度。如果第二个斜面倾角减小，小球仍将到达原来的高度，但是运动的距离更长。由此可以推断，当斜面最终变为水平面时，小球要到达原有高度将永远运动下去。这说明，力不是维持物体运动的原因。

我们知道，阻力不可能完全消除，第二个斜面也不可能做得无限长，所以，伽利略的实验是一个“理想实验”。虽然这个实验无法实现，但是，伽利略在实验基础上进一步推理的方法，帮助我们找到了解决运动和力的关系问题的方法。

伽利略同时代的法国科学家笛卡儿也研究了这个问题。他认为，如果运动中的物体没有受到力的作用，它将继续以同一速度沿同一直线运动，既不会停下来，也不会偏离原来的方向。他还认为，这应该成为一个原理，是人类整个自然观的基石。

牛顿第一定律

在伽利略和笛卡儿工作的基础上，在隔了一代人以后，英国科学家牛顿提出了动力学的一条基本定律：一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。这就是**牛顿第一定律**（Newton's first law）。物体这种保持原来匀速直线运动状态或静止状态的性质叫作**惯性**（inertia）。牛顿第一定律也被叫作惯性定律。

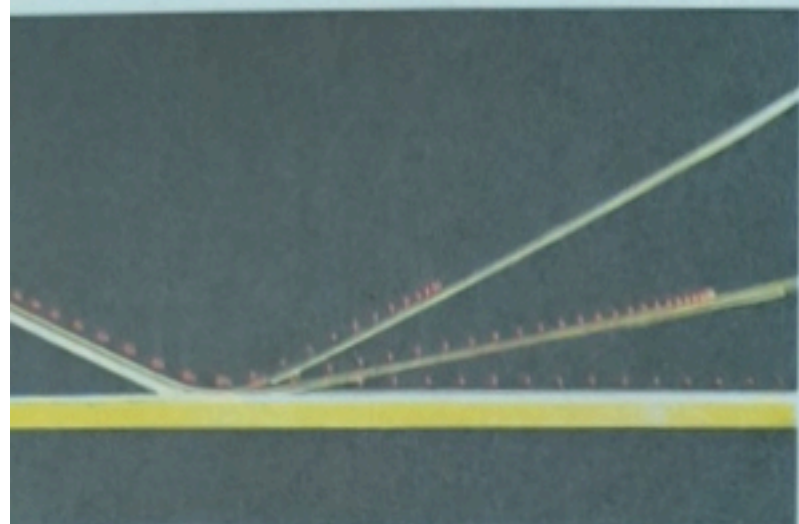


图4.1-1 现代人所做伽利略斜面实验的频闪照片（组合图）

► 伽利略理想实验的本质是想象着把实际中存在、影响物体运动的摩擦力去掉，抓住事物的本质。这种依据逻辑推理把实际实验理想化的思想也是研究物理问题的重要方法之一。

► 如果一个物体由静止变为运动或由运动变为静止，我们说它的运动状态发生了改变。

如果一个物体的速度大小或方向改变了，我们也说它的运动状态发生了改变。

任何物体都和周围的物体有相互作用，不受力作用的物体是不存在的。所以，牛顿第一定律所描述的状态是一种理想状态。它是利用逻辑思维进行分析的产物，不可能用实验直接验证。

牛顿第一定律揭示了运动和力的关系：力不是维持物体运动状态的原因，而是改变物体运动状态的原因。保持静止或匀速直线运动状态是物体的固有属性，这一属性称为惯性。惯性不是外界强加给它的，是物体固有的，一切物体都具有惯性。牛顿第一定律为力学的发展奠定了坚实的基础。^①



牛顿 (Isaac Newton, 1643—1727)

惯性 with 质量

牛顿第一定律涉及两个重要的物理概念：力和惯性。有关力的内容我们在上一章已经有所认识，下面我们进一步来讨论惯性。

思考与讨论

从牛顿第一定律得知，物体都要保持它们原有的匀速直线运动状态或静止状态。也可以说，它们都具有抵抗运动状态变化的“能力”，即都具有惯性。那么，怎样描述惯性的大小呢？

我们在改变物体运动状态时，会体验到物体惯性大小的不同。例如，以相同的方式抛掷质量不同的两个石块，让它们获得同样的速度，需要的力就不同。质量大的石块需要的力大。再比如，让摆动的大沙袋停下来就比让摆动的小球停下来费力得多。

大量事例说明，不同质量的物体，惯性的大小是不一样的。也就是说，不同物体维持其原有运动状态的“能力”不同，质量大的物体惯性大。描述物体惯性的物理量是它的**质量 (mass)**。

质量只有大小，没有方向，是标量。在国际单位制中，质量的单位是千克，符号为kg。

► 在初中，我们把质量理解为物体所含物质的多少；现在，又从物体惯性的角度认识质量。我们对于科学概念的认识就是这样一步一步深入的。

^① 牛顿在1687年出版的《自然哲学的数学原理》中提出了三条运动定律，它们是整个动力学的核心。

在桌面上放置一张纸和一个小钢球，小钢球静止在纸面上（图4.1-2）。如果突然迅速拉动纸的一边，虽然小钢球相对桌面的位置几乎不变，但是如果只关注纸面及其上的小钢球时，你会发现小钢球相对于纸面向相反的方向运动。



图4.1-2

当纸相对于桌面加速运动时，如果以这张纸为参考系来观察，小钢球相对于纸面的运动状态在改变。按照牛顿第一定律，小钢球的运动状态发生改变，说明小钢球在水平方向上应该受到力的作用。但实际上，小钢球只受到竖直方向的重力和支持力，水平方向几乎不受力，这不是和牛顿第一定律相矛盾吗？

若以地面为参考系，上述矛盾则不会存在。因为，在纸加速运动的过程中，尽管小钢球相对于纸面的运动状态在改变，但它相对于地面的位置并没有变化，因而仍然保持静止状态。这与用牛顿第一定律分析得到的结论是一致的。对于同一个物体的运动，为何会得到两种不同的分析结果呢？

这是由于我们观察物体的运动时所选择的参考系不同。牛顿第一定律是否成立与选择什么参考系有关。如果在一个参考系中，一个不受力的物体会保持匀速直线运动状态或静止状态，这样的参考系叫作**惯性参考系**，简称**惯性系**。以加速运动的纸为参考系，牛顿第一定律并不成立，这样的参考系叫作**非惯性系**。

练习与应用

1. 回答下列问题。

(1) 飞机投弹时，如果当目标在飞机的正下方时投下炸弹，能击中目标吗？为什么？

(2) 地球由西向东自转，你向上跳起来以后，为什么还落在原地，而不落到原地的西边？

(3) 我国道路交通安全法规定，在各种小型车辆里乘坐的人必须系好安全带。为什么要有这样的规定？

(4) 一位同学说，向上抛出的物体，在空中向上运动时，肯定受到了向上的作用力，否则它不可能向上运动。这个结论错在哪里？

2. 伽利略在理想斜面实验中提出了以下结论：如果另一个斜面的倾角减小至 0° ，小球为达到原来的高度，将永远运动下去。

请你说明他得到这个结论的理由。

3. 下列关于物体惯性的说法中，哪些是正确的？哪些是错误的？

(1) 汽车速度越大，刹车后越难停下来，表明物体的速度越大，其惯性越大；

(2) 汽车转弯后前进方向发生了改变，表明物体速度方向改变，其惯性也随之改变；

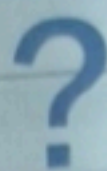
(3) 被抛出的小球，尽管速度的大小和方向都改变了，但惯性不变；

(4) 要使速度相同的沙袋在相同时间内停下来，对大沙袋用力比对小沙袋用力大，表明质量大的物体惯性大。

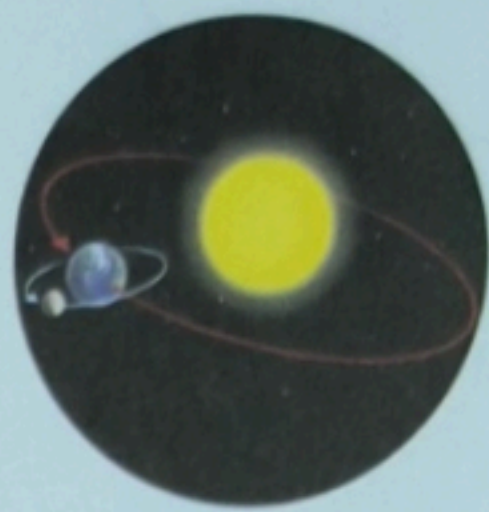
针对以上事例，请你总结一下对惯性大小的认识。

2 万有引力定律

问题



各行星都围绕着太阳运行，说明太阳与行星之间的引力是使行星如此运动的主要原因。引力的大小和方向能确定吗？



开普勒定律发现之后，人们开始更深入地思考：是什么原因使行星绕太阳运动？历史上科学家们的探索之路充满艰辛。

伽利略、开普勒及笛卡儿都提出过自己的解释。牛顿时代的科学家，如胡克和哈雷等对此作出了重要的贡献。

胡克等人认为，行星绕太阳运动是因为受到了太阳对它的引力，甚至证明了如果行星的轨道是圆形的，它所受引力的大小跟行星到太阳距离的二次方成反比。但是由于关于运动和力的清晰概念是由牛顿建立的，当时没有这些概念，因此他们无法深入研究。

牛顿在前人对惯性研究的基础上，开始思考“物体怎样才会不沿直线运动”这一问题。他的回答是：以任何方式改变速度（包括改变速度的方向）都需要力。这就是说，使行星沿圆或椭圆运动，需要指向圆心或椭圆焦点的力，这个力应该就是太阳对它的引力。于是，牛顿利用他的运动定律把行星的向心加速度与太阳对它的引力联系起来。

下面我们根据牛顿运动定律及开普勒行星运动定律来讨论太阳与行星间的引力。

行星与太阳间的引力

行星绕太阳的运动可以看作匀速圆周运动。行星做匀速圆周运动时，受到一个指向圆心（太阳）的引力，正是这个引力提供了向心力，由此可推知太阳与行星间引力的

哥白尼、第谷、开普勒这些科学家不畏艰辛、几十年如一日刻苦钻研的精神是成功的基石，值得我们学习。

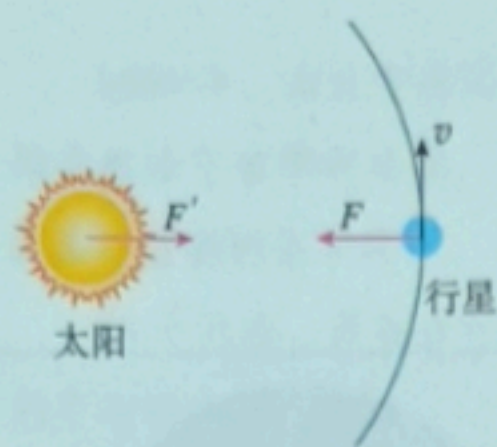


图 7.2-1 太阳与行星间的引力

► 从第谷的数千个数据到开普勒行星运动定律，再到引力的表达式，我们可以体会到认识越深刻，表述就越简洁，含义就越丰富。获得真知的愉悦和审美感受总是激励科学家不断探索。

方向沿着二者的连线（图 7.2-1）。

设行星的质量为 m ，速度为 v ，行星与太阳间的距离为 r ，则行星绕太阳做匀速圆周运动的向心力为

$$F = m \frac{v^2}{r}$$

天文观测可以测得行星公转的周期 T ，并据此可求出行星的速度

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

把这个结果代入向心力的表达式，整理后得到

$$F = \frac{4\pi^2 m r}{T^2}$$

通过上节的学习我们知道周期 T 和半径 r 有一定的关系，把开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$ 变形为 $T^2 = \frac{r^3}{k}$ ，代入上面的关系式得到

$$F = 4\pi^2 k \frac{m}{r^2}$$

上式等号右边除了 m 、 r 以外，其余都是常量，对任何行星来说都是相同的，因而可以说太阳对行星的引力 F 与行星的质量 m 成正比，与 r^2 成反比，即 $F \propto \frac{m}{r^2}$ 。

我们知道，力的作用是相互的。太阳吸引行星，行星也同样吸引太阳，也就是说，在引力的存在与性质上，行星和太阳的地位完全相当，因此，行星与太阳的引力也应与太阳的质量 $m_{\text{太}}$ 成正比，即 $F \propto \frac{m_{\text{太}} m}{r^2}$ ，写成等式就是

$$F = G \frac{m_{\text{太}} m}{r^2}$$

式中量 G 与太阳、行星都没有关系。太阳与行星间引力的方向沿着二者的连线。

月—地检验

地球绕太阳运动，月球绕地球运动，它们之间的作用力是同一种性质的力吗？这种力与地球对树上苹果的吸引力也是同一种性质的力吗（图 7.2-2）？

图 7.2-2



假设地球与月球间的作用力和太阳与行星间的作用力是同一种力，它们的表达式也应该满足 $F = G \frac{m_{\text{月}} m_{\text{地}}}{r^2}$ 。根据牛顿第二定律，月球绕地球做圆周运动的向心加速度 $a_{\text{月}} = \frac{F}{m_{\text{月}}} = G \frac{m_{\text{地}}}{r^2}$ （式中 $m_{\text{地}}$ 是地球质量， r 是地球中心与月球中心的距离）。

进一步，假设地球对苹果的吸引力也是同一种力，同理可知，苹果的自由落体加速度 $a_{\text{苹}} = \frac{F}{m_{\text{苹}}} = G \frac{m_{\text{地}}}{R^2}$ （式中 $m_{\text{地}}$ 是地球质量， R 是地球中心与苹果间的距离）。

由以上两式可得 $\frac{a_{\text{月}}}{a_{\text{苹}}} = \frac{R^2}{r^2}$ 。由于月球与地球中心的距离 r 约为地球半径 R 的 60 倍，所以 $\frac{a_{\text{月}}}{a_{\text{苹}}} = \frac{1}{60^2}$ 。

思考与讨论

已知自由落体加速度 g 为 9.8 m/s^2 ，月球中心距离地球中心的距离为 $3.8 \times 10^8 \text{ m}$ ，月球公转周期为 27.3 d，约 $2.36 \times 10^6 \text{ s}$ 。根据这些数据，能否验证前面的假设？

在牛顿的时代，人们已经能够比较精确地测定自由落体加速度，当时也能比较精确地测定月球与地球的距离、月球公转的周期，从而能够算出月球运动的向心加速度。计算结果与预期符合得很好。这表明，地面物体所受地球的引力、月球所受地球的引力，与太阳、行星间的引力，真的遵从相同的规律！

► 牛顿深入思考了月球受到的引力与地面物体受到的引力的关系。正是在这个过程中，力与加速度的关系在牛顿的思想中明确起来了。

万有引力定律

我们的思想还可以更解放。既然太阳与行星之间、地球与月球之间，以及地球与地面物体之间具有“与两个物体的质量成正比、与它们之间距离的二次方成反比”的吸引力，是否任意两个物体之间都有这样的力呢？很可能有，只是由于身边物体的质量比天体的质量小得多，不易觉察罢了。于是我们大胆地把以上结论推广到宇宙中的一切物体之间：自然界中任何两个物体都相互吸引，引力的方向在它们的连线上，引力的大小与物体的质量 m_1 和 m_2 的乘积成正比、与它们之间距离 r 的二次方成反比，即

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

► 科学论证需要证据支持。开普勒根据第谷的观测数据提出了行星运动定律，行星运动定律又为万有引力定律提供了支持，“月一地检验”进一步验证了万有引力定律。

式中质量的单位用千克(kg)，距离的单位用米(m)，力的单位用牛(N)。G是比例系数，叫作**引力常量**(gravitational constant)，适用于任何两个物体。

尽管以上推广是十分自然的，但仍要接受事实的直接或间接的检验。本章后面的讨论表明，由此得出的结论与事实相符，于是，它成为科学史上最伟大的定律之一——**万有引力定律**(law of universal gravitation)。它于1687年发表在牛顿的传世之作《自然哲学的数学原理》中。

万有引力定律明确地向人们宣告，天上和地上的物体都遵循着完全相同的科学法则；它向人们揭示，复杂运动的后面可能隐藏着简洁的科学规律，正是这种对简洁性的追求启迪科学家不断探索物理理论的统一。

引力常量

► 有人曾问李政道教授，在他做学生时，刚一接触物理学，什么东西给他的印象最深？他毫不迟疑地回答，是物理学法则的普适性深深地打动了她。

牛顿得出了万有引力与物体质量及它们之间距离的关系，但却无法算出两个天体之间万有引力的大小，因为他不知道引力常量G的值。

一百多年以后，英国物理学家卡文迪什通过实验测量了几个铅球之间的引力。由这一实验结果可推算出引力常量G的值。国际科技数据委员会2014年的推荐值 $G = 6.674\ 08(31) \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ，通常取 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 。

思考与讨论

一个篮球的质量为0.6 kg，它所受的重力有多大？试估算操场上相距0.5 m的两个篮球之间的万有引力。

引力常量是自然界中少数几个最重要的物理常量之一。在对一些物体间的引力进行测量并算出引力常量G以后，人们又测量了多种物体间的引力，所得结果与利用引力常量G按万有引力定律计算所得的结果相同。引力常量的普适性成了万有引力定律正确性的有力证据。

引力常量的测量

牛顿虽然发现了万有引力定律，却没能给出引力常量 G 的值。这是因为一般物体间的引力非常小，很难用实验的方法将它测量出来。

1798年，卡文迪什巧妙地利用扭秤装置，第一次在实验室里比较准确地测出了引力常量 G 的值。卡文迪什扭秤的主要部分是一个轻而坚固的T形架，倒挂在一根石英丝 N 的下端。T形架水平部分的两端各装一个质量是 m 的小球，T形架的竖直部分装一面小平面镜 M ，它能把射来的光线反射到刻度尺上（图 7.2-3），这样就能比较精确地测量石英丝 N 的扭转角度。

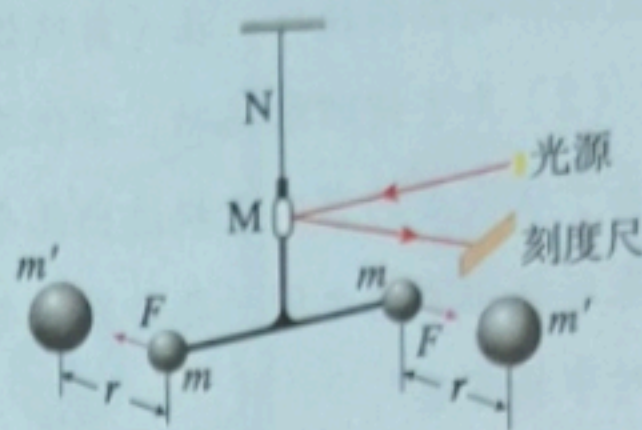


图 7.2-3 卡文迪什实验示意图

实验时，把两个质量都是 m' 的大球放在图中所示的位置，它们跟小球的距离相等，都为 r 。由于 m 受到 m' 的吸引，T形架发生转动，使石英丝 N 发生扭转，扭转的角度可以从平面镜 M 反射的光点在刻度尺上移动的距离求出。根据石英丝的扭转角度，就可以求得 m 与 m' 的引力 F 。最后根据万有引力公式，就可以算出引力常量 G 。

引力常量 G 的精确测量对于深入研究引力相互作用规律具有重要意义。自卡文迪什之后，其他科学家相继致力于这项工作。我国华中科技大学引力中心团队在引力常量的测量中作出了突出贡献，于 2018 年得到了当时最精确的引力常量 G 的值。

科学漫步

牛顿的科学生涯

牛顿——伟大的科学家，牛顿力学理论体系的建立者，1643年1月4日^①诞生在英格兰的林肯郡。牛顿于1661年进入剑桥大学三一学院，1665年获得学士学位。

1665~1666年伦敦鼠疫流行，学校停课，牛顿回到故乡。牛顿在剑桥受到数学和自然科学的培养和熏陶，对探索自然现象产生了极浓厚的兴趣。就在躲避鼠疫这两年内，他在自然科学领域思潮奔腾，思考了前人从未想过的问题，创建了惊人的业绩。

1665年初，牛顿创立了级数近似法和把任何幂的二项式化为一个级数的方法，同年11月创立了微分学。次年1月，牛顿研究颜色理论，5月开始研究积分学。这一年，牛顿还开始研究重力问题，并把重力与月球的运动、行星的运动联系起来考虑。他从开普勒行星运动定律出发，通过数学推导发现：使行星保持在它们轨道上的力，必定与行星到转动中心的距离的二次方成反比。由此可见，牛顿一生中最重要的科学思想，是在他二十多岁时思想敏锐的短短两年期间孕育、

^①即英国旧历 1642 年 12 月 25 日。

萌发和形成的。

牛顿于1684年8~10月先后写了《论运动》《论物体在均匀介质中的运动》，1687年出版了《自然哲学的数学原理》，1704年出版了《光学》。在科学方法上，他以培根的实验归纳方法为基础，又吸收了笛卡儿的数学演绎体系，形成了以下比较全面的科学方法。

(1) 重视实验，从归纳入手。这是牛顿科学方法论的基础。牛顿本人在实验上具有高度的严谨性和娴熟的技巧，在《自然哲学的数学原理》一书中他描述了大量实验。

(2) 为了使归纳成功，不仅需要可靠的资料与广博的知识，而且要有清晰的逻辑头脑。首先要善于从众多的事实中挑选出几个最基本的要素，形成深刻反映事物本质的概念，然后才能以此为基石找出事物之间的各种联系并得出结论。牛顿在谈到自己的工作方法的奥秘时说，要“不断地对事物深思”。

伽利略、笛卡儿和惠更斯等已经用位移、速度、加速度、动量等一系列科学概念代替了古希腊人模糊不清的自然哲学概念；牛顿的功绩是，在把它们系统化的同时贡献出两个关键性的概念：“力”和“质量”。他把质量与重量区别开来，并把质量分别与惯性和引力联系起来。牛顿综合了天体和地面上物体的运动规律，形成了深刻反映事物本质的科学体系。

(3) 事物之间的本质联系只有通过数学才能归纳为能够测量、应用和检验的公式和定律。牛顿的数学才能帮助他解决了旁人解不开的难题。他把上述基本概念定义为严格的物理量，并且创造出新的数学工具来研究变量间的关系，从而建立了运动三定律和万有引力定律。

此外，牛顿勤奋学习的精神，积极思索、耐心实验，以及年复一年坚持不懈地集中思考某一问题等优秀品质，也是他取得伟大成就的内在因素。

1727年3月31日，牛顿在睡梦中溘然长逝，终年84岁。他被安葬在威斯敏斯特教堂，那是英国人安葬英雄的地方。

练习与应用

1. 既然任何物体间都存在着引力，为什么当两个人接近时他们不会吸在一起？我们通常分析物体的受力时是否需要考虑物体间的万有引力？请你根据实际情况，应用合理的数据，通过计算说明以上两个问题。

2. 大麦哲伦云和小麦哲伦云是银河系外离地球最近的星系（很遗憾，在北半球看不见）。大麦哲伦云的质量为太阳质量的 10^{10} 倍，即 2.0×10^{40} kg，小麦哲伦云的质量为太阳质量的 10^9 倍，两者相距 5×10^4 光年，求它们之间的引力。

3. 太阳质量大约是月球质量的 2.7×10^7 倍，太阳到地球的距离大约是月球到地球距离的

3.9×10^2 倍，试比较太阳和月球对地球的引力。

4. 木星的卫星中有4颗是伽利略发现的，称为伽利略卫星，其中三颗卫星的周期之比为1:2:4。小华同学打算根据万有引力的知识计算木卫二绕木星运动的周期，她收集到了如下一些数据。

木卫二的数据：质量为 4.8×10^{22} kg、绕木星做匀速圆周运动的轨道半径为 6.7×10^8 m。

木星的数据：质量为 1.9×10^{27} kg、半径为 7.1×10^7 m、自转周期为9.8 h。

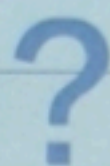
但她不知道应该怎样做，请你帮助她完成木卫二运动周期的计算。

自从牛顿奠定了理论物理学的基础以来，物理学的公理基础的最伟大变革，是由法拉第、麦克斯韦在电磁现象方面的工作所引起的。

——爱因斯坦

1 磁场 磁感线

问题



我国春秋战国时期的一些著作已有关于磁石的记载和描述。指南针是我国古代四大发明之一。12世纪初，我国已将指南针用于航海，宋俑持罗盘者就记录了这个科技史实。

你是否感受到，凡是用到电的地方，几乎都有磁现象相伴随？你知道电和磁有怎样的联系吗？



电和磁的联系

自然界中的磁体总存在着两个磁极，自然界中同样存在着两种电荷。不仅如此，磁极之间的相互作用，与电荷之间的相互作用具有相似的特征：同名磁极或同种电荷相互排斥，异名磁极或异种电荷相互吸引。但是，直到19世纪初，库仑、英国物理学家杨和法国物理学家安培等都认为电与磁是互不相关的两回事。

不过，在18世纪和19世纪之交，随着对摩擦生热及热机做功等现象认识的深化，自然界各种运动形式之间存在着相互联系并相互转化的思想，在哲学界和科学界逐渐形成。丹麦物理学家奥斯特相信，电和磁之间应该存在某种联系，并开始了不懈的探索。当时人们见到的力都沿着物体连线的方向。受这个观念的局限，奥斯特在寻找电和

磁的联系时，总是把磁针放在通电导线的延长线上，结果实验均以失败告终。

1820年4月，在一次讲课中，他偶然地把导线放置在一个指南针的上方，通电时磁针转动了（图13.1-1）。这个现象虽然没有引起听众的注意，但却是奥斯特盼望已久的。他连续进行了大量研究，同年7月发表论文，宣布发现了电流的磁效应，首次揭示了电与磁的联系。为此，安培写道：“奥斯特先生……已经永远把他的名字和一个新纪元联系在一起了。”

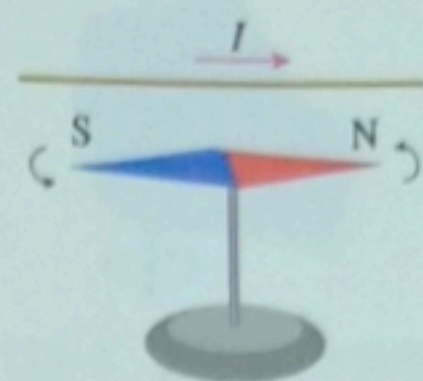


图 13.1-1 通电导线使小磁针偏转

磁场

自奥斯特实验之后，安培等人又做了很多实验研究。他们发现，不仅通电导线对磁体有作用力，磁体对通电导线也有作用力。例如，把一段直导线悬挂在蹄形磁体的两极间，通以电流，导线就会移动（图13.1-2）。他们还发现，任意两条通电导线之间也有作用力（图13.1-3）。

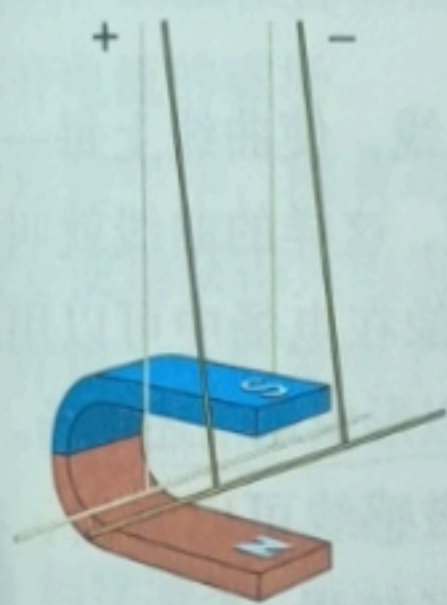


图 13.1-2 磁体对通电导线产生作用力

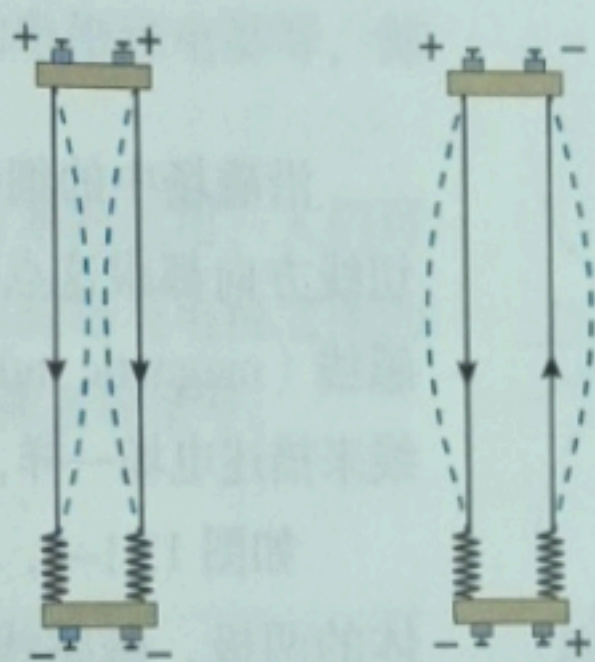


图 13.1-3 两条通电导线之间发生相互作用

那么，这些相互作用是怎样发生的？其实，正像电荷的相互作用是通过电场发生的，磁体与磁体之间、磁体与通电导体之间，以及通电导体与通电导体之间的相互作用，是通过磁场（magnetic field）发生的。

磁场尽管看不见，摸不着，但它与电场类似，都是不依赖于我们的感觉而客观存在的物质，并且也都是在跟别的物体发生相互作用时表现出自己的特性。那么，我们如何来形象地描述磁场呢？

磁感线

小磁针有两个磁极，它在磁场中静止后就会显示出这一点的磁场对小磁针N极和S极作用力的方向。物理学中把小磁针静止时N极所指的方向规定为该点磁场的方向。实验中我们常用铁屑的分布来反映磁场的分布。

演示

观察常见磁场的分布

在条形磁体上方放置一块玻璃板，在玻璃板上均匀地撒一层细铁屑，细铁屑就在磁场里磁化成了“小磁针”。轻敲玻璃板，细铁屑就会有规则地排列起来。

再将通电直导线穿过另一块玻璃板。重复以上操作。

观察条形磁体和通电直导线(图 13.1-4)周围细铁屑的分布情况。

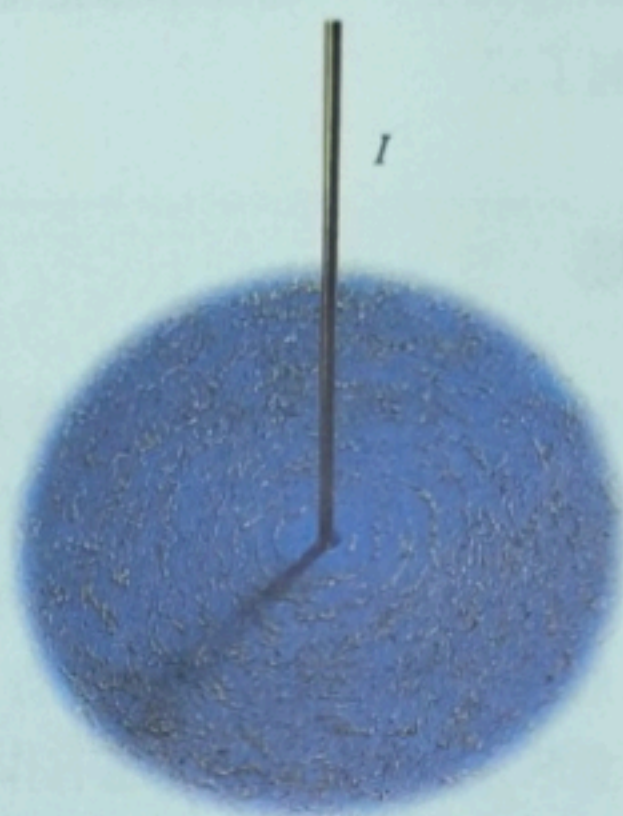


图 13.1-4 通电直导线周围磁场中细铁屑的分布

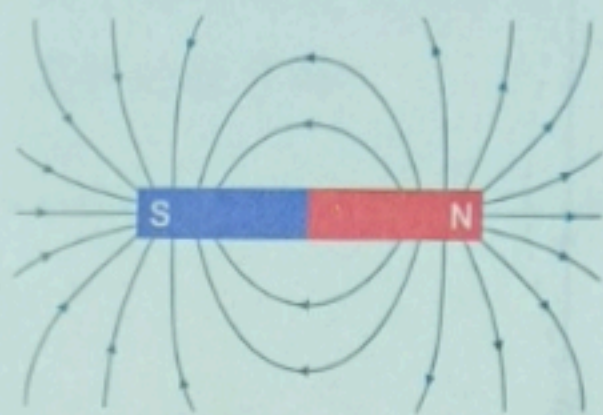


图 13.1-5 条形磁体的磁感线

沿磁场中的细铁屑画出一些曲线，使曲线上每一点的切线方向都跟这点磁场的方向一致，这样的曲线就叫作磁感线 (magnetic induction line)。正像在电场中可以用电场线来描述电场一样，利用磁感线可以形象地描述磁场。

如图 13.1-5，从条形磁体的磁感线可以看出，在磁体的两极，磁感线较密，表示磁场较强。

安培定则

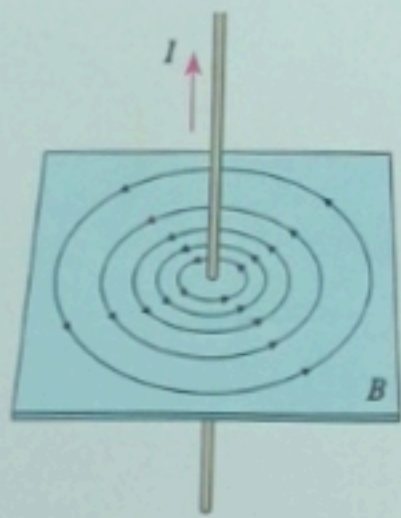


图 13.1-6 直线电流的磁感线分布

图 13.1-6 表示的是直线电流的磁感线分布。直线电流的磁感线是一圈圈的同心圆，这些同心圆都在跟导线垂直的平面上。实验表明，改变电流的方向，各点的磁场方向都变成相反的方向。直线电流的方向跟它的磁感线方向之间的关系可以用安培定则 (Ampère rule, 也叫右手螺旋定则) 来判断：用右手握住导线，让伸直的拇指所指的方向与电流方向一致，弯曲的四指所指的方向就是磁感线环绕的方向 (图 13.1-7)。

在初中，我们已经学会了判断通电螺线管的磁场方向（图 13.1-8）。通电螺线管可以看作许多匝环形电流串联而成。图 13.1-9 是环形电流的磁场，它和螺线管的磁场都可以用另一种形式的安培定则判定：让右手弯曲的四指与环形（或螺线管）电流的方向一致，伸直的拇指所指的方向就是环形导线（或螺线管）轴线上磁场的方向（图 13.1-10）。



图 13.1-7 直线电流的安培定则

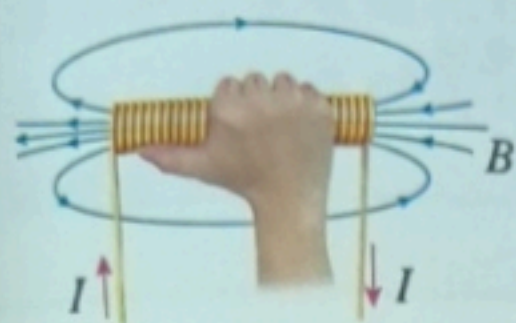


图 13.1-8 通电螺线管的磁场

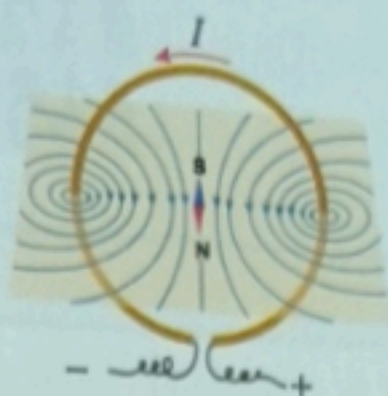


图 13.1-9 环形电流的磁感线分布

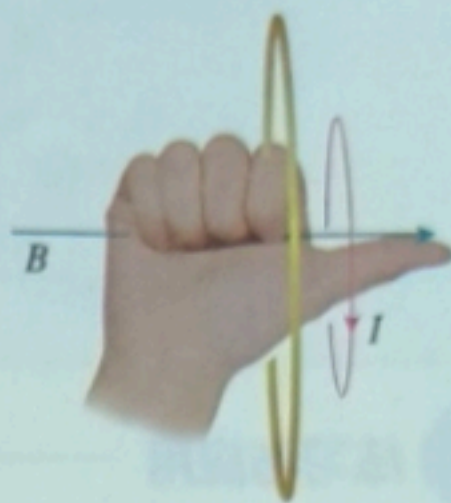


图 13.1-10 环形电流的安培定则

与天然磁体的磁场相比，电流磁场的强弱容易控制，因而在实际中有很多重要的应用。电磁起重机、电动机、发电机，以及在自动控制中普遍应用的电磁继电器等，都离不开电流的磁场。

近些年来，随着超导、新材料等技术的运用，人们可以较方便地获得大电流和强磁场。利用磁场与电流之间的相互作用，人们发明了磁浮列车、电磁弹射装置等。

科学漫步

安培分子电流假说

磁体和电流都能产生磁场。它们的磁场是否有联系？我们知道，通电螺线管外部的磁场与条形磁体的磁场十分相似。安培由此受到启发，提出了“分子电流”假说。他认为，在物质内部，存在着一种环形电流——分子电流，分子电流使每个物质微粒都成为微小的磁体，它的两侧相当于两个磁极（图 13.1-11）。

安培的假说能够解释一些磁现象。一根铁棒未被磁化的时候，内部分子电流的取向是杂乱无章的，它们的磁场互相抵消，对外不显磁性（图 13.1-12 甲）。当铁棒受到外界磁场的作用时，

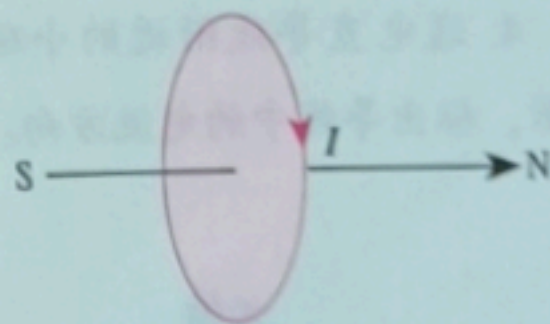


图 13.1-11

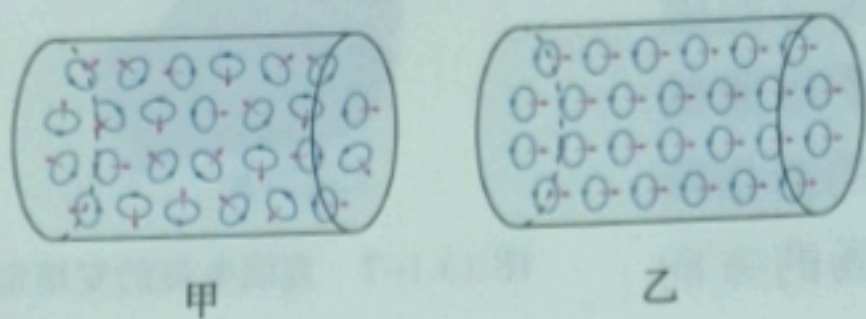


图 13.1-12

各分子电流的取向变得大致相同，铁棒被磁化，两端对外界显示出较强的磁性，形成磁极（图 13.1-12 乙）。磁体受到高温或猛烈撞击时会失去磁性，这是因为激烈的热运动或震动使分子电流的取向又变得杂乱无章了。

在安培所处的时代，人们不知道物质内部为什么会有分子电流。20 世纪后，人们认识到，原子内部带电粒子在不停地运动，这种运动对应于安培所说的分子电流。

练习与应用

1. 音箱中的扬声器、电话、磁盘、磁卡等生活中的许多器具都利用了磁体的磁性。请选择一个你最熟悉的器具，简述它是怎样利用磁体的磁性来工作的。

2. 日常生活中，磁的应用给我们带来方便。例如：在柜门上安装“门吸”能方便地把柜门关紧；把螺丝刀做成磁性刀头，可以像手一样抓住需要安装的铁螺钉，还能把掉在狭缝中的铁螺钉取出来。请你关注自己的生活，看看还有哪些地方如果应用磁性可以带来方便。写出你的创意，并画出你设计的示意图。

3. 磁的应用非常广泛，不同的人对磁应用的分类也许有不同的方法。请你对磁的应用分类，并每类举一个例子。

4. 通电直导线附近的小磁针如图 13.1-13 所示，标出导线中的电流方向。

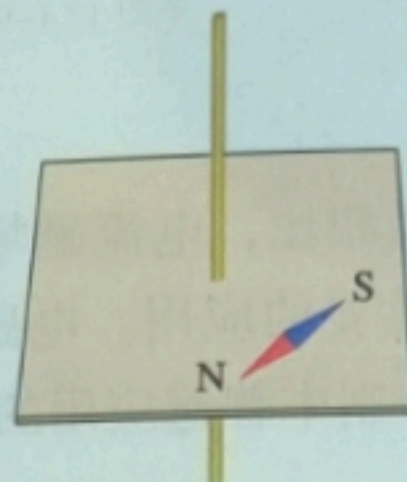


图 13.1-13



图 13.1-14

5. 如图 13.1-14，当导线环中沿逆时针方向通过电流时，说出小磁针最后静止时 N 极的指向。

6. 通电螺线管内部与管口外相比，哪里的磁场比较强？你是根据什么判断的？

7. 为解释地球的磁性，19 世纪安培假设：地球的磁场是由绕过地心的轴的环形电流 I 引起的。在图 13.1-15 中，正确表示安培假设中环形电流方向的是哪一个？请简述理由。

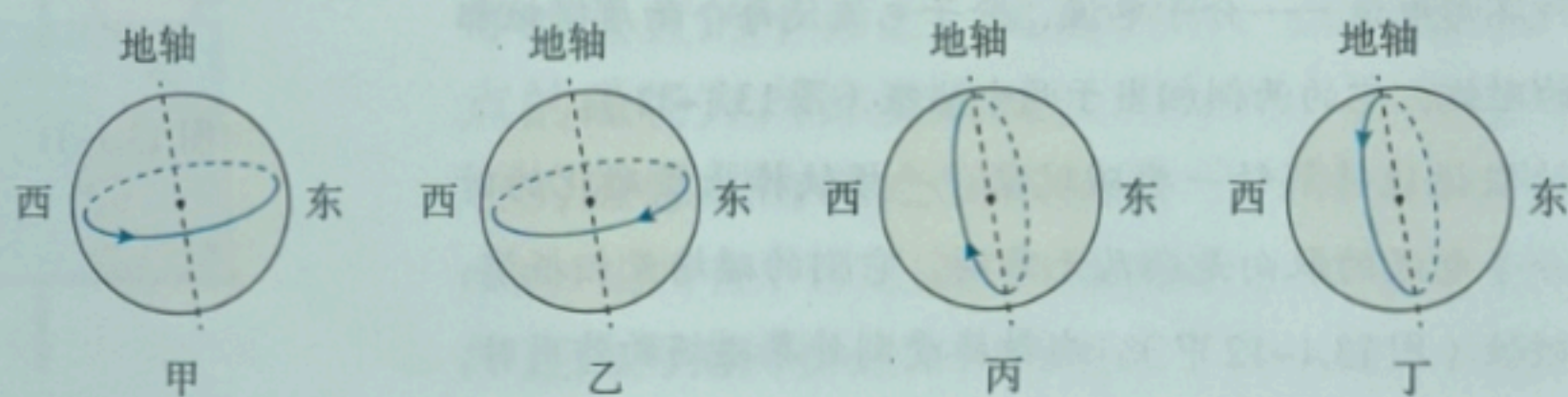


图 13.1-15