

全世界科学家在世界范围内的联合行动

GRAINES
DE SCIENCES

地球

做中学
问不倒



[法] 大卫·威廉让布斯 迪迪埃·保罗 主编

张帆 俞佳乐 译

《科学的种子》十年精华
法国版“十万个为什么”
全球最有影响力的科学普及图书

上海科学技术文献出版社



做中学 问不倒

地球

图书在版编目 (C I P) 数据

地球/(法)大卫·威廉让布斯等主编;张帆等译.-上海:
上海科学技术文献出版社,2010.8
(问不倒)

ISBN 978-7-5439-4439-8

I. ①地… II. ①大…②张… III. ①地球-少年读物
IV. ①P183-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第142494号

29 notions-clés pour savourer et faire savourer la science

© Éditions Le Pommier - Pairs, 2009

Ouvrage publié avec le concours du Ministère français chargé de la Culture -
Centre National du Livre

本书获得法国国家图书中心翻译资助

DIVAS INTERNATIONAL (迪法国际)代理本书中文版权。

contact@divas.fr.

Copyright in the Chinese language translation(Simplified character rights only)©

2010 Shanghai Scientific & Technological Literature Publishing House

All Rights Reserved

版权所有,翻印必究

图字:09-2010-083

责任编辑:张 树

封面设计:许 菲

地球

[法]大卫·威廉让布斯 迪迪埃·保罗 主编

张 帆 俞佳乐 译

出版发行:上海科学技术文献出版社

地 址:上海市长乐路746号

邮政编码:200040

经 销:全国新华书店

印 刷:江苏常熟市人民印刷厂

开 本:787X1092 1/16

印 张:9.25

字 数:139 000

版 次:2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷

书 号:ISBN978-7-5439-4439-8

定 价:20.00元

<http://www.sstlp.com>

十年来，每年出版的《科学的种子》图书像自然界中的种子一样随风播撒。1996年，在法国科学院的支持下，诺贝尔物理奖得主乔治·夏帕克（Georges Charpak）倡导在法国小学开展名为“动手做”^①（在中国叫“做中学”——译者注）的实践活动，《科学的种子》系列丛书因此问世。该丛书面向科学爱好者、学生家长和中小学教师推出，丛书的每一册都由才华横溢的科学家撰写，分为十几个章节，涉及丰富多样的科学主题。丛书的编写还得到了许多在职教师的大力协助，他们并非专业科研人员，却对科学知识充满了好奇，在品味到科学的乐趣之后，愿意将科学知识传授给自己的学生们。

有不少家长坚信，在“科学”一词面前，自己只能裹足不前。孩子用天真的眼睛打探身外的世界，他们想在家中重温课堂上的实验，与生俱来的好奇心驱使他们提出一个又一个问题，家长们却往往无言以对。希望在孩子成长的道路上，《科学的种子》丛书能帮助家长学会与孩子分享科学的乐趣。

为庆祝《科学的种子》的第十个生日，我们推出了特别的丛书——《问不倒》。事实上，自2006年以来，法国的学前班、小学和初中的教育实践都要遵循一个名为《公共基础知识与能力大纲》的官方文件，该文件规定了法国中、小学校在七大领域中应该传授给孩子们的知识。因此，这并不是传统意义上的教学大纲，而是一个核心，学校具体的课程设置、教师的教学方法和家长的辅导都围绕这个核心展开。《公共基础知识与能力大纲》的原则已经体现在很多欧洲国家的教育体系中，在此，我们无意对其合理与否做出详细的判断。

《公共基础知识与能力大纲》共涉及七种能力，基础数学与科技知识是其中的

^① 该活动法文名为“La main à la pâte”，意为“动手和面团”，简称“动手做”。——译者注

第三种能力。本丛书关注与数学密不可分的自然科学，我们将重点放在观察和实验上，因为观察和实验体现了自然科学的特色。《公共基础知识与能力大纲》明确借鉴了“动手做”项目的教学理念，在提问、操作和实验中，让孩子们体会到科学的乐趣，他们的好奇心、批判精神和创造力得到发展。面对种种自然现象和科技产物，孩子们的想象力、表达、论证和写作能力得到锻炼，思想由此形成。

全法国的孩子们究竟要具备哪些科技知识？我们真心希望，作为知识国度的一个组成部分，科学和它的孪生姐妹——技术，能像文学、艺术、音乐和其他众多人类实践一样，成为这个国度里最美丽的风景。当然，这个角落包含着丰富的知识，孩子们要知道……孩子们要了解……通过不断知道和了解的学习过程，初中毕业的青少年对于身外的世界有了合理的表述。这片领地中还蕴藏着巨大的财富：通过观察、提问、分辨，学会推理因果，了解可见与不可见，过去、现在和未来……孩子各种能力的发展使他们获益匪浅。对21世纪的地球公民来说，这些能力比以往任何时候都要不可或缺。当然，人类的能力并非是科学赋予的，科学只是启发了孩子的心智，而科学实践又使得他们的能力得以发展，尤其是在孩童和少年时代，因为这个阶段孩子脑部结构和认知功能的形成将影响其终生。

本丛书借鉴《公共基础知识与能力大纲》中主要的科学主题和编写脉络，围绕着宇宙的结构、地球、物质转变、生物、光、能量、人类及其对生态系统的影响、科技产品、数字处理和自动化程序等主题，选取《科学的种子》丛书的精华文章，并做了必要的信息更新。根据以上主题，丛书分为九大部分，每一部分选取若干文章，各部分都有对相关主题的介绍。丛书将让孩子们在成长的过程中，对科学从惊讶到理解。我们将解释如何通过课堂、家庭、日常生活和博物馆中的观察和实验，使孩子们逐渐接受某些复杂的科学概念。我们愿意帮助家长和老师们去衡量，对这些科学主题的了解在孩子们思想形成中起到了怎样的宝贵作用。

从幼儿园到小学，再到初中四年^①的学习生活是一段很长的道路。从蹒跚学步的幼儿园宝宝到初中毕业的少年，未来向他们打开，发展思想、了解世界的很多机

① 法国初中分四个年级，分别称为第6年级、第5年级、第4年级、第3年级。——译者注



会或许被抓住，也时常被错过。本丛书编写的目的在于帮助孩子们度过他们成长过程中的这些关键时期。

自2000年以来，由五十多个最发达国家组成的、总部设在巴黎的经济合作与发展组织每3年会对15岁的青少年进行PISA测试。该测试主要面向其成员国，也会涉及其他一些愿意参加测试的国家。测试内容包括三个方面：阅读能力、数学能力和科学能力。与法国的初中、高中会考不同，该测试的目的并非通过习题来检测学生掌握的知识，而是考察他们如何运用在学校学到的知识去理解日常生活中遇到的情况，如何面对复杂的实践做出反应。2006年的测试结果说明，在科学领域，法国青少年的能力正好处于平均水平，这个情况本身已经不值得骄傲，更何况其结果差距悬殊。有些青少年表现优秀，他们可能成为令人艳羡的科学方向的学生，然而也有很多青少年面对提问无言以对。值得注意的是，这些孩子们在四年前小学毕业，当时“动手做”活动刚刚开始在校开展，而四年初中阶段大量的科技教育也不曾帮助他们在测试中取得成功。

法国社会学家克里斯蒂安·鲍德洛（Christian Baudelot）在其新作《共和国精英主义》（2009年出版）中详细分析了PISA测试的结果：测试成绩优秀的青少年将拥有和其他人截然不同的命运。法国因为前者获得了科学力量，他们将成为诺贝尔奖得主、优秀的科研人员、工程师，在飞机、火车和医药制造领域的技术力量。至于后者，小学做课堂实验时，他们的眼睛还闪烁着好奇的目光，但初中阶段的教育并没有使得科学得到理解、技术被赋予价值，到了15岁时，他们已经失去了拥抱未来的力量。

然而，这并不是致命的，因为PISA测试成果分析指出，在科学、数学和法语方面，一个绝对具有说服力的事实是：一个国家的低分学生（测试失败）越少，该国在测试中表现优秀的青少年就越多，加拿大和荷兰便是如此。也就是说，关注学习困难的孩子们不仅能使他们进步，也会让涌现优秀青少年的基数增加。可见，法国所选择的，尤其是初中阶段推行的面向精英的精英式教学，并非培养大量精英的最好选择，而其他学生付出的代价对他们而言是悲剧性的。他们学习失败，因为这个失败，在很长时间里，他们的自信心受挫，甚至完全失去自信。

十多年来,“动手做”实践在法国和其他国家中小学的开展让我们学到了关键的一课:着眼于观察、提问、投入等实践的科学教育,帮助老师、家长,甚至那些被想当然认为是失败者的孩子本人看到了自身的价值。

作为文化知识的一个神秘领域,科学,通过适当的教学法,向那些出生并不优越,并非来自物质丰裕、教养优秀的家庭的孩子们敞开了大门,就如同加斯帕·蒙热^①(Gaspard Monge)在法国大革命中所理解到的那样。

希望在《公共基础知识与能力大纲》中不断发芽的科学的种子能让每个家庭的孩子分享这份宝贵的财富……

皮埃尔·雷纳(Pierre Léna),伊夫·凯雷(Yves Quéré)

法国科学院院士

贝阿特里丝·萨勒维亚(Béatrice Salviat)

法国科学院教育培训代表团成员

相关链接:

《公共基础知识与能力大纲》: www.education.gouv.fr/cid2770/le-socle-commun-de-connaissances-et-de-compétences.html

经济合作与发展组织/PISA测试: http://www.oecd.org/document/24/0,3343,en_32252351_32235771_38378840_1_1_1_1,00.html

^① 法国数学家、化学家,画法几何学创始人,法国大革命后曾任巴黎高等师范教授、综合工学校负责人,培养和影响了许多几何学家。——译者注



CONTENTS

目录

地球 / 1

万有引力 / 4

地震 / 24

火山喷发物理学 / 48

气候物理学 / 70

温室效应和气候 / 90

水循环 / 109

术语表 / 133

译后记 / 138

地球

万有引力

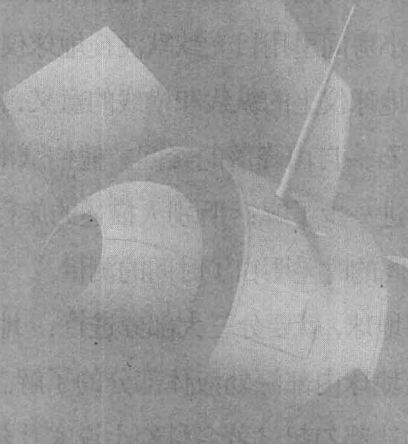
地震

火山喷发物理学

气候物理学

温室效应和气候

水循环



地球是生命的摇篮，人类的大本营。因为有液态水的存在，地球是太阳系唯一孕育生命并且能繁衍人类的行星。地球体积庞大，成分多种多样。它的外部是较薄的流体系统，也就是海洋和大气；内部结构较复杂；它的表面即各大洲陆地部分和海底部分的岩石层持续着微妙的循环运动。地球拥有悠久的历史，诞生于四十多亿年前。生命在这颗星球上栖息，但有时也要承受粗暴的动荡，比如地震和火山活动。

对于幼儿园的孩子们来说，“地球是圆的”这个概念必然大大超出他们意料之外：孩子们对此十分不解，还会在纸上画个倒着站立的人。在看了从太空拍摄的图片以及肉眼轻松观察到的月食现象后，他们才慢慢意识到地球的形状，或许因此他们会喜欢上在自己的小房间里用目光默默注视地球仪。渐渐地，重力和万有引力存在的概念使他们理解了地球仪上的纵线和横线的意义，解答了他们对地球与月球和太阳共有的球体特征以及石头自由降落的疑问。他们脑海里随之形成一幅地图。这幅地图引导他们对地球的进一步了解：听别人描述的旅行线路，地理课上学到的知识，甚至通过大洲间和城市间的时差明白了时间的测量。

要了解地球，就要分三大部分进行：地球外部的流体系统的了解、地球表面岩层的了解以及地球内部深处液体部分的了解。最后这部分人类至今还无法勘探。地球的各部分构造都勾起过著名科幻小说家凡尔纳的无数幻想。他笔下的主人公潜入大海、飞上大气层，甚至到过地心深处探险。现代勘探家和科学家们延续了小说家的幻想，试图把它还原为现实：他们把这三大板块绘制成地图、测量并做出相关解释。他们向我们揭示了一个神秘、美丽但又脆弱的地球；我们从中了解到地球这三个部分各自的结构、变化以及地球自身进化演变过程中发生的运动。地球的这些运动有时是短暂的，发生只在数秒间，比如地震，在行星深处发生，随后蔓延开来，我们从中探索到



它的结构；有时却是漫长的，需要上百万年，比如石油的形成。

在对地球表面岩层的研究中，对各板块地质构造的了解将有助于我们明白地震、海啸和火山喷发的原理。掌握地震地区和火山的分布有助于我们对地球内部结构和产生的现象有更加全面的了解，尽管后者并不能直接被我们观察到。并且，掌握这些原理还有助于我们预测某些因地球内部运动而产生的灾难。

与研究太阳系结构相似，年轻人利用地球外表的模型进行观察研究，有时还采用一些模拟数据进行研究。他们因此学会了对照实际情况和观察结果，并由此锻炼了自己的推理思考和逻辑能力。而地表岩层也就是我们肉眼所看到的地球，这些巨大又百变的岩石承载了地球的历史，上面刻着光阴的痕迹。一直以来，我们都有很多机会观察和解读地球的秘密。在这章中，我们将再次感受和探索这个星球不安的外表。

在本章中，我还将对由海洋和大气组成的流体系统进行新的探讨。珍贵的水资源以固态、气态和液态三种形态存在。水的无限循环与生命的存在息息相关，并且直接影响地球上的人群分布。和水一样，碳也在大自然中进行循环，但是不断变化着化学形态：在空气中，它以二氧化碳的形式存在（气体二氧化碳被植物吸收进行光合作用），在海水中也是这种形态，就像我们喝的汽水；在森林中，它变成了树木体中的纤维素或者糖分子，然后以炭的形式变成化石存在于地底下。太阳能维持了地球上这些细微的循环运动。而这些运动直接或间接地导致了各地气候变化、两极冰川运动，以及海风、云和雨的产生。地球离太阳太远，它们之间的距离直接影响地球自身储存生命赖以需求的液态水。而温室效应的存在弥补了这个距离产生的缺陷，使地球成为适合生物生存的星球。但是与此同时，大自然的各种平衡由于温室效应而变得脆弱。近20年来，气候变化一跃成为人类比较关注的话题。为了控制其变化的程度和范围，人类付出很多努力，但也仍然无法在短期内将这个问题根除。我们在对环境和生物多样性的研究中还存在某些不足，其中某些观点的论据可能还不充分。如今的学生们会因此很难接受我们的观点。但是我们不希望下一代年轻人因为对我们的观点产生怀疑而生活在一种非理性的恐惧中：因为科学的宗旨就是尽量地把事实详尽完整地呈现在人们面前，提供事实和预测以及其局限性，并且引导人们思考和归纳。无论是对个人还是集体，从科学的脚步出发，都需要道德意识上的约束。

万有引力

皮埃尔·比内推 (Pierre Binetruy)

本章主要向读者介绍万有引力，这将带你们度过一次时间和空间上的遨游。我们的旅行从1590年意大利的比萨大教堂开始，结束于一千年后，也就是当Map船长（2543—2590）执行飞行任务进入——永久进入——位于我们银河系中心的人马座A*（SgrA*）黑洞内部的时候。

伽利略和自由落体实验

我们现在正跟着伽利略（1564—1642）来到比萨大教堂内部。伽利略的目光被教堂中堂上方的吊灯所吸引；这些灯在顶部轻轻摆动。传说当时在托斯卡纳正发生着一场小型地震。伽利略对眼前的现象感到惊奇：虽然悬挂吊灯的绳子都是一样长的，每个枝形烛架的重量和形状都不同，然而，它们摇摆的频率却是相同的。为什么不同的物体却有相同的摆动频率？

事实上，伽利略对吊灯摆动的思考着重点还在对自由落体运动的研究。在详细描述伽利略的研究前，我们有必要先弄清楚那个年代的社会知识背景。在那时，物理知识主要是建立在两千多年前的亚里士多德推理上。例如，根据亚里士多德的说法，物体从高空落下的速度跟自身的重量成正比：一片羽毛下降的速度比一个球慢。在实验观察中，人们立刻发现物体运动和介质密切相关：同一颗铅珠在空气、水或是油中的下降方式是不同的。亚里士多德从中得出结论，认为物体运动依赖介质，因此，他否定了真空的概念：物体无法在真空中运动，这是荒谬的。当然了，落体并不是物体唯一能做的运动。亚里士多德的信徒们认为物体运动分为自然运动（物体根据其组成成分里空气和泥土的多少而向上或者向下运动）和被动运动，也就是在外力作用下进行的运动。天上的星星运动，因为它们每晚都会出现，所以看上去既不会掉下来也不会远离。它们的运动属于一种特殊的运动范畴：理想的天



体循环运动，是永恒的。所有这些知识概念看上去都非常幼稚，但是它们真的和我们对物体的第一感知差很多吗？

如果在手臂平行的高度同时放开一颗钢珠和一颗软木球，使它们做自由落体运动，由于动作完成太快以至于你们无法用肉眼仔细观察这个下降过程，那么，更别再说在伽利略所在的年代，当时还没有足够的条件来测量物体的下降时间（传说伽利略有时可能会运用自己掌握的医学知识，通过测脉搏来计算时间）。为了使整个运动过程速度减慢并因而能够研究这个过程，伽利略萌生了在斜面上做实验的念头。



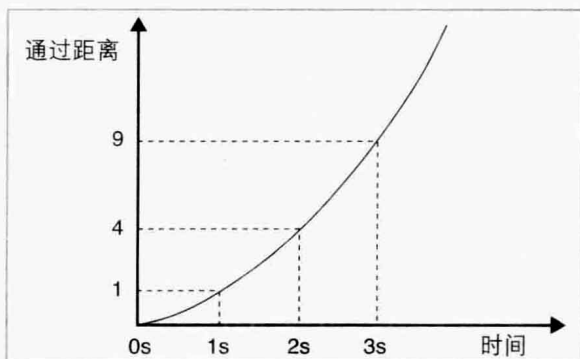
伽利略的斜面实验

材料：一块5米长的板；一颗钢球，一颗木球以及一颗塑料或者软木球，三个球的体积尽可能一样大；一只秒表

倾斜木板，使之与水平面成 10° 左右的角度；顺着木板分别放下三颗球，比较它们做滚动运动时的区别；仔细研究钢球的运动过程，分别在1秒、2秒和3秒的时候给定钢球的位置（我们在特雷耶的一

个平台做这个实验，我们发现只用肉眼观察钢球的运动会导致测量上的失误；因此，我们建议你们在第一次实验，在记录钢球运动位置时，用标有序号的纸做记录，然后第二次重复实验以检验数据的准确性，重复的时候用肉眼观察的是纸片而不是钢球——这个实验还是比较费神的）。

这个斜面实验的意义在于我们可以通过实验改变环境对物体运动的影响（比如在较粗糙的表面运动，或者在较光滑的表面运动）。因此，我们从中看到物体在运动过程中或多或少受到摩擦力的影响。那么，我们可以说，在之前的实验中，如果没有摩擦力的作用，运动距离和时间的平方数有关，也就是说在1秒、2秒和3秒的时候，距离间的关系是1:4:9（见图）。





实验 一张纸和一本书以相同方式下落。

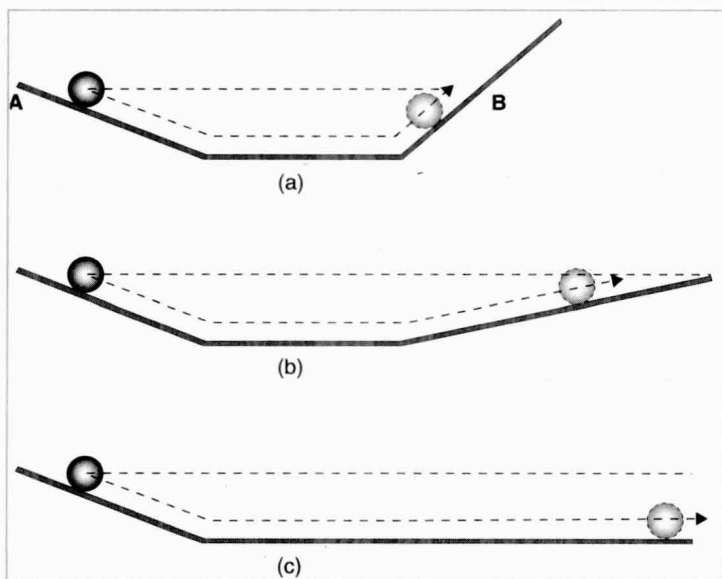
材料 一本书，一张与之大小相同的纸。

把纸和书放在支杆的一端，让它们自由落下。重复这个动作，把书放在纸张上面。你们看到了什么？

你们如何解释这个现象？仔细想一想你们作出的解释，再把纸放在书上面，做相同的实验。你们认为会出现什么情况？你们看到了什么？在这两种情况中，纸张不受空气摩擦力，它的下降速度和书本的下降速度是一样的！

这就是我们在物理上所说的“匀加速运动”：加速度，也就是速度上升的值。在这里，加速度是恒定不变的。换种方式说，也就是当摩擦力可以忽略不计的情况下——我们将运动环境看成真空——所有物体做自由落体运动的方式都是一样的。因此，这么看来，伽利略通过某种方式引入了真空的概念。

另一种理解真空概念的方法，依下列图示，是观察物体在斜面上做向上运动。假设物体与斜面间没有摩擦，(a)图中球在斜面A被放下后将上升到斜面B相同的高度处。我们可以通过改变斜面的粗糙程度做相同的实验来证明上述假设：摩擦力越小，球体上升的高度越接近起始的下降高度。因此，真空是一种理想化的情况，在这种情况下，物体自由落体定律轻易得到证明，并且适用于任何情况。现在



我们放低斜面B，如(b)图所示：它倾斜的角度越小，圆球向右滚动的距离越远。当斜面B完全水平放置后，如(c)图所示，圆球将永远向右匀速滚动而停不下来（这种情况只有在真空条件下才能发生，也就是说物体不受摩擦力作用），滚动的速度就是当



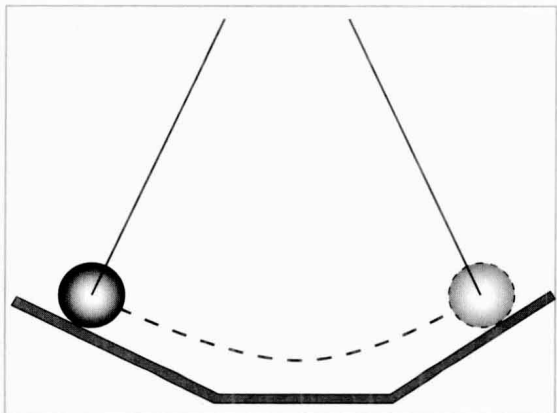
它到达斜面A最低处时的速度。对这种匀速运动的研究有助于我们理解惯性这个比较重要的物理概念。

根据惯性定律，如果物体不受任何外力作用，它们将做匀速直线运动，运动速度就是初始速度（或者，如果起始状态是静止，它们就保持静止状态）。由于惯性的缘故，物体在运动轨道上维持原有状态。如果我们要改变它的运动轨道，我们则需对它施加一个外力。但是物体越重，它的惯性也就越大。事实上，物体的惯性与其质量密切相关，这也是物体对试图改变它运动状态的外力的抵抗力。

我们经常容易混淆重量和质量的概念，因为当涉及地球重力场时，两者是成正比的，但是它们分别属于不同的物理概念。在重力场上，物体的重量就是物体所受外力的大小。它的质量则被用来衡量惯性的大小。我们通过几个例子来详细解释惯性的定义。

假设你们从事采矿工作。如果你们不叫斯达汉诺夫，那么你们肯定会选择空的矿车，而不是装满矿石的矿车。满的矿车质量更大，因此它的惯性也更大，对状态变化的抵抗力也就更强。但是，也许你们认为既然满的矿车更重，那么它比空矿车更紧压轨道，而你们要使出克服摩擦力的力更大，是不是？那么，现在有个问题：如果要停下空矿车和满矿车，你们会选择哪个？你们还是会选择空矿车。你们需要再次改变矿车的运动状态（把它们原来的速度变为零）：矿车具有的惯性在这里依然使它抵抗运动状态的改变。在刚才的假设中，我们看到满矿车的惯性比较大，更能抵抗运动状态的改变，也就是改变原来的运动速度，使它完全静止。

我们现在再回过头来看一下伽利略的斜面实验。为了尽可能有效地排除摩擦力，这对斜面实验来说难度很大，我们应该换种实验方式，用最好的方法制造出“真空”效果。为此，我们可以把圆球挂起来（见图）：圆球将像摆锤一样作自由摆动运动。也就是因为这个现象，才有了我



们的故事开始的一幕：1590年的一个清晨，伽利略在比萨大教堂，对教堂的吊灯产生了兴趣。从地球重力场的角度来看，这些摆锤做的运动相当于受重力控制的“下降”运动。从所有的摆锤以相同的方式摇摆的现象中，我们得到了一条非常重要的指示：所有物体下降的方式和速度都相同。

在观察摆锤摇动的同时，你们应该有时间思考这个实验的价值，它给你们什么样的启示：既然这些不同的物体摇摆的周期相同，那么实验背后必定存在一条适用于所有物体的基本定律。我们现在遇到了这个物理推理的核心问题，其中巧妙地结合了经验推理（也就是建立在真实实验和假想实验的基础上的推理）以及数学理论推理。一言以蔽之：在重力场中，摇摆的圆球不会停止“下落”（更准确地说，“受控制”而下降）。在这次实验中，它们为什么比自由落体时受空气阻力小呢？因为这种空气的摩擦力和它们的运动速度成正比：摆锤实验的诀窍就在于摇摆时物体的速度不可能很大（你们只要将大教堂吊灯的摇摆速度和悬挂它们的绳子折断时它们得到的速度相比较，就能明白这个道理），也不会受到很大的摩擦力。



实验

- 材料：一个装满水的杯子，一张干的纸，一块粗麻布
- 把纸放在桌上，水杯放在纸的中心位置。向你们所在的方向轻轻地拉动纸。你们看到了什么？快速地抽动纸（为了避免抽动过程中给旁边的人造成不便和损伤，我们建

议观察者和实验器材间保持一定距离……）。你们又看到了什么？比较纸张和水杯的惯性。纸张的质量比水杯小很多，而且移动它比移动水杯容易很多；水杯因为质量较大，仍然留在桌上，因此它的惯性要大很多。

提问/解答

有两个糖罐，一个是空的，另一个是满的，宇航员是如何在失重情况下不打开糖罐而区分出它们的？摇晃两个糖罐。糖罐失去重量，但是质量还在，也就是惯性还在。

要把一颗钉子钻到箱子里去，你们是准备用榔头敲打钉子还是拿箱子和钉子砸向榔头？榔头的质量比箱子小，因此它的惯性也相对小，移动榔头来得更加容易。





实验：大教堂悬挂的吊灯摇摆实验

材料：斜面实验中的三个圆球；

三根长约2.5米的细绳；三根足够
稳固的支杆。

把三个圆球分别系在绳子的一端，

这样就变成三条相同长度的摆锤了；
在同一高度同时松手放开它们；观察
并记录它们的同步摆动时间（测量）。

牛顿与月亮的掉落

我们把发现质量和加速度的定义以及提出自由落体定律归功于伽利略。但是，牛顿（1642—1727）发现这条定律只是引力作用下的一种特殊情况，无论是做自由落体运动的圆球和地球之间还是两颗星体之间，都存在着引力。我们称这种吸引力为“万有引力”。

物体的重力就是由地球对物体的万有引力作用而产生的。跟所有的力一样，我们用牛顿作为测量单位（缩写：N）。

我们再从伽利略的观察出发：所有物体自由下落时的加速度都相同。加速度随着重力增加而增加，但是随着质量增加而减少，因为质量是衡量物体抵抗外力作用的标准。事实上，质量增加两倍也会导致重力增加两倍但是加速度不变，它们间的关系是：

$$\frac{\text{重量}}{\text{质量}} = \text{加速度}$$

重力是一种力。其实，这种关系式只是“牛顿第二定律”里的一种特殊情况：

$$\text{力} = \text{质量} \times \text{加速度}$$

重力加速度缩写为 g ，它的值大约是10米/秒²或者牛/千克。如果我们用 P 表示重力， m 表示质量，那么我们可以用下面的公式来表示：

$$P = mg$$

我在上文中提到牛顿的功劳是发现万有引力也存在于星体间，比如行星和恒星。我们现在就用一个普通网球（伽利略的实验方式）来做几个实验，让这个网球扮演一个“宇宙星体”的角色（牛顿的实验方式）。如果我们在空中向上抛掷网球，它的运动轨迹就是数学领域一条非常著名的曲线：抛物线（和许多观点一样，这点