

*The Exploration Journey of Nature Principles*

*(Volume I)*

*Beginning with the Contemplating of Starry Sky*

# 自然规律的探索之旅

第一卷

从仰望星空开始

林少如 / 著



天津出版传媒集团  
天津科学技术出版社


# 自然规律的探索之旅

第一卷

从仰望星空开始

林少如 著

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

汽车维修工初中级考核实用手册 / 郭威, 张颖主编  
—天津: 天津科学技术出版社, 2018. 5  
ISBN 978-7-5576-5175-6

I. ①汽… II. ①郭… ②张… III. ①汽车-车辆修  
理-等级考试-手册 IV. ①U472. 4-62


中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第082168号

---

责任编辑: 布亚楠

---

天津出版传媒集团

天津科学技术出版社出版

出版人: 蔡 颢

天津市西康路 35 号 邮编 300051

电话 (022) 23332695 (编辑部)

网址: [www.tjkjcs.com.cn](http://www.tjkjcs.com.cn)

新华书店经销

天津午阳印刷有限公司印刷

---

开本 787×1092 1/16 印张 16 字数 270 000

2018 年 5 月 第 1 版第 1 次印刷

定价: 28.00 元

# 序

## 我为什么要写《自然规律的探索之旅》

现代教育面临的最大矛盾是，人类已积累知识的丰富与学生个体的精力有限的矛盾。就拿物理学来说，到目前为止，人类已经建立起一座十分宏伟的物理学大厦，以至于要想完全了解这座大厦，个人要花费的时间和精力是十分巨大的。而不光是物理学，其他学科也同样是一座座十分宏伟的大厦。这就意味着，每个人由于精力有限，只能选择其中一座大厦深造，并服务于相应的领域。但问题是，如果一个人完全不了解其他大厦，又很难在社会中与人交流。在这种情况下，我们有两种选择。第一种选择是，每个人从小从零开始攀爬每座大厦，等爬到每座大厦的腰部后，再选择其中一座大厦专心攀爬。但这种选择有一个很不好的地方是，每个人除了他选中的大厦，对其他大厦的顶层风景都不了解，而顶层风景又正好是现代社会的样貌。因此，我们有第二种选择：每个人也是从小从零开始攀爬每座大厦，但不是一点点脚踏实地地攀爬，而是“跳着”攀爬，等领略到每座大厦的顶层风景后，再选择其中一座大厦重新细致地攀爬。如此一来，每个人不光是对他选中的大厦，对其他大厦也有一个整体性的大致了解。对比两种选择，许多国家的教育体系选择的都是后者——学生在中学对每门学科进行一些概括性或科普性的学习，而后在大学选择一门学科进行系统性的学习。这样的教育虽然可以在短时间内普及很多知识，但也留下了许多问题。为了搞清这些问题是什么，我们先来说说现代教育是如何简化内容使得学生得以“跳着”攀爬每座大厦。

人类的科学成果大都不是直接获得的。比如，我们现在认为行星绕着太阳转，如果要直接获得这个结论，我们应该坐着宇宙飞船飞到太阳系外，然后拿起一个望远镜从远处观看太阳系内的行星运动。但别说人类到目前为止还没飞出太阳系，就是在还无法发射卫星的年代，人类就已经掌握了行星的运动规律；再比如，我们现在认为世界是由原子构成的，如果要直接获得这个结论，我们应该拿个显微镜直接看到原子。但别说原子已经小到用任何光学显微镜都观察不到，就是在显微镜还没有诞生的年代，就已经有类似的原子学说产生了。那这些成果是怎么获得的呢？它们都是人类根据可观测现象间接猜测出来的，这个过程非常像一个侦探故事，科学家们作为侦探并没有直接看到凶手作案的过程，但可以根据一系列作案痕迹来进行猜测。

作为第一项简化，不管是中学还是大学，我们的教育都把这个猜测的过程给大幅简化了。这点你可能有感受，在中学的时候，你就学过行星绕着太阳转、世界是由原子构成的，但教材并未清晰、严谨地告诉你人类是如何获得这些成果的。这项简化一下就把科学最有魅力的地方给剥去，因为一个侦探故事的最美妙之处从来不是作案的过程，而是侦探根据各种作案痕迹进行探案的过程。

另外，因为中学要求学习的内容广，而学时又很有限，所以中学还进行了第二项大的简化——大幅简化成果的内容。就牛顿力学来说，牛顿力学本身是建立在微积分的基础之

上的，而编制中学物理的人可能认为微积分太难了，所以将微积分从牛顿力学上活生生地剥离开，一下子就把牛顿力学的威力也同时剥去，使得整个紧密而优雅的力学体系变成一个松散的花架子。这第二项简化把科学的第二个有魅力的地方，即对科学理论的简洁美丽却又威力巨大的欣赏给剥去了。

这两项简化把科学最有魅力的两个地方给剥去，必定会造成学生对科学的兴趣大减，这应该算是最大的问题了。但它们带来的问题不止于此。

首先，主要由第一项简化带来的问题是，学生会发现他虽然学了很多“知识”，但是好像和现实世界联系不大，仿佛他们是在研究一堆理论，而不是在研究这个世界。这是因为，在第一项简化下，我们将现实世界的可观测现象大幅省略并重点教授理论，且同时由于第二项简化，理论不够完整，从而很难解释现实世界，最终使得理论和实际开始渐渐脱离。而由此带来的附带效应是，学生会误以为科学理论本身就是真理，而忽略了它存在的意义是解释世界，从而思考的方向不是用理论解释世界，而是对于理论本身的思辨思考。

接下来，当学生的思考方向被转向对于理论的思辨思考时，就到了主要由第二项简化带来的问题了。由于第二项简化，理论变得不完整，所以在没有补全这些不完整内容的情况下，不管学生怎么思考都无法获得真切理解。而在思考经常得不到真切理解的情况下，学生要么开始否定自己并放弃思考，要么开始渐渐习惯不清晰或不完整的知识，直至无法对清晰与不清晰或者完整与不完整的知识作出区分，从而很难发展出严谨的思维，也很难在以后的人生中提高自己。

这些简化，再加上“已知”背景的强迫，使得我们的教育在本质上变成了灌输式教育。无论人类社会处于什么阶段，刚出生的孩子几乎没有区别，但是他们所要应对的世界或许完全不同。当你将原子学说分别教给一个古希腊的中学生（如果那时有中学生的话）和一个 21 世纪的中学生时，对于古希腊的中学生而言，他们可以大胆质疑这个原子学说，社会也不会反对他的质疑，因为很多东西都是未知的。但对于 21 世纪的中学生而言，如果他质疑这个原子学说，他很快就会被告知这就是真理，因为几百年的科学发展过程说明了这一点。而当这个中学生要求了解这个发展过程的时候，老师们又发现那不是个中学生可以在限定学时内学习完的，所以索性将原子学说这现代社会共同的世界观简化后灌输到学生的脑中。

以上说的种种问题引来的矛盾是，人类社会的运行和发展需要学生会思考、会质疑、有严谨的思维、懂科学方法，但如果我们为了共同的世界观采取大幅简化和禁锢思维的教学方式，教育出来的学生就会缺少这些基本的科学素养。那么现在的问题是：我们舍得仅仅为了让孩子们从小继承“知识”，就让他们失去开拓知识的能力吗？

其实仔细想想，这也不是什么“鱼和熊掌不可兼得”的问题。我们完全可以单独划分出一小块区域培养孩子们的科学素养，而后当我们需要向他们普及一些其他的基础知识时，告诉他们已经离开了那块区域。有了这样清晰的划分后，孩子们既能保留科学素养，又能接受一些基础知识的普及。而我撰写《自然规律的探索之旅》系列书（以后简称“探索之旅”）的初衷，正是为了开辟这块区域。

那么，探索之旅这块区域和现今的教科书划分出来的区域有何不同呢？首先，为了一次性解决上面说到过的所有问题，探索之旅做的第一件事情就是背景的转换——相对于现代教育设定的“已知”的背景，即“人类已经理解了这个世界”的背景，探索之旅设定“未知”的背景，即我们假定对这个世界一无所知。在这样的背景转换下，前面说过的第一项

简化无法进行，因为我们不可能在未知的情况下直接获得那些科学成果，这其中必须要有一个探索的过程。而第二项简化也很难进行，因为我们得到的成果必须要能解释现实世界的现象，而大幅简化的成果很难做到这点。另外，在背景转换下，我们的孩子们也能像古希腊的孩子们一样自由地思考和质疑了，因为不再有人告诉他们科学家早就了解一切了！

接下来，你可能会问：我们该在这样的“未知”背景下研究哪些内容呢？这块锻炼学生思维的区域又能划多大呢？或者换个说法，对于那么多座大厦，我们该攀爬哪几座，又能爬到多高的位置呢？（虽然我们是从头开始建立大厦）

对于该建哪些大厦，原则上我是没必要给出限制范围，因为探索之旅的模式几乎可以拓展到任何一门学科。但是很显然，我不可能完成所有学科的内容，所以我暂且将对象锁定在自然界，并且把重点放在物理学上。但因为很多学科都有交叉关系（毕竟学科是人为划分的，而自然界只有一个），所以或许随着探索之旅的进发，很多学科都会涉及。

对于大厦该建多高，我希望可以从最底层的基础运算开始，一直建立到理论物理学的顶层（最起码应该到达相对论和量子力学的高度），并且在此过程中介绍自然规律的应用，展现出人类技术的进步过程。而当我以此为大目标写完第一卷后，我惊奇地发现，探索之旅的模式之效率之高、篇幅之小，完全有可能使其能被引入体制内的基础教学，而不再仅仅是一个锻炼学生思维的区域。对此，我可以解释一下为什么。我们先从效率的角度来谈谈：

当你真正开始阅读探索之旅的时候，你会发现，一旦我们设定了“未知”的背景，学习的过程只能是探索的过程，而探索的过程几乎都是这样的：我们先设定一个探索的目标，然后在实现目标的过程中会发现一些问题，我们想办法解决这些问题，在解决问题的过程中又会发现新问题，我们又想办法解决新问题，在解决新问题的过程中又会发现新问题……探索之旅基本上就是在设立目标、发现问题、解决问题、发现问题、解决问题中不断循环。而当你再对比那些设定了“已知”背景的教科书，你会发现它们非常倾向于直接告诉你所有问题的答案以及解决问题的工具，而并不告诉你这些问题是什么，又该如何运用工具来解决问题。对比这两种学习方式，你很快会发现前者远远优于后者，因为只有当你搞清楚一个问题是什么、问题意义在哪、该如何运用工具解决问题时，你才知道答案的意义以及工具的使用方法；只有当一个又一个问题被一条为了实现目标的故事线串起来的时候，你才知道每个问题、每个工具、每个答案在其中扮演的角色，你也才发现记忆它们是件非常简单的事情。而从整个社会的人才需求来说，人才的最重要标志是发现问题和解决问题的能力，而不是他已经知道了多少已知答案的问题的答案，又或者掌握了多少不懂得使用的工具。

还有一点是，就中国来说，体制内的教育隐含着这样一个要求：经过九年义务教育后，学生就要有一个对于当今世界的总体认知。这就意味着，在初中，我们就不得不把一些较为前沿的知识，比如原子理论（要说明的是，有时候我说的“前沿知识”或者“顶层风景”是相对于基础教育而不是现代科学而言的）纳入教学范畴，只是将其简化了；因此，到了高中，我们会发现，这些知识又出现了，我们又要重新学，只不过内容增多了些，系统性增强了些；到了大学，有的学生会发现，这些知识又出现了，只是内容再次增多，系统性再次增强。这样的重复一方面浪费了很多时间，另一方面大大降低了学生学习的热情，使得整个教育体系变得非常低效率。而不同于这种阶段式教育，探索之旅采取连续式教育，我们将从最接近生活实际的现象开始建立模型，并随着现象的增多而逐渐改变模型，使其

越来越接近现代科学的模型，并在此过程中体现出人类技术的进步过程。除此之外，探索之旅的连续式教育还有一个很好的地方在于，它非常有利于学生们在未来人生中的继续学习，因为后续的学习可以非常顺畅地与前面的学习连接起来。

以上说的都是效率上的问题，而且我还没说到之前的两个简化给体制内的教育带来的种种效率降低，比如学生兴趣的降低以及思考方向的偏差导致的无谓思考……所以你将看到，相对于体制内的教育，探索之旅的效率会非常高。而除了效率高外，我还对其进行了两个简化以助其减少篇幅：

第一项简化是，作为作者，我自己想象最直接的探索过程，而不是重复前人那曲折的探索过程。人类在科学的道路上走了非常多弯路，要么是因为科学思维有问题，要么是因为运气不好，要么是因为技术水平落后。而我将使用现代人最有效的科学思维进行探索，并且假设我们的运气足够好、技术足够先进（只允许使用原理清楚的技术），如此一来，我们会少走非常多弯路，从而大幅减少篇幅。我之所以这么做，还有一个原因是，我想把探索之旅写成一个连贯的侦探故事，并通过这个侦探故事将很多重要的基础知识系统地串联起来，而如果我拘束于科学史，就很难做到这一点。有人可能会怀疑这样做的科学性，对此，我可以这样辩解：在我已经对这个自然界有一定了解的情况下，我可以判断自己想象的探索过程是否合理。另外，你也可以从科学史上看到，同样的研究成果有时可以被不同的科学家通过不同的方式获得。

第二项简化是，有时候我将重点关注原理而忽略一些技术问题。这么做不单单是为了减少篇幅，也是为了突出原理。比如，对于观测工具的获得，有时候我只会对工具的制作原理作说明，而不会对工具制作技术一一交代；对于实验的选择，有时候我会选择更能直观展现原理的理想实验，而不是那些更易操作的实际实验；对于观测的过程，有时候我只会对观测的原理作说明，而不再具体解释观测过程中可能出现的技术问题；对于观测结果的分析，有时候我只会对分析的原理作说明，同样不再具体解释分析过程中可能出现的技术问题。总之，只要是原理上能实现的，我们很经常都当作是可操作的。之后你会看到，只要掌握了原理，这些技术问题总可以通过很多种方法解决——要么多花点时间精力用复杂技术解决，要么寻找一个简单而巧妙的技术解决。

不过还是要承认的是，在以上两个简化下，探索之旅无法做到完全真实，它出于自身的系统性、连贯性、趣味性、原理突出性和精简性等，只可能是一个理想化的探索过程。有时候我甚至认为，探索之旅不算真正的探索过程，而是代表着一种新的学习方式——将思维调到“未知”的背景下，看能否从零探索出所学的知识。你很快会发现，抛开所有思维上的锻炼，就学习知识或者认识世界来说，这是最佳的方式。

以上已经说了非常多探索之旅的优点，但如果我们想将这种模式引入学校，我们仍然面临一个关键的问题：我们能否在有限的基础教育时间内，让探索的进程足够接近现代社会？

就中国而言，对于上一代人来说，这是几乎不可能的，因为当时教育的普及度不够高，有很大一部分人上了初中后就辍学了，所以基础教育的时长对于很多人来说只有九年（这也是我们采取阶段式教育的原因）。但是随着时代的进步，教育的普及度变得越来越高，大多数孩子都能上高中、大学了，在这种情况下，我们能够掌握的基础教育时长就大大增加了，也就意味着探索之旅的连续式教育有可能进行到较为接近现代社会的阶段。再退一步讲，如果我们做不到这点，我们也可以在一些课程的结尾处添加一部分科普性质的内容，

来帮助学生们了解更加前沿些的知识。而对于这种科普，有时候我们可以在制定了“游戏规则”的情况下，仍然使用探索的方式进行，正如我在第一卷最后一章中所做的。

接下来，当你开始阅读探索之旅的时候，你可能还会意识到这样一个问题：探索之旅从一开始就必须追求严谨和完整，所以一开始就涉及比较复杂的猜测和推理过程，这就要求读者有阅读的耐心、思考的专注以及一定的领悟力。但是问题是：如果将其引入学校，对刚刚接触科学的学生而言，他们真的可以承受这些吗？

往坏的方向想，如果我们对于大多数学生的领悟力和耐心的估计过高，或许探索之旅只适合一小部分人群。但是往好的方向想，其实相比大人来说，孩子们有很多先天的优势：好奇心强、热爱思考，并且不受太多先入为主的知识和观念影响，从而思维更加自由，经历的探索过程也将更加充满未知和乐趣……这些先天的优势正好是探索之旅最需要的，因此，相对于大人们来说，孩子们或许会更加适应探索之旅的模式。

还有一个不为绝大多数人察觉的道理是——深奥往往就是简单。我想你可能有过这样的感受：当一个人为了照顾你的理解力而将一件事情简化后告诉你，你往往会发现这件事情并不好理解；而一旦他非常详细地告诉你这件事情的方方面面，你会发现这件事情也就那样。探索之旅正是如此，它并不避讳猜测和推理过程中可能出现的复杂性，但结果往往是让问题变得更易理解也更加简单。

最后一点很重要的是，探索之旅是留于纸面的，无法带领孩子们亲身体验探索的过程，而体制内的教育有更多的资源，可以通过老师们声情并茂的授课、给孩子们配备实验仪器、带领孩子们走进大自然，甚至是用高科技的模拟设备模拟任何场景等，让孩子们更加真实、生动地经历这个探索过程。所以一旦我们将探索之旅的模式引入学校，或许之前提出的问题便不复存在了。而且话说回来，探索之旅存在的一大意义就是培养孩子们的那些科学素养！

我之所以撰写探索之旅，除了为我们的教育提供多一种选择，还出于这样一个原因：人类在这几千年的探索中，已经把表面上能探索的几乎都探索完了，剩下的要么是需要专业知识背景的人员才能进行的小型技术创新，要么是动辄几百个科学家花费几亿美元合作的大型科研项目。对任何个体而言，别说走向探索的前沿了，就是消化完一小个科学领域的知识都得花上半辈子。但问题是，人类天生喜欢探索未知，而在门槛如此高的情况下，我们该如何享受到这种快乐呢？

现在，我们面临的一个机会是，或许这个问题可以通过教育问题的解决而一同解决。一个非常简单、有效的方法是，我们聚集一群非常有想象力的科学家甚至是小说家，为我们的孩子们和任何一个普通人精心设计一整个连贯又十分吸引人的侦探故事，以一整套完全足以自学的教材体现出来。只要教材写得足够好、足够吸引人，就能在很大程度上让所有地区的孩子享受到同样好的教育，也能让任何一个普通人感受到探索的快乐；而相比聚集一群人进行创作的方法，或许更好的方法是建立起有效的竞争机制，促进各行各业的优秀人才进行教材的创作，让学生或读者筛选最为吸引人、最优秀的作品，并最终通过系统整合的方式形成一个新的教育体系。探索之旅是在物理学方面对这种探索式教材进行的尝试，对于更多学科的尝试，以及更加系统的新教育体系的构建，还需要更多人的努力。

林少如  
2017年8月



# 《第一卷》前言

作为探索之旅的第一卷，我选择研究这个自然界的总体面貌。比如，脚下的大地是什么；如果我们一直往一个方向走会走到哪里；天上的云是什么；星星是什么；太阳是什么；月亮是什么；它们离我们有多远；它们是怎么运动的；为什么它们有时候会突然钻到地下……这些都是人类从刚诞生时就最感兴趣的问题，古代几乎所有宗教、神话、哲学都涉及这些问题，而围绕这些问题的思考和探索也是人类科学的最重要起源。

作为现代人，很多人或多或少被告知过这些问题的答案，但是当你想象着自己在“未知”的背景下去通过观察获得这些答案时，你会发现这是一件非常困难的事情。就地球来说，我们看到的地面明明是平坦的，凭什么说它是个球呢？就地球绕着太阳转（或自转）而言，我们感受到的地面明明是静止的，凭什么说它会运动（或自转）呢？就行星绕着太阳转而言，我们只能观测到行星和太阳的方位，又该如何确定它们在空间中的位置从而获得它们的运行情况呢？往更大了说，我们又是怎么知道我们处于一个叫银河系的星系中呢？……

这些问题对于大多数人的困惑突然让我想到了宗教。宗教教育教徒有神的存在，应该遵循神的教令，但从从不严格解释神从哪来，又有谁见过。反观我们的科学教育，我们教育学生大地是个球，它和其他行星一起绕着太阳转，我们就处于银河系内，等等，却不严谨地说明这些结论的来源，那这和传教有何区别呢？仅仅是灌输的思想不同吧？

暂且不说我们学过的一些天文知识是怎么来的，我们的教育大多注重理论而轻视实际的观测。比如，我们如何在夜晚分辨行星和恒星；晚上的恒星是怎么运动的；行星又是怎么运动的；如何辨认星座；东西南北是如何定义的又该如何方便地确定；月亮何时升起何时落下；太阳的方位在一天和一年中怎么变化……这些实实在在的观测是被现代教育最为轻视的，而这些正好是学生们得以在现实生活中检验他们所学知识的方式，因而也正好是宗教传教和科学教育的本质区别所在。

在即将启程的第一卷中，我们将忘记曾经学过的所有知识，只留下生活中的经验，只允许使用普通人都能理解其制作原理的简单工具（比如尺子、量角器、绳子、钟表等。由此也排除那些制作原理不易理解的现代高科技工具，比如卫星、探测器甚至是望远镜等，但它们可以在带有科普性质的最后一章中出现），从零开始观察和探索这个世界。而需要再次强调的是，在阅读之前，你要把思维调到“未知”的背景下，从新生婴儿的角度来重新研究这个世界。

对于第一卷，除了总体展现出探索之旅的写作模式，并为探索之旅开启旅途外，还有一个重要目标是：低门槛地展现出科学研究的过程，使得任何一个没有科学背景的人，都能通过第一卷的阅读，深刻理解科学以及科学思维的含义。正因为如此，我刚刚才只允许使用普通人都能理解的简单工具，而除此之外，我还采取了同比例绘图和制作缩小模型的方式（你很快会看到），绕过了很多数学，只留下简单的加减乘除（你甚至可以把这加减乘除的过程跳过，直接看计算结果）。虽然绘图和制作模型的方式不是历史上采用的主要方式，但它可以比计算更好地展示出数学的本质。而无论是加减乘除还是绘图和制作模型转为计算的过程，我都会在第二卷补全。到那时你会发现，正是因为我们曾经有过未被允

许使用太多数学的经历，我们才能有朝一日明白数学的神奇和重要性。

探索之旅理应是零起点的，只是因为一方面基础天文学对于一个人的世界观太过重要，另一方面它又是一个能总体展现科学思维的绝佳话题，所以我无论如何都要把它放在第一卷。

林少如  
2017年8月

# 第一章 地球

## § 1-1 地平线的出现

假如我们身处一片森林之中，我们低下头观察脚下的大地，会发现有的地方比较平坦，有的地方比较崎岖。我们环顾四周，发现周围全是茂密的高大树木，以至于我们的视野仅仅局限于旁边这几棵树。我们抬头看看天空，它好像就是个平面，且离大地十分遥远，以至于当我们躺在地上看着天空的时候有种怕掉向无尽天空的恐惧感。这时候，我们很容易得出这样一个结论：地面和天空是离得很远的，无论如何，我们都触碰不到天空。

为了探索更多有意思的地方，我们走出森林，来到一片十分广阔的平原上。我们的视野是如此开阔，以至于我们有种可以看遍整个世界的错觉。但是当我们眺望平原的最远方时，我们却发现了一个十分令人震惊的现象：平原的尽头仿佛和天空连接在了一起！它们的交界区域构成了一条线！

这怎么可能！天空明明离我们很远，它怎么可能和地面相接！

为了看看它们是不是真的相接，我们朝着这条交界线走去。但奇怪的是，不管我们走多久，似乎都无法接近这条交界线。就好像我们在向前走，而它以同样的速度向后退！

当我们走了相当长的距离并且感到没有任何希望靠近它的时候，我们想往回走了。可当我们回头看的时候却发现，我们已经看不到之前的森林了！我们期望看到森林的地方现在被一片天空取代，且这片天空和平原又连接起来形成了一条线！我们环顾四周，发现四周除了平原没有其他任何东西，且任何方向的平原尽头都和天空形成一条交界线——我们已经被这条交界线团团围住了！现在，各个方向的交界处好像都离我们一样远，以至于我们视野中的平原看起来就像一个圆盘，天空就像是一个半球盖在这个圆上！（为了方便描述，我们之后将这天-地交界线称为地平线）

但是这只是看起来像，其实我们仔细想想会发现不可能是这样的。如果说平原真的是个圆面，且它的尽头被天盖住，那当我们朝着一个方向一直走的时候，即使我们走不到这个交界处摸一摸天，也应该发现走得越远，前方的地平线相比后方的地平线会离我们越近。可是当我们尝试这么检验时，我们却发现无论我们朝哪个方向走，走多远，任何方向的地平线仿佛都和我们保持同样的距离，我们仿佛永远都处于这条交界线构成的圆的圆心！更可以直接反映出问题的是，我们从森林出发的时候并没有看到有天盖在前方的平原上，但当我们走到平原中回望森林的时候，我们发现天盖在了原来的路途中！而如果我们现在往回走，也只会发现，森林前的平原根本没有被天空盖住！

所以我们可以得出结论：天不会“从天而降”盖在平原上。那我们如何解释亲眼看见的天空仿佛盖在了地面上的现象呢？我们回想起曾经在森林中观察到的一个现象：当我们抬起头看着天空时，有时候会看到树木和天空在视线中重合，仿佛树木和天空是相接的。而实际上树木并未与天空相接，只是因为树木、天空和我们的眼睛处于一条直线上，所以我们才有这种感觉。同样的，我们可以推测：仅仅是因为平原、天空中的一些点与我们的眼睛处一条直线上，我们才会产生平原和天空相接的错觉，而地平线就是由这些处于一条直线上的点构成的。

但随之而来，我们立即发现，这个平原其实根本不是个平面！

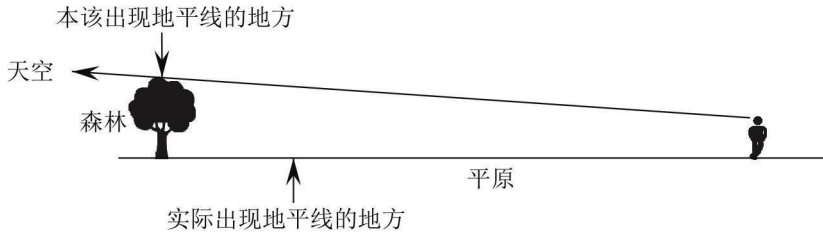


图1-1 平面地形

如图 1-1 所示，如果平原真的是个平面，则不管我们走多远都仍然可以看到森林，且我们看到的地平线永远是由森林和天空形成的，在平原上是不可能出现地平线的。但是我们之前的确看到地平线出现在平原上啊！

你可能说：“或许之前看到的地平线本就是出现在森林的，只是因为走得太远了看不清树木，所以误认为地平线出现在平原上。”

为此，我们可以做一个实验来检验究竟地平线能否出现在平原。我们在天快要黑的时候在靠近森林的平原位置放置一盏亮灯，然后在平原上朝着远离森林的方向走，边走边注意地平线和这盏灯的位置关系。起初，的确森林和天空形成地平线，灯也可以明显看到。但是随着我们越走越远，我们发现树木变得越来越“矮”，且地平线离灯越来越接近，直到某个时刻我们突然发现，灯的亮光消失了！我们又往回走走，又突然发现灯的亮光可以看见了！我们一来一回检验好多次，总是发现灯光是突然出现或消失，而不是渐渐出现或消失，这就说明灯光的产生和消失并不是因为我们和灯的距离的变化，而是因为地平线的位置随着我们的移动在灯的前后来回移动。

那也就是说，地平线是可以出现在平原上的，同时也意味着这个平原其实并不是一个真正的平面！

随之而来的问题是：既然这个平原不平，那么它究竟是怎样的地形呢？我们能想到的最简单的两种地形是向上凸和向下凹。我们来看一下这两种地形能否解释平原上出现地平线的现象。

首先考虑一下向上凸的情形，这时候平原就是个山丘：

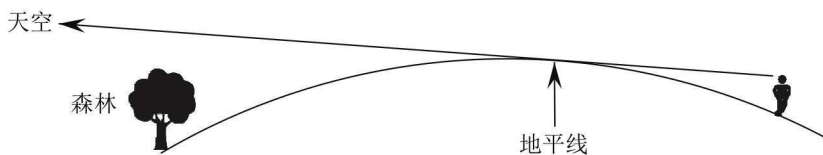


图1-2 上凸地形

如图 1-2 所示，上凸的地形几乎完美地解释了地平线的现象！在这样的地形中，天空中的一些点、平原上的一些点、我们的眼睛有机会处在一条直线上，而这些点就构成了平原上的地平线！不仅如此，根据这样的地形我们还可以推测，当我们在平原上走动时，地平线也会跟着我们走，而这和实际观测到的现象是正好吻合的！

看来这个平原很可能是一个上凸的山丘，不过，我们还不能武断地下结论，因为或许下凹的地形也可以解释这些现象呢？我们来看看下凹的地形，这时候平原就是个盆地：

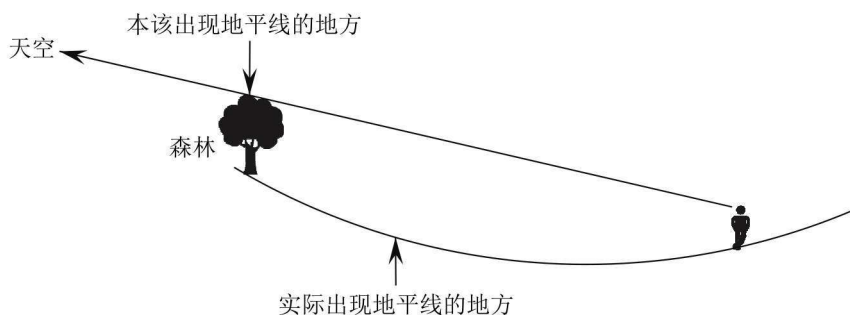


图1-3 下凹地形

如图 1-3 所示，在这样的地形中，地平线只能出现在森林，和我们观测到的结果是不吻合的，所以这种下凹的地形被排除了。

现在，我们可以确定脚下的平原实际上是个山丘了吧？严格来说，还是不可以。因为我们只考虑了最简单的平面、上凸、下凹这 3 种地形，并且确定上凸形可以解释我们观测到的现象。但是地形多得是啊，岂止这 3 种啊！说不定什么波浪形、扭曲形，什么乱七八糟的地形也可以解释我们观测到的现象，而我们没有也不可能全部检验完啊！如果真的有什么奇怪的地形也能满足我们的观测结果，那么我们究竟该说哪个是正确的，哪个是错误的呢？

这个问题几乎是无解的，我们先放着不管。不过，我们不妨先暂时假定脚下的平原是个山丘，因为即使我们又发现有其他地形可以解释地平线的现象，估计也没有这个上凸地形简单，所以最起码它应该是能用的模型里最简单的一个。

## § 1-2 矛盾的产生

虽然我们不能完全确定脚下的地面是个山丘，但是我们可以完全确定的是，脚下的平原绝对不是个平面。也就是说，它绝对不是个名副其实的平原。但是，我们仔细想想又会觉得奇怪：既然平原不是真的平，那么为什么我们一直觉得它是平的呢？以至于到现在我还忍不住叫它平原！

我们回想一下在平原中行走时的感受，会发现有两点原因使得我们愿意称之为平原：1) 我们看脚下的每一小块区域都像一个平面；2) 当我们在平原上行走的时候，我们的身体总垂直于平原，我们可以站得很稳而不怕有坡度，即平原不光是平的，还是水平的。

但是，我们立即发现平原是水平的这个感受和我们之前的山丘假设是相矛盾的！因为当我们在山丘上走的时候，怎么可能总是感到地面是水平的？你可能说在山丘的顶端是水平的，但是在越靠近山丘的边缘部分应该越可以感到它是有坡度的。可我们在平原上走了那么久都没有感受到有明显的坡度。并且你看看我们之前根据山丘地形给出的图像，树木是斜立在山坡上的，而实际上树木都是垂直于地面的啊！这该怎么解释？

我们想：或许山丘的假设是错误的。那我们就再找一个既可以解释地平线，又符合地面无坡度现象的假设。但是我们立即发现，除了平面，其他地形都是有坡度的！但我们早就说过，平面是不可能解释地平线的现象啊！

这就非常矛盾了，我们几乎陷入一个死胡同！现在，只有一种方法可以帮助我们逃离这个死胡同：我们就假设地面是个山丘，但是这个山丘隆起的幅度实在太小了，其坡度非

常小，小到我们根本察觉不到，从而造成了平原的假象……

### § 1-3 海平线的出现

既然我们自认为的平原不是平原，那么我们现在自然就很想找一个名副其实的平原了。但是上面的推测让我们发现了很尴尬的一点：不管我们走到哪里，不管我们觉得脚下的大地有多么水平，我们都无法排除它有点坡度而我们根本察觉不到的可能性。但是，如果我们拓展一下思维，不仅仅停留在大地这一个层面，我们就有可能找到真正的“平原”。

回顾在森林时看到的一些现象，我们会发现，虽然森林的地面显得崎岖不平，但是一旦下雨，沉积在地面的水面永远是非常平，并且是水平的。也就是说，我们要找一个有之前平原那么大的水面，那这一大片水面就绝对是名副其实的平原了！根据我们之前对于平面的情形分析，我们可以推测，无论这个水面有多大，我们都可以将其尽收眼底，即使有地平线，地平线也不可能出现在水面上，只可能出现在水面外的区域。

直到我们来到了海边……

为什么海面上还是有地平线？不对，是海平线……

不可能，海面一定是平的！按理说，我们一定可以把整个海面尽收眼底的！既然事实不是这样，那么前面的海平线就真的是天盖在了海面上形成的！如果我们朝着这条海平线前进，我们一定会越来越接近海平线，说不定还能摸到天呢！

于是，我们借来一条船奋力地向着海平线进发。可是事实却同我们之前在平原时发生的一模一样：不管我们怎么往前走，我们都无法靠近海平线！并且当我们实在觉得无望想回去的时候，历史又惊人地重现了：我们已经无法看到我们出发时的海岸了，取而代之的是一条一模一样的海平线！我们惊恐地环顾四周，发现我们已经被海平线包围了！

### § 1-4 一个看似违反常识的假设

现在，我们不得不接受的一个事实是，在海面上观察到的现象和在平原上观察到的现象是一模一样的。那么，之前用于猜测平原地形的逻辑也可同样地运用于海面上了，我们就可以同样地推测出，海面其实不是一个平面，而很有可能也是个上凸的曲面！但是这又很矛盾，海面肯定是水平的，怎么可能是上凸的？

现在，一切都变得非常矛盾、非常混乱了！其中必定有某个环节出现了问题，我们一定要把它揪出来！

我们再来仔细地思考一下。如果海面是个平面，那么无论如何，海面都可以被尽收眼底，所以海面一定不是个平面。而对此合理的猜测是：海面应该是上凸形的。另外，我们在海面上行驶的时候观察到，海面的确总是水平的，即海面上的重力方向（等价于人站立的方向、石子悬挂或静止下落的方向等）垂直于海面。由上凸地形和重力垂直于海面，我们可以画出图 1-4。

图 1-4 已经明显地表明：或许随着距离的变化，重力的方向变得不再平行了！而这或许就是我们逃离矛盾的一个契机了！

我们之前一直默认重力方向总是平行的，或许这种看法是错误的，也或许正是这种错误的看法导致了诸多矛盾的产生。但如

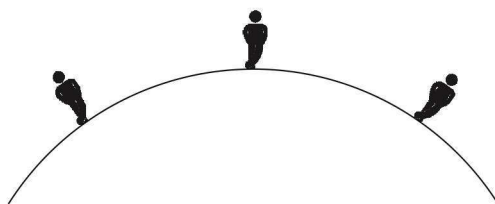


图1-4

果重力的方向在随着距离的变化而变化，海面是上凸曲面与我们在任何一点总是看到水面是水平的就不存在矛盾了。而很可能平原的情形也是如此：本来在每一点平原都是水平的，只是由于距离拉远了，重力方向才会不同，从而我们感受到的水平方向也会不同，那感觉不到坡度就变得很自然了啊！

一切逻辑在这个新假设下变得十分协调，但是我们忍不住会感到难以接受——这也太违反常识了吧！

不过，这真的违反常识吗？我们还是先分析一下这样的常识是怎么来的。首先，正如我们在日常生活中所看到的，如果两个人站着，那么他们直立的方向总是平行的。同样的，当我们在两个地方同时悬挂起石子的时候，我们总是看到它们的悬线是平行的。这样的事情我们在生活中见得太多了，以至于在我们头脑中形成这样一种惯性思维：重力的方向总是相互平行的。但是如果仔细分析一下这些现象发生的条件就会发现，它们总是在相当近的距离下发生的。我们从来没有观察过相差几千米甚至几十千米这样的距离下的两个地点的重力方向是否相同啊！这样就存在一种可能性：当两个地点的距离越拉越大时，两个地点的重力方向可能会越来越趋于不平行！

上面只进行了可能性的分析，指出这样的假设并不真正违反常识。但这样的假设究竟是对是错呢？现在，我们要设计实验来实实在在地检验。

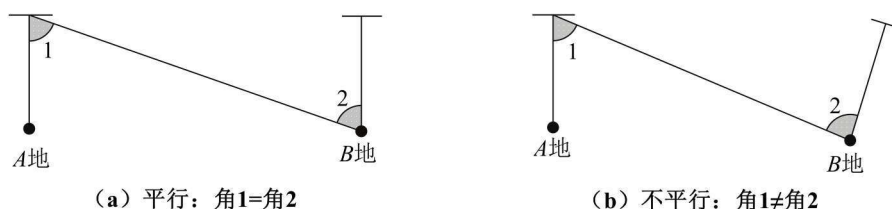


图1-5 检验重力方向是否平行

如图 1-5 所示，我们可以在 A 地用一根短绳静止地悬挂一颗小石子，那么这根短绳所指的方向就是 A 地所受重力方向。我们再在一个相对较远的 B 地用一根短绳静止地悬挂一颗小石子，那么这根短绳所指的方向就是 B 地所受重力的方向。现在，检验这两个地点的重力是否平行就相当于检验这两根短绳是否平行了。我们该怎么检验呢？图中已经很明显地表示出，我们可以找一根十分长的绳子，将这根绳子的一端连接在 A 地短绳顶端，另一端连接在 B 地短绳末端，然后量一量图中所示的 1、2 两个角，就可以确定两根短绳是否平行了——如果两个角相等，则说明两根短绳平行；如果两个角不相等，则说明两根短绳不平行。我们期望得到的实验结果是这两个角不相等。

实验的思路是完全没有问题的，但是我们发现操作起来有一个麻烦的地方：那么长的绳不好找，要在那么远的距离拉直也挺麻烦的。虽然原则上这不是问题，但是我们有一个非常聪明的办法可以在不用长绳的情况下达到同样的效果。

之前，我们说到，当天空中的一些点、平原、我们的眼睛在一条直线上的时候，平原和天空在视线里重合形成地平线。这就给我们启示，或许我们有办法用视线代替长绳。总结起来有这样原理：如图 1-6 所示，如果有三个点排列成一条直线，那么我们总可以找到一个合适的位置观察到这三个点在我的视野里是重合的。反过来，如果我们总可以找到一个合适的位置观察



图1-6 视线原理

到某三个点在我的视野里是重合的，那么这三个点是在一条直线上的。

利用这个原理，这根长绳就可以用视线来代替了。我们在  $A$  地的小短绳顶端系上一根十分笔直的小铁丝，然后观测的时候将小铁丝指向  $B$  地短绳系着的石子，直到我们用眼睛确定了小铁丝在视线里是和石子重合的，我们就知道了如果小铁丝一直延长的话，它是会通过  $B$  地的石子的。现在，根据小铁丝的指向和短绳的指向就可以测量角 1 了。用同样的方法可以测量角 2。

实验方案拟定了，只剩下我们实际行动了。考虑到如果坐船到海上做实验，海水的运动一定会使船产生颠簸，而这样的颠簸一定会对我们测量角度产生影响，所以我们可以选择在平原做实验。当然，如果你说有风什么的，我们盖两个临时的小房子不就好了！

下一个问题是：该取两地距离多远？我们不知道重力方向随距离变化程度是怎样的，我们可以从好测的近点开始测量，如果测不出期待的结果，我们就再选远点。

取距离为 100 米左右，实验结果：两角几乎完全相同。

取距离为 500 米左右，实验结果：两角几乎完全相同。

取距离为 1 千米左右，实验结果：两角几乎完全相同。

取距离为 2 千米左右，实验结果：两角几乎完全相同。

取距离为 5 千米左右，实验结果：两角几乎完全相同！

没多久，我们就绝望了。因为离得再远，一方面，我们就要爬得高一点；另一方面，我们还不得不把石子换成灯，否则，我们根本看不到或看不清对方在哪里！

那现在的问题是：究竟是我们的距离选得太近以至于两个角实在太接近我们测不到，还是我们对于重力方向的推论根本就是错的呢？我们只能选择前者，因为如果我们选择了后者，我们立即就走投无路了！况且，其实我们的距离取得并不算远，这个不平行度太小以至于我们测不出来，也并不让人觉得意外。

所以我们就很怀疑我们测量角度的精度不够了。实际上的确如此。按照我们的规定，我们测量角度的工具只是普通的量角器。

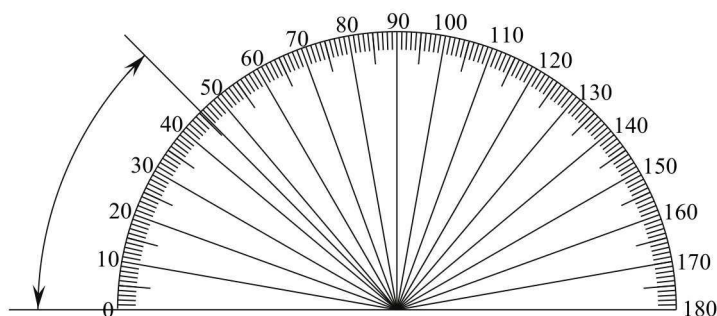


图1-7 用量角器测量一个角

在图 1-7 中，我们用量角器量一个 40 多度角，你能根据这个量出来的结果准确判断这个角是  $45.1^\circ$ ，是  $45.2^\circ$ ，还是  $45.3^\circ$  吗？不能！所以我们对角度的测量其实不是十分精确的。现在，我们要么就做一个精度更高的量角器，要么就换一个原理进行测量。在对两个方面都进行过思考后，我们非常幸运地发现了一个很简单又很有效的新原理。我们或许可以将这个不平行度进行放大，从而连角度都不再需要测量了——用镜子！

如果我们在晴朗时在茂密的森林里走动，我们时常会看到茂密的树叶将大部分阳光遮



住，而只允许几小束阳光洒到地面。我们拿一面镜子放在一小束光下，我们会看到镜子将这一小束光反射到其他树木表面形成光斑。而如果我们只是轻轻地转动一下这面镜子，我们会发现这个光斑会发生十分明显的移动，并且光斑离镜子越远，这样的移动就越明显。我们完全可以用光斑的明显移动来体现镜子的微小角度变化，从而放大对于角度的测量啊！不过在运用这个放大效应之前，我们要了解这个效应的规律，即我们要找到太阳、镜子、光斑之间的位置关系。

如图 1-8 所示，我们可以取一面十分小，小到可以被近似看成一个点的镜子，然后将这面镜子放在一束太阳光下，它会将一小部分太阳光反射到一棵树的树干上形成光斑。我们现在将太阳和镜子以直线联结，再将镜子和树干上的光斑也以直线联结，然后寻找两条连线的关系。我们会发现这两条直线是处在一个平面内的，且当我们分别测量两条直线与镜子法线<sup>1</sup>的夹角  $\alpha$  和  $\beta$  时，我们会发现  $\alpha = \beta$ 。

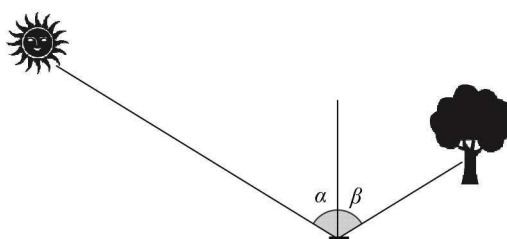


图1-8 反射规律的探究

如果我们的眼睛处于光斑的位置朝着镜子看，我们就可以看到太阳。而只要眼睛的位置有一点点偏离光斑，我们就看不到太阳了。

运用上面这个原理，我们就可以开始设计实验了。

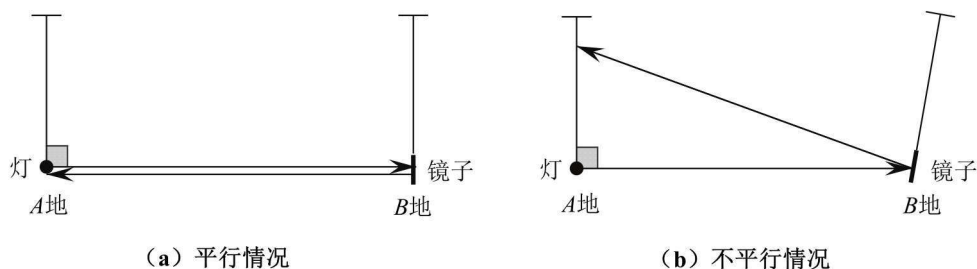


图1-9 用镜子探究重力方向是否平行

如图 1-9 所示，我们在  $A$  地悬挂起一盏灯，并在  $B$  地悬挂起一面相当小的镜子（这是为了之后我们只能在一个特定点看到反射的灯光）。现在，为了满足图中标出的直角关系，我们用之前说过的视线原理，在灯处用一根铁丝垂直于悬线指向  $B$  处的镜子，从而确定出镜子所该处的高度。实验装置摆放好后，我们让眼睛贴着  $A$  处的悬线上下寻找  $B$  处镜子反射的灯的像：如果我们正好在灯的位置处看到了对面镜子中有灯的像，则说明镜子悬挂的方向和灯悬挂的方向平行；如果我们在高于或低于灯的位置看到镜子中灯的像，则说明镜子悬挂的方向和灯悬挂的方向不平行，从而证明重力方向不平行。结合之前的上凸地形图像，我们对实验结果的预测是：我们将在高于灯的地方看到镜中灯的像，并且  $A$ 、 $B$  两地离得越远，看到的地点越高。

<sup>1</sup> 这里的法线指的是垂直于镜子表面的直线。之所以考虑光线和法线的夹角而不是和镜子表面的夹角，是因为法线是确定的，而镜子表面有无数条直线，而且不同的直线和光线的夹角不一定相同。