
电子图书
信息技术的结晶
人类文明的载体
网络的基本资源

内容提要

这本书的性质跟《趣味物理学》相同，著者从日常生活里、技术方面、自然界里、科学幻想小说里收集了许多和物理学有关的问题，作了详细的分析和讨论，目的是要使读者能够灵活地运用学到的物理学知识。内容牵涉到物理学的各方面，包括力学基本定律、力和功、圆周运动、万有引力、液体和气体的性质，以及热、磁、电、光、声各种现象。

原书第十三版著者序言摘要

这是一本独立的书，并不是直接继续《趣味物理学》前编写下来的。前编的成功，鼓励著者整理剩下的资料，写成了这本续编，或者更确切些说，写成了另一本同样谈到物理学的书。

著者在这本书里也同前一本一样，与其说是要告诉读者一些新的知识，不如说是要使读者能够灵活地运用一些已经知道的简单的物理学知识。这本书的目的是要启发读者的科学想象力，使他们养成用物理学的精神来思考，并且善于多方面地应用自己知识的习惯。因此，在《趣味物理学》里，我们把有效实验的叙述放在第二位；而把物理学上的一些难题、有趣的题目、值得研究的怪现象、复杂的问题以及出人意料的物理现象等等，放在第一位。书里的这些材料，都是从日常生活、技术范围、自然界、科学幻想小说里收集来的。

一般地说，这本书在取材方面，同《趣味物理学》前编比较，是拿比较有基础的读者做对象的，不过在这方面，两本书的区别也不大，读者可以随便先读哪一本。

雅·别莱利曼

目　次

第一章力学的基本定律……1
最便宜的旅行法(1)“地球，停下来！”(3)从飞机上送信(6)投弹(8)不要停车的铁道(8)活动人行道(11)一条难懂的定律(12)大力士斯维雅托哥尔怎样死的？(14)没有支持的东西能够运动吗？(15)火箭为什么会飞？(16)乌贼是怎样活动的？(19)乘火箭到星球上去(20)
第二章力·功·摩擦……23
关于天鹅、龙虾和梭鱼的问题(23)和克雷洛夫的看法相反(25)蛋壳容易破碎吗？(28)帆船逆风前进(30)阿基米德能举起地球吗？(32)儒勒·凡尔纳的大力士和欧拉的公式(34)结为什么能打得牢？(37)假如没有了摩擦(38)“切留斯金”号失事的物理原因(40)自己会平衡的木棒(43)
第三章圆周运动……46
陀螺旋转的时候为什么不会倒？(46)魔术(48)哥伦布的问题的新解决(49)重量“消失”了(51)你也可以做伽利略(53)我们两人之间的争论(55)争论结束了(57)在“魔”球里(57)液体做的望远镜(62)“魔环”(63)杂技场里的数学(64)重量的短少(67)
第四章万有引力……69
引力大不大？(69)从地球到太阳的一条钢绳(72)能不能躲开万有引力？(73)威尔斯小说里的主角是怎样飞上月球的？(75)月球上的半小时(76)在月球上打靶(78)无底洞(80)童话里的道路(82)怎样挖掘隧道？(85)
第五章乘着炮弹旅行……87
牛顿山(87)幻想的大炮(89)沉重的帽子(90)怎样减轻震动？(91)你想自己来算一算吗？(93)
第六章液体和气体的性质……95
不会淹死人的海(95)破冰船是怎样工作的？(98)船沉下去沉到哪儿？(100)怎样实现儒勒·凡尔纳和威尔斯的幻想？(103)“萨特阔”号是怎样打捞起来的？(106)水力“永动机”(108)好象是一个简单的问题(111)关于水槽的问题(112)奇异的容器(114)空气的压力(116)新式的希罗喷泉(119)戏弄人的容器(122)水在底朝天的玻璃杯里有多重？(123)轮船为什么会互相吸引？(124)柏努利原理和它的效果(128)鱼鳔是做什么用的？(131)波浪和旋风(133)在地心里旅行(138)幻想和数学(140)在深矿井里(143)乘平流层气球上升(145)
第七章热的现象……148
扇子(148)有风的时候为什么更冷？(149)沙漠的热风(150)面纱能不能保温？(151)冷水瓶(151)不用冰的“冰箱”(153)我们受得住多高的热？(153)是温度计还是气压计？(155)煤油灯上的玻璃罩是做什么用的？(156)为什么火焰自己不会熄灭？(157)儒勒·凡尔纳小说里漏写的一段(158)在没有重量的厨房里做早餐(159)为什么水会浇灭火？(164)怎样用火来熄灭火？(164)能不能用沸水把水烧开？(167)能不能用雪来烧沸水？(169)“气压计汤”(170)沸水永远是烫的吗？(173)烫手的冰(175)用煤来取冷(176)“饮水小鸭”(177)
第八章磁和电……180

“慈石”(180)关于指南针的问题(181)磁力线(182)怎样使钢磁化？(184)庞大的电磁铁(185)磁力魔术(187)电磁铁在农业上的用途(189)磁力飞机(189)同“穆罕默德的棺材”一样(191)电磁运输器(193)火星人和地球上的人交战(196)表和磁(197)磁力“永动机”(199)博物馆里的问题(200)电线上的飞鸟(201)在闪电光下(202)闪电值多少钱？(203)屋子里的雷雨(205)
第九章光的反射和折射·视觉……207
五像照片(207)日光发动机和日光加热器(208)隐身帽(210)隐身人(212)隐身人的威力(215)透明的标本(216)隐身人能看见别人吗？(218)保护色(219)自卫色(221)人的眼睛在水底下(222)潜水员是怎样看东西的？(224)透镜在水底下(224)没有经验的游泳者(225)看不见的别针(228)从水底下看世界(230)深水里的颜色(236)我们眼睛里的盲点(237)月亮在我们眼里有多大？(240)天体的视大小(243)天蛾(247)为什么显微镜能够放大？(250)视觉上的错觉(254)服装和错觉(255)哪个更大？(255)想象的力量(256)再谈视错觉(258)这是什么？(261)奇怪的车轮(262)技术上的“时间显微镜”(265)尼普科夫圆盘(268)兔子为什么斜着眼看东西？(269)为什么在黑暗中所有的猫都是灰色的？(271)
第十章声音·波动……273
声波和无线电波(273)声音和枪弹(273)假爆裂(274)一件幸运的事(276)最慢的谈话(277)声云和空气回声(278)听不见的声音(279)超声波在技术上的应用(281)小人国居民的声音和格列佛的声音(283)什么人每天可以收到两天的日报？(284)火车上的汽笛声问题(285)多普勒现象(287)一笔罚金的故事(288)用声音的速度走路(290)

第一章力学的基本定律

最便宜的旅行法

十七世纪，法国有一位作家西拉诺·德·别尔热拉克，写了一本讽刺小说，名叫《月国史话》（1652 年），里面有一处谈到一件好象他本人曾经亲身经历过的奇事。有一次他做物理实验，竟莫名其妙地和他的玻璃瓶一起升到了空中。过了几小时，他才得重新降落到地面上。这时候可真叫他惊奇，他发觉自己已经不在本国法兰西，甚至也不在欧洲，却在北美洲的加拿大了！但是，这位法国作家对于自己这次出乎意外的横跨大西洋的飞行，却认为是完全自然的。他解释的理由是：在一个不由自主的旅行家离开地球表面的时候，我们这行星还是和从前一样在从西向东转；因此，他降落的时候，在自己的脚下已经不是法兰西，而是美洲大陆了。

看来，这是多么便宜而且简单的一种旅行方法啊！只要升到地球上空，哪怕只停留几分种，就可以降落到西方很远的地方。用不着越洋过海、爬山渡河去做疲劳的旅行，只要悬在地球上空静静地等着，到时候，地球自己就会把目的地送到旅行家的脚下来。

可惜这种奇异的方法，不过是一个幻想。首先，我们上升到空中以

后，事实上并没有和地球脱离关系：我们仍然和它的大气外壳保持着联系，我们只是悬在那随着地球的自转而运动的地球大气里。空气，尤其是比较密实的下层空气，是带着在它里面的一切，象云、飞机、各种飞鸟和昆虫等等，跟着地球一起转的。假使空气不跟着地球转的话，那末我们站在地球上就会经常觉得有大风了，并且这种风非常强烈，就是最猛烈的飓风也比它柔和①。要知道，我们站着不动，让空气在我们身旁流过，或者反过来，空气不动，我们在空气里前进，是完全一样的；在这两种情况下，我们同样会感觉到有很大的风。摩托车运动员用每小时100公里的速度开着车子前进，即使在完全没有风的天气，他也要觉得有很大的逆风。

这是第一。第二，就算我们能够升到大气的最高层，或者就算地球外面没有这层空气外壳，这时候，这位法兰西讽刺小说家幻想出来的便宜旅行法，还是不切实用的。事实上，我们离开那旋转着的地球的表面以后，由于惯性的关系，还是依照原来的速度继续运动着；也就是说，我们还是用那在我们下边运动着的地球的速度继续运动着。所以在我们重新降落的时候，我们还是降落在原先出发的地方，就同我们在跑得飞快的火车里面向上跳，仍旧落在原处一样。不错，惯性会使我们沿着切线做直线运动，而我们脚下的地球却做着弧线运动；可是在极短的时间里，这是没有什么关系的。

“地球，停下来！”

英国作家威尔斯有过一篇幻想小说，谈到某一位办事员怎样创造奇迹。这个不大聪明的年轻人生来有一种奇特的本领，只要说出他想要什么，这种东西就会立刻a出现。可是这种奇特的本领除了给他本人和别人带来不愉快以外，却什么好处也没有。读一下这个故事的结尾，对我们是有教育意义的。

在一次很长的夜宴完毕以后，这个奇异的办事员生怕到家的时候天已经亮了，就想使用自己的天赋才能，把黑夜延长一下。怎么办呢？应该命令所有的天体停止运动。这个奇人没有立刻决定做这件不太平凡的事情，但是他的朋友却怂恿他叫月亮停止运动。这时候，他就看着月亮，沉思地说：

“叫月亮停住，我觉得它离我们太远了，……你以为怎样？”

美迪格①却竭力劝他，“可是为什么不试一试呢？它当然不会停住，你只要叫地球停止转动就得了。我想，这大概对谁也不会有什么坏处吧！”

“唔，”福铁林②说，“好，就让我来试一试。”

于是他就做出发命令的姿势，伸出双手严肃地喊道：

“地球，停下来！不准再转！”

这句话还没有说完，他跟朋友们却已经用一分钟几十英里的速度飞入空中去了。

虽是这样，他还能继续思索。幸亏不到一秒钟，他就想出并且说出了一个新的愿望，那是关于他自己的：

“无论怎么样，得让我活下去，别遭殃才好！”

需要全本请访问 www.ertongbook.com

不能不说他这个愿望提出得正是时候。几秒钟以后，他发现自己已经落在一处好象刚爆炸过的地面上，在他的周围，石块、倒坍的建筑物的碎片、各种金属制品接连不断地飞过去，幸亏都没有撞到他身上；飞过去的一条遭难的牛，落在地面上给撞得粉身碎骨。风用惊人的威力呼啸着；甚至使他不能抬起头来环顾周围的一切。

他用断续的声音高叫着：“真是莫名其妙，出了什么事啊？怎么会发起狂风来了呢？总该不是因为我做了什么事惹起来的吧。”

他在狂风里透过飘动着的衣襟的缝隙尽力向四周望了望以后，继续说道：

“天上似乎一切都还有秩序。月亮也在原处。可是所有别的呢……城市哪里去了？房屋和街道哪里去了？这风是从哪儿来的？我并没有呼风啊。”

福铁林试着要站起来，然而已完全不可能了，因此他就双手抓住石块和土堆向前爬。可是已经没有地方可去了，因为他从被风吹得蒙在头上的衣襟缝里尽力望出去，只见周围已经是一片废墟。

“宇宙间一定有什么东西遭到严重破坏了，”他想，“可是究竟是什么呢，却一点也不知道。”

事实上是什么都毁了。房屋没有了，树木没有了，任何生物没有了——什么都不见了。只有乱七八糟的废墟和各种各样的碎片四散在他附近，在尘埃蔽天的狂风里勉强能看清它们的轮廓。

这个祸首当然一点也不明白这是怎么回事。可是这件事情的解释却非常简单。叫地球一下子停止转动，他没有想到还有惯性作用，惯性作用在圆周运动猛一停止的时侯，不可避免地要把地面上的一切抛出去。这就是为什么房屋、人、树木、牲畜——一切跟地球本身没有固定联系的东西，都要沿着地面的一条切线，用枪弹般的速度飞出去。后来一切又都落到地面上，就被撞得粉碎了。

可是福铁林也知道他造成的奇迹并不特别成功。因此，他对于奇迹发生了很深的厌恶，打算下决心不再创造什么奇迹了。可是，首先得把已经造成的灾害挽救一下。这场灾害也真不小。狂风刮得很凶，尘土象云一样遮蔽了月亮，远远还听见有洪水逼来的啸声；他在闪电的光辉下，还看到了一堵水墙，正在用惊人的速度向他躺着的地方冲来。

这时候他才下了决心，对着水高声喊叫：

“站住！一步也不许再前进！”然后又向雷、电和风，发出了同样的命令。

一切都平静了。

他于是蹲下来想。

“最好再也别闹这种乱子了，”他想过以后，说道：“第一，我就要说的几句话都应验了以后，让我失掉创造奇迹的能力吧，从今以后我要做个普通人了。奇迹是不需要的。这玩意儿太危险了。第二，让城市、人们、房屋和我自己，一切都恢复原来的样子。”

从飞机上送信

设想你是在一架很快地在空中飞着的飞机里。下面是熟地方。现在

你就要飞过你朋友的住宅了。你突然想起，“最好能问候他一下。”于是你很快在便条纸上写了几个字，把纸缚在一块石头上，等飞机刚飞到这所住宅上空的时候，让石头落下去。

当然，你满怀信心地认为这块石头会落在你那朋友的院子里。可是，虽然院子和住宅正在你下面，石头却并不往那里落！

如果留心看着这块石头从飞机上往下落，你就会看到一种奇怪的现象：石头在往下落，可是同时却仍旧在飞机下面，它好象顺着缚在飞机上的一条看不见的线在向下滑一样。这样，等石头到达地面的时候，它要落在离你瞄准的地方很远的前方了。

这里出现的还是那个妨碍着我们使用别尔热拉克建议的吸引人的旅行方法的惯性定律。当石头还在飞机里的时候，它是同飞机一起前进的。你让它落下去，可是在它离开飞机往下落的时候，并没有失掉原来的速度，因此，在它落下的同时，它还要向原来的方向继续前进。两种运动，一种是竖直的，一种是水平的，合了起来，——结果，这块石头就始终留在飞机下面，沿着一条曲线往下飞（当然这只是在飞机本身并不改变飞行方向和速度的情况下）。这块石头的飞行，实际上就象按水平方向抛出去的物体，例如从一枝水平的枪射出去的枪弹，它走的路线总是一条弧线，最后到达地面。

不过需要指出，如果没有空气的阻力，上面所说的一切，当然是完全正确的。但是事实上，空气的阻力阻碍着石头的竖直运动和水平运动。因此，石头不会总是正在飞机下面，而要稍微落在它后面一些。

如果飞机飞得很高很快，石头偏离竖直线会很显著。在没有风的天气，飞机在 1000 米的高空用每小时 100 公里的速度飞行，从飞机上落下来的石头，一定会落在竖直落下地点的前面大约 400 米的地方（图 2）。

如果不把空气的阻力计算在内，这个计算并不复杂。由匀加速运动的公式

$S=\frac{1}{2}gt^2$，得$\tau=\sqrt{\frac{2S}{g}}$。可知石头从1000米的高处落地的时间，应当是$\sqrt{\frac{2\times1000}{g}}$也就是14秒。在这个时间里，它用100公里/小时也就是$\frac{100,000}{3600}$米/秒的速在水平方向的移动是

$$\frac{100,000}{3600}\times14=390\text{米}$$

投弹

从上面说的看来，空军里的投弹手要把炸弹投在指定的地方，真是多么困难：他得考虑飞机的速度，考虑炸弹在空气里落下的条件，除此以外，还要考虑到风的速度。图 3 上画的是飞机投下的炸弹在各种条件下所走的不同路径。如果没有风，投下的炸弹就沿曲线 AF 飞行，理由上面已经讲过了。顺风的时候，炸弹要被吹向前面，沿曲线 AG 走。在不大的逆风里，如果上下层大气的风向是一样的，炸弹就要沿曲线 AD 落下；要是象平常那样，下层的风向同上层的相反（上层是逆风，下层是顺风），

那末，炸弹落下的曲线就要变成 AE 了。

不要停车的铁道

如果你站在火车站的不动的月台上，有一列快车打月台旁边开过，这时候你要跳上车去，当然是不很容易的。可是请你想象一下：如果你脚下的月台也在移动，并且移动的速度和方向同火车一样，这时候你要上车还有困难吗？

一点困难也没有了。这时候你走上火车，就象走上一辆停着的火车一样平稳。只要你和火车是在同一个方向用同样的速度前进，那末对你来说，火车就等于是完全不动的。不错，车轮是在转，但是你会觉得它们是在老地方转。严格说来，我们通常看做不动的东西（例如停在火车站上的火车），都和我们一起绕着地球的轴同时又绕着太阳在转。可是在实际上，我们一点儿也没有理会到这些运动，并且这些运动对我们也一点儿没有妨碍。

所以，我们完全可能建造出这样的火车站，使火车经过它的时候不停下来，仍旧照原来的速度开，而旅客们还是可以上车下车。

在展览会里往往采用这类设备，好让参观的人能够很快很方便地欣赏陈列在广大会场里的陈列品。会场两头的广场，用一条象无限轨道那样的铁道连在一起；参观的人可以在火车很快地开过的时候，随时随地上车下车。

这种有趣的构造见附图。在图 4 上，A 和 B 是会场两头的车站。在每个车站上，中间都有一块圆的不动的场子，场子的外圈围着一个大转盘。转盘外围有一圈链索，一节节的车厢可以挂在这链索上。现在让我们看转盘转动时候的情况。车厢绕着转盘开动的速度，同转盘外缘的速度一样；因此，人们可以毫无危险地从转盘走上或离开车厢。下车以后，参观的人就可以向转盘的中心走去，一直走到那块不动的场子上。从转盘的内缘跨上那块不动的地方已经没有困难了：因为在这里，圆的半径已经很小，所以它的圆周速度也就极小①。到达里面那块不动的场子以后，参观的人就可以过桥走出车站去。

火车不常停，可以节省许多时间和能量。举例来说，城市里的电车，大部分时间和差不多三分之二的能量是消耗在电车离站时候的逐渐加快的运动，和停车前的逐渐减慢的运动上的②。

火车站上即使不用特别的活动月台，也可以使旅客在火车开着的时候上车和下车。让我们来设想，有一列快车打一个普通的不动的车站上开过；我们希望它不停下来就在这里让旅客搭上车。可以让旅客先跳上停在并行轨道上的另一列火车里，开动这列火车，让它前进，渐渐把速度提高到跟快车一样。在两列火车并排前进的时候，就这两列车相互之间的关系说来，它们都好象停着不动。这时候，只要搭上跳板，把两列火车的车厢接起来，旅客们就可以从辅助车厢安稳地走上快车。这样一来，列车到站就不用停车了。

活动人行道

还有一种设备，也是根据这种相对运动的原理建造的，就是所谓“ 活动人行道 ”；不过这种设备直到目前为止，也还只有在展览会里可以看到。

这种设备的构造如图 6。你看，这里有五条环形的人行道，一条挨着一条套在一起；它们各有单独的机械来开动，速度各不相同。最外圈的那一条走得相当慢，速度只有每小时 5 公里，等于平常步行的速度，要走上这样慢慢爬行的人行道，显然并不困难。在这条里侧，同它并行的第二条人行道，速度是每小时 10 公里。如果从不动的街道直接跳上第二条人行道，当然是危险的，可是从第一条跨到这一条就不算什么了。事实上，对速度每小时 5 公里的第一条人行道来说，速度每小时 10 公里的第二条人行道也不过是在做每小时 5 公里的运动；这就是说，从第一条跨到第二条，是和从地面跨到第一条一样容易的。第三条已经是用每小时 15 公里的速度前进了，可是从第二条跨上去，当然也不困难。从第三条跨到用每小时 20 公里的速度前进的第四条，以及最后从第四条跨到用每小时 25 公里的速度奔驰的第五条，也都一样容易。这第五条人行道就可以把旅客送到要去的地方；到了目的地，旅客又可以一条条地往外跨，他就可以走到不动的地面上。

一条难懂的定律

力学的三条基本定律里，大概要算第三条所谓作用和反作用定律最使人疑惑不解了。大家都知道这条定律，甚至在某种情况下也会正确地应用它，可是很少有人能够完全明了它的意义。读者当中也许有人是一下子就懂得它的，——可是我得承认，我从初次和它相识起，过了十年，才完全理解它。

我曾经和许多人讨论过这条定律，也曾经不止一次地看出，人们对这条定律的正确性的承认，都是有保留的。他们认为，这条定律对静止的物体说来，毫无疑问是正确的，但是不懂得怎样把它应用到运动物体的相互作用上……这条定律说，作用永远等于方向相反的反作用，这就是说，如果马拉车子，那末车子也用同样大的力量往后拉马。可是这时候车子就应该停在原来地方不动才对，为什么它还是向前走呢？这两个力量如果是相等的，为什么它们不互相抵消呢？

一般人对于这条定律的怀疑就是这样。那末，这条定律是不可靠的吗？不，定律毫无疑问是可靠的；不过我们没有正确地理解它。两个力没有互相抵消掉，只是因为它们是加在不同物体上的缘故：一个力加在车上，一个力加在马上。两个力是一样大，没有错，——可是，难道说一样大的力永远会产生一样大的作用吗？难道说一样大的力能够使随便什么物体得到一样大的加速度吗？难道说，力对物体的作用是和物体本身，和物体的“ 抵抗力 ”的大小没有关系的吗？

如果想到了这些，那末，车子虽然在用同样大小的力量向后拉马，而马还能拉着车走的原因就很容易明白了。作用在车子上的力和作用在马身上的力在每一瞬间都是相等的；但是，车有轮子，可以自由移动位置，而马却坚定地立足在地面上，因此，车子只好跟着马走。可以再想一想，如果车对马的动力不起反作用，那末，……不用马也就行了，用

一个极小的力量也就能拉着车走了。可是事实上，要克服车的反作用，还是非马不可。

如果把这条定律的通常所用的简短形式“作用等于反作用”改成譬如说“作用力等于反作用力”，那末也许能使大家更容易理解，也少产生些疑问。因为这里相等的只是力。至于作用（如果象平常那样，把“力的作用”理解成物体的位置移动），因为受力的物体不同，一般是不会相等的。

当北极的冰紧挤住“切留斯金”号船身的时候，它的舷也同样用相等的力压在冰上。至于发生惨剧，那是因为强大的冰块抵住了船壳的压力，没有被压碎；可是船身呢，虽然是钢做的，却不是实心的，所以经受不住这种压力，到底被冰压坏了。

物体落下的时候，当然也服从作用等于反作用的定律，虽然这两方面的力不是一下子就看得出来的。苹果落到地上，是因为地球在吸引它；可是苹果也在用完全相等的力吸引地球。严格地说，苹果和地球是在彼此相向地落下，不过落下的速度，在苹果方面和在地球方面是大不相同的。两个同样大小的相互吸引力，使苹果得到了每秒每秒 10 米的加速度，而地球呢——它的质量比苹果大几倍，它得到的加速度也只有苹果得到的几分之一。地球的质量比苹果的大无数倍，因此，地球向苹果的移动便小到不能再小，实际上只能算做零。所以我们说苹果落到地上，而不说“苹果和地球彼此相向地落下”①，就是这个道理。

大力士斯维雅托哥尔怎样死的？

你知道一个大力士斯维雅托哥尔想举起地球来的民歌吗？阿基米德，如果传说可靠的话，也曾经准备做这件事情，要求只要能替他的杠杆找到一个支点。而斯维雅托哥尔呢，他有力气，却不用杠杆。他只想找一个可以抓住的东西，使他那有力的手有地方用力。“只要有地方用力，整个地球我都能举起来。”却也凑巧，这个大力士在地上找到了一个“小褡连”，它搭得很牢；“不会松，不会转，又不会给拔出来”。

斯维雅托哥尔跳下马，
双手抓住小褡连，
把小褡连提得高过了膝盖：
他就齐膝盖陷到地里面。
他苍白的脸上没有泪，却流着血。
斯维雅托哥尔陷在那里，再也起不来。
他的一生就此完结。

如果斯维雅托哥尔懂得作用和反作用定律的话，他也许就会想到，既然他的两脚支撑在地面上，那末，他用来提地球的极大的作用力就会引起同样大小的反作用力，这个反作用力就可以把他自己拉进地里去。

从这个民歌可以看出，在牛顿第一次刊行他的不朽著作《自然哲学的数学基础》（自然哲学就是物理学）前好几千年，人们已经不自觉地在应用反作用定律了。

没有支持的东西能够运动吗？

走路的时候，我们是在用脚推开地板或地面；如果地板非常滑，或者是在冰上，我们的脚就没法推，也就不能行走了。机车行动的时候，是用它的“主动”轮在推着铁轨；在结冰的地方，为了使火车能够开动，有时候甚至使用特别的装置，在机车主动轮前面的铁轨上撒沙。在刚开始有铁道的时候，车轮和铁轨上都是有齿的，这正是因为人们认为车轮必须推开铁轨，火车才能前进。轮船是用螺旋推进器的叶子来推开水的。飞机是用螺旋桨来推开空气的。总之，物体在随便哪种介质里运动，都要靠这种介质来支持才行。要是物体本身外围没有什么支持的东西，能不能运动呢？

看来，要做这种运动，简直就象抓住自己头发想把自己提升上去一样，是不可能的运动。的确，物体不能只用内部力量使自己整个向前运动，但是它可以使自己里面的某一部分物质向一方面前进，而另一部分同时向相反的方面前进。你看见过多少次飞行的火箭①，可是你想到过它为什么会飞吗？它恰恰就是一个明显的例子，可以用来说明我们现在提到的这种运动。

火箭为什么会飞？

连研究过物理学的人，有时也会对火箭的飞行做出完全错误的解释。他们说，火箭所以会飞，是因为利用在它里面燃烧的火药所生的气体来推开空气。从前的人对火箭的想法是这样的（火箭早就发明了），现在还有许多人也是这样想。可是，如果叫火箭在没有空气的空间里飞，它不但不比在空气里飞得坏，反而会飞得更好。可见火箭运动的真正原因，完全是另一回事。

其实这里发生的情形，同开炮的时候炮弹向前飞去而炮身后坐的情形，是完全一样的。你可以想一下手枪和各种火器在发射时候的“后坐力”！假使把大炮悬在空中不给它一个支持点，炮身在射击以后就会向后运动，它的速度同炮弹向前运动的速度的比，等于炮弹的重量同大炮的重量的比。因此，儒勒·凡尔纳的幻想小说《底朝天》里的主人公，甚至会想到利用大炮的强大后坐力来做一件大事业——“把地轴扶正”。

火箭其实就是大炮，不过它射出的不是炮弹而是火药的气体。中国的轮转焰火能旋转着上升，也是这个道理。装在轮子上的一根火药管，当里面的火药着火的时候，就发生气体向一方面冲出，火药管和跟它连在一起的轮子，就向相反的方向运动。从本质上来看，这也只是一种大家知道的物理仪器“西格纳尔”轮的变相罢了。

有一件有趣的事。在轮船发明以前，曾经有过一种机器船的设计，这也是根据同一原理想出来的。船尾装有强大的压水泵，能够把船里储存的水压向船外，因此这条小船就向前驶去，好象中学物理实验室里用来证明上面说的这条原理的浮在水面上的洋铁罐一样。这个设计（列姆齐提出来的）没有拿来实用过，可是它对轮船的发明却起了很大的作用，因为它向富尔敦暗示了发明轮船的可能性。

我们也知道，最早的蒸汽机是纪元前二世纪的时候希罗制造的，他根据的就是这一个原理：汽锅β（图 7）里的蒸汽通过管ε ε η进到一个

需要全本请访问 www.ertongbook.com

安在水平轴上的球里；然后从两个曲柄管冲出，就把管子向相反的方向推，使球开始转动。可惜，希罗式的蒸汽涡轮机在古代只能成一种有趣的玩具，因为奴隶劳动的代价低廉极了，谁也不想使用机器。可是这个原理本身却没有被技术家抛弃。今天我们正在用它来建造反动式涡轮机。

还有一种也是根据这一个原理设计的最早的蒸汽汽车，是提出作用和反作用定律的牛顿设计的：从放在车轮上的汽锅里发出的蒸汽向一面冲出去，于是汽锅就被反作用力推着，使车轮慢慢前进（图 8）。

喷气式汽车就是牛顿的汽车的现代形式。

如果有兴趣，可以照图 9 做一只纸制的小船，这只小船也跟牛顿的汽车极其相象。用一个空的蛋壳做汽锅，汽锅下面放一个顶针①，顶针里放一块浸了酒精的棉花，把棉花点着以后，蛋壳里的水便慢慢化成蒸汽；这时候，一股蒸汽就要向一面冲出，使整个小船向相反方向前进。不过，要做这种有教育意义的玩具，得有相当精巧的手艺。

乌贼是怎样活动的？

你听见说，有不少生物都用“抓住头发把自已提起来”的方法在水里行动，一定会很惊奇。

乌贼和大多数头足类软体动物都是用这种方法在水里活动的：经过身体侧面的孔和前面的特别漏斗，它们把水吸入鳃腔，然后经过上面提到的漏斗用力把水压出体外。这样，按照反作用定律，它们就得到了相反的推力，使它们能从后面推动身体很快向前游去。乌贼能够使它们的漏斗管指向旁边或后方，然后用力从里面压出水来，使自己向随便什么方向前进。

水母的行动也是这样，它们收缩肌肉，使从自己那钟形的身体下面排出水来，得到一种反方向的推力。蜻蜓的幼虫水蚤和别种水中动物在行动的时候，也都用同这相似的方法。知道了这些以后，难道我们还会说这样运动不可能吗？

乘火箭到星球上去

有什么比离开地球到无边无际的宇宙空间里去旅行——从地球飞向月球，从一个行星飞到另一个行星——更使人兴奋的吗？用这种题材写的幻想小说，已经不知道有多少种了！哪一种没有引起过我们漫游宇宙空间的幻想呢？伏尔泰在《小麦加》里，儒勒·凡尔纳在《月球旅行记》和《赫克特尔·雪尔瓦达克》里，威尔斯在《月球上的第一批人》里，此外还有许多别的作家，都曾经幻想过极有趣的宇宙旅行。

难道这种很久以来就幻想着的事情，真的就没有实现的可能吗？难道小说里描写得这样引人入胜、似乎可信的一切聪明的设计，事实上都是不能实现的吗？后面我们还要谈到关于星际旅行的一些理想设计。现在让我们先认识一下已故苏联著名科学家齐奥尔科夫斯基提出的宇宙飞船的实际设计。

能不能乘着飞机上月球去呢？当然不能。飞机和飞艇所以能够运

动，只是因为有空气支持着它们，把它们推开去。但是，地球限月亮之间却是没有空气的。在宇宙空间里，没有任何介质可以支持星际飞船。所以必须设计出一种不用任何支持物就能运动和驾驶的飞行设备。

我们已经知道了类似炮弹的玩具——火箭。那末为什么不制造一个巨大的火箭，使里面有特别的、装得下人、食物、空气筒和各种必需品的房间呢？设想人们已经能够在火箭里带上大量燃料，并且能够控制爆炸气体使向随便哪一个方向冲出。那我们就有了一种真正可以驾驶的宇宙飞船，坐在里面可以驶向宇宙空间的大洋，飞上月球和各个行星里去了……坐在里面的人控制气体的爆炸力，就有可能逐渐加大星际飞船的速度，使速度的增加对他们没有危害。希望在某个行星上降落的时候，他们可以转过飞船的头，逐渐减小速度，就会慢慢降落。最后，他们还能用同样的方法飞回地球。

我们可以回想一下，在不久以前，航空家才做了他们那胆怯的初步试飞；而现在，飞机已经能够飞入高空，飞越高山、沙漠、大陆和海洋。那末再过二三十年，星际航行能不能同样的蓬勃发展起来呢？那时候，人们就要挣脱曾经把他们长时期拴在地球上的那条无形的锁链，而冲入广漠无边的宇宙空间去①。

第二章力·功·摩擦

关于天鹅、龙虾和梭鱼的问题

关于“天鹅、龙虾、梭鱼跟一车货物”的寓言，是大家都知道的。可是如果有人从力学的观点来研究这个寓言，就会看出寓言作者克雷洛夫所做的结论同我们所得的完全不同。

摆在我们面前的是力学上几个互成角度的力的合成问题。按照寓言，这个力的方向是：

……天鹅在冲向云霄，

龙虾在往后退，而梭鱼在向水里拉。

这就是说（图 12），一个力量——天鹅的拉力——向上，第二个力量——梭鱼的拉力（OB）——向旁边，第三个力量——龙虾的拉力（OC）——向后面。别忘了还有第四个力量——货物的重量，它是竖直向下的。寓言说，“货车现在还在原处”，换句话说，就是加在货物上的几个力的合力等于零。

是这样吗？让我们看一看。冲向云霄的天鹅，不但不会妨碍龙虾和梭鱼的工作，甚至还帮着它们：天鹅的拉力向着重力的反对方向，所以减小了车轮跟地面和跟车轴的摩擦，也就是减轻了，甚至完全抵消了货车的重量，——要知道货车并不是很重的（寓言中有句话，“对它们说来，货车似乎是很轻的”）。为了简单起见，让我们假定货车的重量是被天鹅的拉力抵消了，那我们就会看到，剩下来的只有两个力：龙虾的拉力和梭鱼的拉力。这两个力的方向，寓言说，虾是往后退，而梭鱼是在向水里拉。不用说，水一定不在货车的前面而是在它的某一侧面。（克雷洛夫的几个劳动者当然不打算把货车拉下水去！）这就是说，龙虾和梭鱼的力是互相成角度的；既然是这样，它们的合力就决不会等于零。

让我们按照力学的法则，用 OB 和 OC 这两个力做边来画一个平行四边形。四边形的对角线 OD 就代表着合力的方向和大小。很显然，这个合力应当能够移动货车。在货车的全部或部分重量因天鹅的拉力而减小的时候，就更加容易移动。另一个问题是：货车是向哪个方向——向前、向后、还是向旁边——移动的？这就要看这几个力的相互关系和它们所成角度的大小了。

读者如果对力的合成和分解有些实际经验的话，就很容易看出：即使天鹅的力量不能抵消货车的重量，货车也不会停在原处不动。只有在一种条件下，这三个力的作用才能使货车不动。这条件就是车轮跟车轴和跟地面的摩擦力比合力大。但是这跟寓言的内容不合，因为“对它们说来，货车似乎是很轻的。”

这样看来，无论在哪一种情况下，克雷洛夫都不能肯定说“货车一点也没动”，“货车现在还在原处”。不过，这并没有减低这个著名的寓言的思想性。

和克雷洛夫的看法相反

我们刚才看到了克雷洛夫的处世箴言：“同志之间如不能意见一致，

就将一事无成”，但这在力学上并不都是适用的。几个指向不同方向的力，还是能够产生一定的效果的。

克雷洛夫曾经称赞过蚂蚁是模范工作者。但是很少有人知道，这些勤奋的工作者蚂蚁，正是按照这位寓言作者所嘲笑的方式协同工作的。它们的工作，一般说来，所以还能顺利进行，也是由于力的合成的规律。你如果在蚂蚁工作的时候，仔细地观察它们一下，很快就会相信，它们之间只是看来好象是在协作：事实上，每一只蚂蚁都在自管自工作，根本没有想到要帮助同伴。请看一位动物学家所描写的蚂蚁的工作吧：

如果有几十只蚂蚁在平坦的地面上拉一个挺大的捕获物，那末，所有的蚂蚁都在一样地用力，从外表看来，它们是协力工作着。可是当这个捕获物——譬如说是条毛虫——遇到一个障碍物（草根或小石）而不能向前拉，得绕着弯走的时候，就可以明显地看出，每一只蚂蚁都各管各而不是和同伴协同地来越过这个障碍物的（图 13 和图 14）。一只蚂蚁向右拉，另一只向左拉；一只蚂蚁向前推，另一只向后拖。它们更换着位置咬着毛虫的身体，每一只蚂蚁都照着自己的意思推或拉。有时候会有这样的情形：四只蚂蚁推着毛虫朝一个方向前进，六只蚂蚁朝另一个方向前进，这些力量合起来，结果毛虫就不顾四只蚂蚁的反作用，而朝着六只蚂蚁推的方向前进了。

让我们再用一个很好的例子来说明蚁群中的这种假合作。图 15 画着一块正方形的干酪和咬着这块干酪的 25 只蚂蚁。干酪慢慢地沿着箭头 A 所指的方向移动。我们当然可以认为，前面一排蚂蚁是在拉，后面一排是在向前推，两旁的蚂蚁在帮着前后排蚂蚁。可是实际并不是这样，这也不难证明。用小刀把后面那排蚂蚁全部拨开。这时候干酪就会向前移动得更快。原来后面十一只蚂蚁并不是在向前推而是在向后拉。每一只蚂蚁都竭力在朝后退，想把干酪拖到穴里去。可见后排的蚂蚁不但没有帮助前排，反而在全力阻碍它们，抵消它们的力量。搬运这块干酪，其实有四只蚂蚁就够了；可是由于动作不一致，25 只蚂蚁才把这块干酪搬进穴里去。

值得惊异的是，蚂蚁的这种协力工作的特征，马克·吐温早就指出过。他曾经说过一个故事，故事里讲到两只蚂蚁，有一只找到了一条蚱蜢的腿。他说：“它们各自咬住腿的一端，用全力朝相反的方向拉。两只蚂蚁都看出似乎有点不对头，却不明自到底是为了什么。于是它们就发生争吵，并且打起架来……后来它们和解了，重新开始这个毫无意义的协力工作。可是这只在打架的时候受了伤的同伴却成了一个累赘：它不肯放弃这个捕获物，吊在它上面。那只健壮的蚂蚁用尽全力才把食物连同伤伴拖进洞穴里。”……马克·吐温于是取笑地提出了一个完全正确的批评意见说：“只有在光会做不可靠结论的没有经验的博物学家眼里，蚂蚁才是好的工作者。”

蛋壳容易破碎吗？

《死魂灵》里那个深谋远虑的吉法·摩基维支曾在好几个哲学问题

上绞过脑汁，当中有这样的一个问题：“哼，如果象是生蛋的，那蛋壳应该不至于厚到没有什么炮弹打得碎吧！唉，唉，现在是到了发明一种新火器的时候了。”

果戈里的这位哲学家，如果知道普通的蛋壳虽然很薄，却也不是什么脆弱的东西，他一定会大吃一惊的。把蛋放在两手的掌心之间，用力挤压它的两端，是不是很容易把它压碎呢？在这种情况下要压碎蛋壳，非用很大的力气不可（图 16）①。

蛋壳所以特别坚固，完全因为它的形状是凸出的。各种穹窿和拱门所以都很坚固，也是由于同样的道理。

图 17 的窗顶上有一个小型石拱。重量 S（也就是窗顶上面那部分砖墙的重量）向下施着压力，压在拱门中心那块楔形石头 M 上，这里用箭头 A 表示着。但是这块石头由于是楔形的，所以不能向下移动；它只能压在相邻两块石头上。这时候力 A 可以按照平行四边形的规则分解成两个力，象箭头 C 和 B 表示的那样；这两个力被相邻两边石块的阻力平衡了，而这两块石块又被挤在旁边的石块中间。因此，从外面压在拱门上的力量就不会把拱门压坏。可是如果从里面向它用力，那就比较容易把它破坏了，因为石块的楔形虽然能够阻止它下落，却不能阻止它上升。

蛋壳也是这样的拱门，不过这个拱门是整块的，不是由一块一块的东西迭成的。蛋壳虽然很脆，但是在受到外来压力的时候，却不那么容易碎，就是这个道理。我们可以把一张相当重的桌子的四条腿，放在四个生鸡蛋上，结果蛋壳也不会破。（为了使鸡蛋站稳并且增大受压的面积，需要用石膏把鸡蛋的两头加宽。石膏是容易粘附在石灰质的蛋壳上的。）

现在你们就可以理解，为什么母鸡不必害怕自己身体的重量会压破蛋壳；同时又可以懂得为什么弱小的鸡雏想要脱离天然囚笼的时候，却只要用小嘴在里面啄几下蛋壳，就不难出来了。

侧着茶匙敲蛋壳，很容易把它敲碎，因此，我们就料想不到，蛋壳在天然条件下承受压力是多么的坚固，大自然用来保护蛋壳里发育着的小生物的盔甲，是多么的坚固。

电灯泡看来好象很脆弱，实际上却极坚固，这同蛋壳很坚固是同样的道理。然而电灯泡的坚固性还要惊人，因为我们知道有许多灯泡（真空的，不是充气的）几乎完全是空的，里面没有什么物质用来抵抗灯泡外面空气的压力。空气对电灯泡的压力并不小。直径 10 厘米的灯泡两面所受的压力，就在 75 公斤以上（一个人的重量）。实验指出：真空灯泡甚至还能经受住 2.5 倍这么大的压力。

帆船逆风前进

很难想象帆船怎样能够逆着风前进。水手的确会告诉你们，正顶着风驾驶帆船是不可能的，帆船只能在跟风的方向成锐角的时候前进。可是这个锐角很小——大约只有直角的四分之一，大约是 22°，——不管是正顶着风或者成 22° 的角度，看来是同样难以理解的。

可是实际上，这两种情形不是没有区别的。我们现在来说明帆船是怎样跟风向成小角度逆着风前进的。首先，让我们看风一般是怎样对船

帆起作用的，也就是说，当风吹在帆上的时候，它把帆往哪里推。你也许会这样想，风总是把帆推往它所吹的方向去。然而实际并不是这样。无论风向哪里吹，它总产生一个垂直帆面的力，这个力推动着船帆。且让我们假定风向就是图 18 箭头所指的方向。AB 线代表帆。因为风力是平均分布在全部帆面上的，所以我们可以用 R 来代表风的压力，它作用在帆的中心。把这力分解成两个：跟帆面垂直的力 Q 和跟帆面平行的力 P（图 18 右）。力 P 不能推动帆，因为风跟帆的摩擦太小了。剩下的力 Q 依着垂直帆面的方向推动着帆。

懂得了这点，就容易懂得为什么帆船能够在跟风向成锐角的情况下过着凤前进了。让我们用 KK 线（图 19）代表船的龙骨线。风照箭头所表示的方向成锐角吹向这条线。AB 线代表帆面，我们把帆转到这样的位置，使帆面刚好平分龙骨的方向和风的方向之间的那只角。现在看图 19 里的力的分解。风对帆的压力，我们用力 Q 来表示，这个力，我们知道应当是跟帆面垂直的。把这个力分解成两个力：使力 R 垂直龙骨线，力 S 顺着龙骨线指向前面。因为船朝力 B 的方向运动的时候，是要遇到水的强大的阻力的（帆船的龙骨在水里很深），所以力 R 几乎全部被抵消了。剩下的只是指向前面的力 S 在推动船，因而，船是跟风向成着一个角度在前进，好象在逆风里一样[①]。这种运动通常总采取“之”字形路线，象图 20 里的那样。水手们把这种行船法叫做“抢风行船”。

阿基米德能举起地球吗？

“给我一个支点，我就能举起地球”，相传这是古代发现杠杆原理的力学家阿基米德说的话。我们在波卢塔克的书里读到：“有一次，阿基米德写了一封信给叙拉古国王希伦，他同这位国王既是亲戚，又是朋友。信里说，一定大小的力可以移动任何重量。他喜欢引用有力的证明，补充说：如果还有另一个地球的话，他就能到上面去，把我们的地球移动。”

（采自 1780 年出版的一本书里的一幅木刻）

阿基米德知道，如果利用杠杆，就能用一个最小的力，把不论怎样重的东西举起来：只要把这个力放在杠杆的长臂上，而让短臂对重物起作用。因此，他又想到，如果用力压一根非常长的杠杆臂，他的手就可以举起质量等于地球的重物[①]。

然而如果这个古代伟大力学家知道地球的质量是多么大，他也许就不会这样夸口了。让我们设想阿基米德真的找到了另一个地球做支点；再设想他也做成了一根够长的杠杆。你知道他得用多少时间才能把质量等于地球的一个重物，哪怕只举起一厘米呢？至少要三十万万万年！

原来地球的质量天文学家是知道的。质量这样大的物体，如果把它拿到地球上来称的话，它的重量大约是：

6,000,000,000,000,000,000,000 吨。

如果一个人只能直接举起 60 公斤的重物，那末他要“举起地球”，

[①] 不难证明，在帆面平分龙骨的方向和风的方向之间的那只角的时候，力 S 的数值最大。

[①] “举起地球”这句话，我们指的是，在地球表面上举起一个质量等于地球的重物。

需要全本请访问 www.ertongbook.com