

Chapter



第一章

力学的基本定律

1.1 最便宜的旅行方式

17世纪法国作家西拉诺·德·贝尔热拉克在自己的讽刺小说《月球上的国家史》（1652年）中谈到一件好像是他本人亲身经历的趣事。有一次做物理实验的时候，他竟然莫名其妙地和一些玻璃瓶一起升到了高空。过了几个小时回到地上的时候，令他吃惊的是，他竟然不是落在自己的祖国法兰西，甚至也并不在欧洲，而是在北美洲的加拿大！对于这次穿越大西洋的意外之旅，这位法国作家认为是理所当然的事情。他是这样来解释的：当一个身不由己的旅行家离开地球表面的时候，地球依旧在自西向东转；所以，当他降落之后，双脚就不是落在法国而是在美洲大陆了。

看来，这是一种多么便利、多么便宜的旅行方式啊！只需要上升到空中，在空气中停留上哪怕几秒钟的时间，就可以降落到遥远的西边了。人们再也用不着穿越海洋、越过大陆来进行令人精疲力竭的旅行，只需要悬在地球上空，等待着地球将目的地带到脚下就行了。

遗憾的是，这种神奇的旅行方法只不过是种幻想。首先，即便上升到了空中，我们实际上还是没有离开地球，因为我们依旧停留在它的大气外壳中，依旧处在随其自转的大气里。空气，确切地说，地球下层的比较密实的空气是随着地球转动的，它带着它里面的一切东西，比如说云、飞机、鸟儿、昆虫等和地球一起自转。如果空气不跟着地球一起旋转的话，那我们站在地球上就会感受到极其强烈的大风，这种大风会让最猛烈的飓风^①也相形见绌。要知道，不论我们是站在原地让风从身旁吹过，还是反过来，空气不动，我们随着空气前进，这两种情况是没有区别的。即便是在没有风的天气里，摩托车运动员以每小时100千米的速度前进的话，也会感受到迎面吹来十分强烈的风。

① 飓风的速度是每秒40米，每小时144千米。在圣彼得堡的纬度上，这样的风速会让地球以每秒钟230米也就是每小时828千米的速度带着我们前行。



图1 能不能从气球上看到地球在转动？（此图没有遵照比例尺）

其次，即便我们能升到大气最高层，或者地球没有被大气环绕，我们都不能采用这位法国讽刺小说家的方式来旅行。实际上，当我们离开旋转着的地球表面时，在惯性的作用下，我们还是在随着地球以地面的速度前进。因此，当我们降落的时候，我们仍旧会落到出发的地方，这与我们在奔驰的火车上上跳而仍然落到原地是一样的。不错，我们会由于惯性而沿着切线做直线运动，但是我们脚下的地球依旧在做弧线运动；不过在极其短暂的时间里，这并不会改变事情的实质。

1.2 地球，停下来！

英国作家威尔斯写过一篇幻想小说，讲述的是一位办事员创造奇迹的故事。这位并不太聪明的年轻人有一种天生就有的奇特本领：他只要说出他的某一个愿望，这个愿望就会马上实现。但是，这项特殊的技能给他本人和其他人所带来的都只是不便。这个故事的结尾对我们有一些教育意义。

在一次很长的夜宴结束之后，这位神奇的办事员生怕自己凌晨才能回到家，于是就想使用自己的天赋来延长黑夜。怎么办呢？需要命令所有的

天体停止运动。这位办事员并没有一下子就下定决心做这件非凡的事情。当他的一位朋友建议他将月亮停下来时，他仔细地想着月亮，若有所思地说：

“让月亮停下来，我觉得月亮离我们太远了……你认为呢？”

他的朋友美迪格说：“为什么不试试呢？月亮当然是不会停下来的，你只要叫地球停止转动就是了。但愿这不会对任何人产生危害！”

“唔”，这位叫福铁林的办事员说，“好吧，我试试看。”

他做出发命令的姿势，伸出双手，严肃地喊道：

“地球，停下来！不准转动！”他的话刚一出口，他跟他的朋友就已经以每分钟几十英里的速度飞到空中去了。

尽管如此，他依旧还可以思考。不到一分钟，他想出了一个新的关于自己的愿望：“无论如何，得让我完好无损地活着。”不能不承认，这个愿望来得太及时了。

过了几秒钟，他就降落到一处好像刚刚爆炸过的地面上，周围一些石块和倒塌的建筑物碎片以及各种金属制品不断地飞过，但都没有撞到他。一头牛飞过，落在地面上摔得粉碎。风可怕地咆哮着，他甚至都没法抬头看看周围的景象。

“真是无法理解”，他继续高声叫道，“这到底怎么回事？怎么起狂风了？不会是我做了什么事情引起的吧？”

在狂风里他透过衣襟飘动的缝隙观望了一下四周，继续说道：“天上的一切似乎都正常啊。月亮还在那儿呢，可其他的呢？城市去哪里了？房子和街道呢？这是从哪里吹来的风？我并没有下命令让刮风啊。”

福铁林试着要站起来，但办不到，只好用双手抓住石块和土堆往前爬。然而已无处可去了，因为他看见周围已是一片废墟。

“肯定是宇宙中有什么东西被严重毁损了。”他想，“到底是什么呢，不知道。”

事实上，一切都毁损了。房屋、树木都见不到了，也见不到任何生物。只有乱七八糟的废墟和各种各样散落在四周的碎片，在尘埃蔽天的狂风里，勉强才能看得清。

这位肇事者显然还不知道发生了什么事情。但事情却很简单。福铁林叫地球一下子停下来的时候，并没有考虑到惯性。惯性作用在圆周运动突然停止的时候，不可避免地会把地球上的一切东西都抛出去。这就是为什么房屋、人和树木以及牲畜——一切跟地球本身没有固定联系的物体，都沿着地面以枪弹般的速度沿切线飞出去了。当所有这一切再次落回地面的时候，都已经是碎片了。

福铁林明白，他创造的奇迹并没有成功。他被深深的厌恶感包围，下定决心再也不创造奇迹了。但首先得把造成的灾害补救回来！这场灾难可真不小：狂风肆虐，尘土遮蔽了月亮，远处还传来洪水咆哮的声音。福铁林看到，闪电光照下有一堵水墙，这水墙以惊人的速度朝他躺着的地方奔涌而来。他一下子下定了决心：

“停下来，不准再往前一步！”他对水高喊。

然后他又向雷电和风下了同样的命令。

他蹲下来，陷入了沉思。

“最好不要再出现这种乱子了。”他想了想，说道：“第一，如果我即将说的话会应验的话，就让我不再拥有这种创造奇迹的能力吧！我以后要做一个普通人了，我不需要奇迹。这玩意儿太恐怖了。第二，让一切都恢复原状吧：城市、人们、房屋和我自己，都回到以前的模样吧！”

1.3 一封飞机上的来信



假设你坐在一架快速飞行的飞机上，下面是你熟悉的地方。现在飞机即将飞过你的一位朋友的住宅。你脑中闪过一个念头：“应当跟他打个招呼。”于是你快速在便条上写了几句话，并将便条系在一个重物上。等到飞机飞到朋友住宅上空，你将这一重物抛掷出去。

当然你满怀信心地认为，重物会掉落到朋友的花园里。然而，虽然花园和住宅都正好位于正下方，重物却不会掉落在你所期望的地方。

如果观察这一重物的下落，你会看到一个奇怪的现象：重物在往下落，但依旧是位于飞机下方，似乎它被一根看不见的线系在了飞机上。重

物达到地面的时候，会落在离你预定的地方很远的前方。

这里起作用的，还是那个妨碍着我们使用贝尔热拉克所建议的方法去旅行的惯性定律。当重物位于飞机内的时候，它会和飞机一起前进，而当它离开飞机往下掉的时候，它其实并没有丧失原来的速度。所以，它在下落的同时，还是要向原来的方向继续前进。这里存在着两种运动，一种是垂直的，一种是平行的。这两种运动合在一起，就使得重物始终留在飞机下方，并沿着一条曲线往下落（当然，我们说的是飞机本身的飞行方向和速度都不改变的情况）。实际上，这个重物就如同水平抛出去的物体一样，总是沿着一条弧线往下落到地面，如同从一水平的枪射出去的子弹那样。

但是我们应当注意到，上述一切在没有空气阻力存在的情况下是完全正确的。事实上，空气的阻力会阻碍重物的垂直和水平运动。因此，该重物并不会永远位于飞机的正下方，而是会稍微落在飞机之后一点点。

如果飞机飞得很高很快的话，重物偏离的垂直线就会很明显。如果没有风的话，飞机在1000米的高空以每小时100千米的速度飞行，从飞机上落下来的重物，会落在垂直落下地点前面大约400米的地方（图2）。

如果忽略空气阻力的话，计算会很简单。根据匀加速度公式 $S = \frac{1}{2}gt^2$ 可

得： $t = \sqrt{\frac{2S}{g}}$ 。

也就是说，重物从1000米高空落下的时间是 $\sqrt{\frac{2 \times 1000}{9.8}} = 14$ 秒。在这段时间内，重物的速度是每小时100千

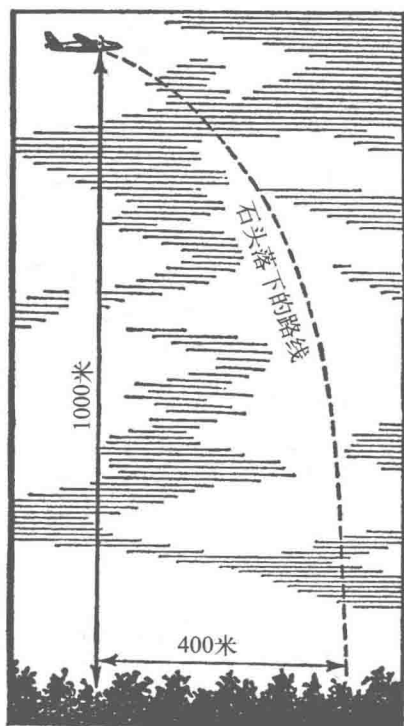


图2 从正在飞行的飞机上落下的石头，不是竖直而是沿着一条曲线落下来的。

米，它在水平方向移动的距离是 $\frac{100000}{3600} \times 14 = 390$ 米。

1.4 投弹

上述内容表明，空军投弹手要把炸弹投掷在指定的地方并不是一件简单的事情：他不仅需要考虑到飞机的速度，还需要考虑到炸弹下落时的空气条件和风速。图3显示的是，飞机投下的炸弹在不同的条件下所走的不同的轨迹。如果没有风，投掷的炸弹会沿着曲线AF前进。顺风的时候，炸弹会被往前吹，因此沿着曲线AG前进。在不大的逆风条件下，如果大气的上下层方向一致的话，炸弹会沿着曲线AD下落；如果上下层的风向相反（上层逆风，下层顺风），炸弹下落的轨迹就会是AE。

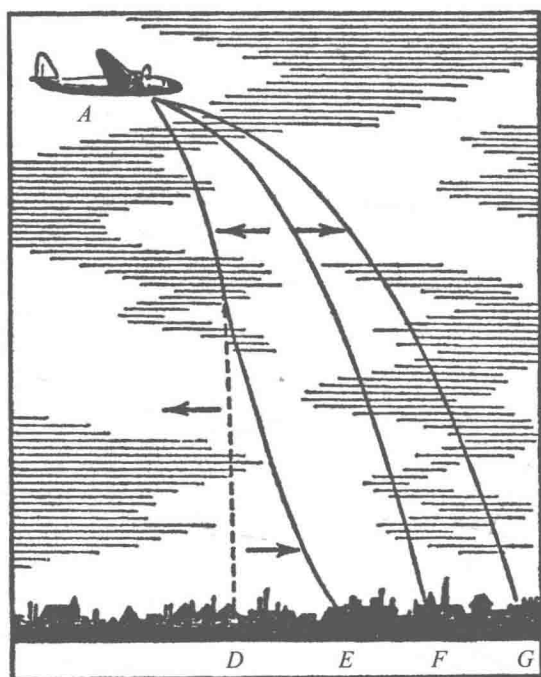


图3 从飞机上投下的炸弹所走的线路：没有风的天气时为AF；顺风的时候为AG；逆风的时候为AD；上面逆风，下面顺风的时候为AE。

1.5 不需要停车的铁路

如果你站在火车站静止的站台上，有一列快车从站台前开过，这时候要跳上车去，显然不是一件容易的事情。假设你脚下的站台和火车一样以同样的速度向同一个方向行驶，这样的话，你上车还会很困难吗？

一点也不困难：此时你会像走进一辆静止的火车那样平稳。一旦你和火车是以同样的速度向同一个方向行驶，火车对你来讲就是静止不动的。当然，火车的车轮是在转动，但是你会觉得它们是在老地方转动。严格地说，所有那些平常看起来静止不动的物体，比如说停靠在火车站的火车，实际上都在和我们一起绕着地球的轴以及太阳运动。但因为这些运动并没有对我们造成影响，所以我们不会去理会它们。

因此，我们完全可以造出这样的火车，使得它在经过站台的时候不用减速就可以将旅客运走。展览会上经常会有这样的装置，以便让参观者可以快速地欣赏陈列在会场的展品。展场的各个端点被一条如同没有尽头的铁道连接在一起，旅客可以在任何时间、任何地点上下正在全速行驶中的火车。

这种有趣的构造见附图。图4中A和B表示的是展场两头的车站。每一站中央都有一块圆形的不会移动的平台（乘客上下火车的月台），平台外围有一个大转盘。转盘外围是一圈链索，链索上挂着车厢。现在我们来观察一下，当转盘转动的时候会有什么情况发生。车厢会绕着转盘转动，其速度和转盘外围速度一样，所以旅客可以毫无危险地从转盘进入车厢或者从车厢出来。从车厢出来之后，乘客可以向转盘中心走去，直到到达那块不动的平台。从转盘的內缘到达那块不动的平台并不难，因为这里的圆的半径很小，所以圆周速度也很小^①。到达不动的平台之后，旅客只需要走过桥，就出站了。

① 很容易理解，转盘转动的时候，它的内部边缘上的各点会比外缘各点慢很多，因为在同样的时间内，內缘各点所走的圆周路线要短很多。

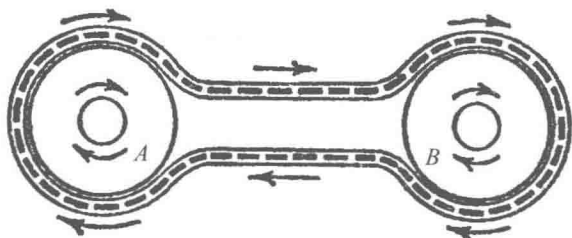


图4 A、B两站之间不需要停车的铁路构造。车站构造见图5。

火车如果不需要经常停靠站台的话，就可以节省很多时间和能源。比如说，城市中的电车很大部分时间和大约 $\frac{2}{3}$ 的能量都消耗在它离站时加速和停车前的减速上了^①。

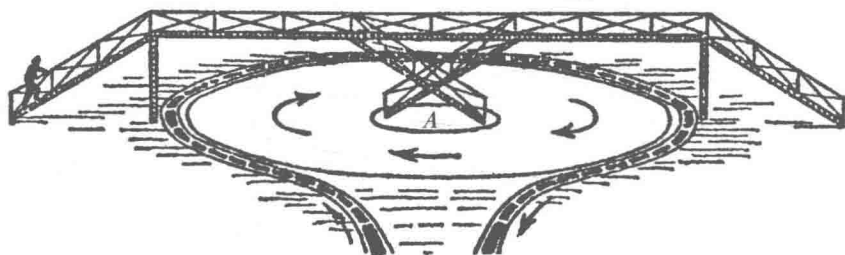


图5 不需要停车的铁路上的车站。

火车站上即便不使用特别的活动月台，也可以让旅客在火车全速时上下车。设想一下，有一列快车从一个普通的不动的车站边经过，我们希望它在不停下来的情况下将站上的旅客带走。假设这些旅客都在另一列并行的火车上，现在开动这列火车，使它的速度跟上一列火车。这样，当两列火车并排前进的时候，它们彼此都是相对静止的。这时候只需要在两列火车之间搭一个桥梁，将它们的车厢连接起来，旅客就可以从一列火车走上另一列火车了。大家可以看到，此时车站就是多余的了。

① 刹车时的能量损失是可以避免的，只需要刹车的时候改接车上的电动机，使它们像发电机那样工作，这样就可以把电流还给电网。这样的话，电车开动时消耗的能量就可以减少到原来的30%。

1.6 活动的人行道

另外一种设备也是根据相对运动的原理来制造的，这就是所谓的“活动的人行道”。这种人行道最早出现在1893年美国芝加哥的一次展会上，后来1900年在巴黎世界博览会上也出现过。图6是这种设备的构造图。大家可以看到五条环形的人行道，它们一环套一环，各自在不同的机械装置作用下以不同的速度运行。

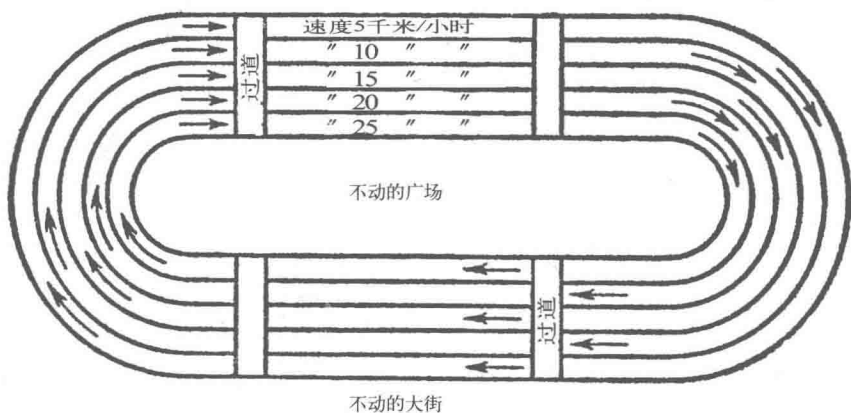


图6 活动人行道。

最外面的一环速度相当慢，每小时只有5千米，这是一个人步行的正常速度。要进入到这一缓慢运行的人行道上去并不难。紧挨这一人行道的第二环，以每小时10千米的速度运行。从静止的街道上跳入这样的人行道当然是很危险的，但是从第一条人行道进入这一环却不费劲。实际上，相对于以每小时5千米的速度运行的第一条人行道来说，这第二条速度为每小时10千米人行道的运行速度也只不过是每小时5千米。它就意味着，从第一条人行道进入第二条，和从地面上进入第一条一样容易。第三条人行道的速度是每小时15千米，当然，从第二条上跨过去也不是难事。同样，从第三条人行道进入速度为每小时20千米的第四条也很容易。以此类推，第五条人行道就把乘客带到他需要去的地方了。最后，乘客还可以从内往外回到静止不动的地面上来。

1.7 一条难懂的定律

力学三定律中最难懂的恐怕要算著名的“牛顿第三定律”——作用与反作用定律了。这条定律大家都知道，并且在某些条件下也可以正确运用这一定律。但是很少有人完全明白它的意义。也许读者中有人一下就理解了它，但是我得承认，我在知道这一条定律之后十年来才完全掌握它。

我和很多人讨论过这条定律，并且不止一次地确认，大部分人对这条定律的正确性是有所保留的。他们承认，对静止不动的物体来讲，这条定律是正确的，但就是弄不明白怎么样将这套定律运用到运动着的物体的相互作用上去。该定律说，作用永远等于反方向的反作用。也这就是说，如果一匹马拉着一辆车，那么这辆车也以同样的力向后拉着这匹马；如此一来，马车就应当停在原地静止不动，可为什么马车却在前进呢？如果这两个力是相等的，为什么它们不会彼此抵消呢？

这条定律让人无法理解的地方就在这里。难道这条定律是错误的吗？不是，定律当然是对的，是我们没有正确理解它。这两个力之所以没有相互抵消，是因为它们属于不同的物体：一个属于马车，一个属于马。这两个力是相等的，没错。但难道能说相等的力永远会产生相同的效果吗？难道相等的力会使随便什么物体都产生一样的加速度吗？难道说力对物体的作用是和物体本身、和物体的“抵抗力”大小没有关系吗？

如果想到了这一点，就不难明白，为什么马车虽然以同样大小的力拉着马，马却依旧拉着马车前进了。作用于马和马车的力，在每一时刻都是相等的。但是由于马车有车轮，可以自由移动，而马只是站在地上。因此，马车就随着马移动了。如果马车没有给予马匹同样的作用力的话，马车就有可能在没有马的情况下，只需要很小的力的作用就可以前进了。事实上，马的作用就是用来克服马车的反作用力的。

如果把这条定律通常所用的简短形式“作用等于反作用”改成“作用力等于反作用力”的话，可能会更好理解一些。要知道此处相等的只是力，至于作用（就像平常所理解的那样，“力的作用”是指物体位置的移

动)，因为受力的物体不同，通常情况下是不会相同的。

北极冰挤压“切柳斯金”号船身也是同样的道理：船身给予冰块的反作用力也是同样大小。灾难之所以会发生，是因为强大的冰体顶住了来自船身的压力，因而没有损坏；但是船身虽然是金属的，却不是实心的，所以没能承受住来自冰块的压力，因而压坏了。

物体的下落也同样遵循作用与反作用定律。苹果掉到地上是因为受到地球的吸引力。但是苹果也以同样大小的力吸引着地球。严格来讲，苹果和地球是相互向对方掉落，但是掉落的速度是不一样的。大小相等的相互作用力给予苹果的加速度是每秒钟近10米，但地球获得的加速度呢——它的质量是苹果的多少倍，就获得苹果得到的加速度的几分之一。当然，地球的质量是苹果的无数倍，因为地球向苹果移动的距离小到不能再小，实际上只能算作是零。因为我们说苹果掉到地上，而不说“苹果和地球相互向对方掉落”。^①

1.8 大力士斯维亚托戈尔是怎么死的？

大家记得大力士斯维亚托戈尔想举起地球的那首民歌吗？如果传说可靠的话，阿基米德也曾经准备做同样的事情，他只需要为他的杠杆找到一个支点就可以了。但是斯维亚托戈尔力大无穷却没有杠杆。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，我可以举起整个地球。”事也凑巧，这位大力士在地上找到了一个“小褡裢”，它很牢固，“不会松，不会转，不会被拔出来。”

斯维亚托戈尔跳下马，
双手抓住小褡裢，
把小褡裢提得高过了膝盖：
他就齐膝盖陷到地里面。
他苍白的脸上没有泪，却流着血。

^① 关于反作用定律，请参看我写的《趣味力学》（第一章）。

斯维亚托戈尔陷在那里，再也起不来，
他的一生就此完结。

要是斯维亚托戈尔知道这条作用与反作用定律的话，他也许会想到，他大力士般的力气作用到地球之后会引起同样大小的反作用力，这个反作用力会把他自己拉到地里面去。

不管怎样，从这首民歌可以看出，在牛顿的不朽名著《自然哲学的数学原理》（当时的“自然哲学”指的就是物理学）发表之前很久，人们就已经在不自觉地运用反作用定律了。

1.9 没有支撑物可以运动吗？

走路的时候，我们用脚蹬地面或者地板；但是如果地板非常光滑，或者是在冰上，那就无法蹬脚，也没法走路了。机车前进的时候，用它的主动轮推着铁轨；如果铁轨上涂了油，机车就只能停在原地了。有时候（比如说结冰了）为了使火车能够开动，就需要使用特别的装置，在机车主动轮前面的铁轨上撒上细沙。刚开始有铁路的时候，车轮和铁轨上都是有齿的，这是因为当时的人们认为，车轮必须推开轨道才能前行。轮船是用推进器的螺旋桨来推开水的。飞机是用螺旋桨推开空气的。总之，物体不论在哪种介质中运动，都需要这种介质的支撑才行。如果没有了支撑物，物体能不能运动呢？

看来，要做这种运动，就如同想抓住自己的头发把自己提起来那样困难。这样的事情只有闵希豪生男爵^①曾经尝试过。但是，这表面上看起来不可能的运动却时常在我们眼前发生。不错，物体不能完全依靠自身内部的力量使自己整个儿向前运动，但是它可以让自己的一部分向一个方向运动，其余的部分同时向相反的方向运动。大家多次见到过飞行中的火箭，可是各位想过这个问题吗：“为什么火箭会飞”？火箭恰好就是一个很好的例子，可以用来说明我们现在讲到的这种运动。

① 闵希豪生男爵是世界名著《吹牛大王历险记》中的主人公。

1.10 为什么火箭会飞？

甚至连研究物理学的人，有时候也会对火箭的飞行做出不正确的解释：他们认为，火箭之所以会飞，是因为利用它内部燃烧的火药所产生的气体来推动空气实现飞行的。以前的人也是这么想的（火箭很早就发明了）。但是如果把火箭放在没有空气的空间里，它甚至比在空气中还要飞得出色一些。火箭飞行的原因完全是另一回事。三·一刺客成员^①之一的基巴利契奇在他临死前的一本关于发明飞行器的笔记里有清楚明白的记述：

做一个一端封闭另一端开放的铁制圆筒，用压缩的火药将敞口的一端紧紧地塞上。这块火药的中间是一条类似管道式的空间。火药从管道的内表面开始燃烧，并在某个确定的时间里扩散到这块压缩火药的外表面，伴随着气体的燃烧产生了朝向各个方向的压力。气体向两侧的压力可以实现互相平衡，但是朝向铁制圆筒底部的压力没有遇到与它对抗的力（因为在反方向上是敞口的）。就是这个朝向底部的力推动着火箭前进。

发射炮弹的时候的情形也是一样的。炮弹向前飞，而炮身向后坐。大家可以想象一下手枪和各种火器在发射时的“后坐力”。如果大炮悬在空中没有支点的话，炮身在射击之后就会向后运动，它的速度和炮弹前进的速度之比，等于炮弹的重量和大炮重量之比。儒勒·凡尔纳的幻想小说《扭转乾坤》中的主人公甚至还想利用大炮的强大后坐力来完成一项伟大的事业——把地轴扶正！

火箭也如同一枚大炮，不过它射出的不是炮弹而是火药的气体。“中国轮转焰火”也是基于同样的原理旋转上升的。轮子上装有一根火药管，当管内的火药着火的时候，气体从一个方向冲出，火药管和跟它连在一起的轮子就向相反的方向运动。事实上，这只是大家所知道的物理仪器西格纳尔轮的一个变种而已。

有趣的是，在蒸汽机发明以前，曾经有过一种机械船的设计，也是根

^① 指俄国民意党人1881年3月1日炸死亚历山大二世事件的参与者。

据的这一原理。船尾装有很强大的压水泵，能够把船里的水压向船外，因此船就会向前运行。这和中学物理实验室里用来证明上述这条原理的浮在水面的洋铁罐是一样的。这种机械船的设计没有应用过，但是它却对轮船的发明起了很大的作用，因为它向富尔顿提供了灵感。

我们还知道，最早的蒸汽机是由公元前2世纪的希罗制造的，也是基于同样的原理。如图7所示：蒸汽从汽锅D通过管道abc进入一个安装在水平轴上的球里面；然后蒸汽再从两个曲柄管冲出，推动管子向相反方向运动，这样球就开始转动。遗憾的是，希罗式的蒸汽机在古代只能是一种有趣的玩具，因为奴隶劳动的代价很低，人们就不会想到使用机器。但是这个原理并没有被抛弃：现在我们正是利用这一原理来建造反动式涡轮机。

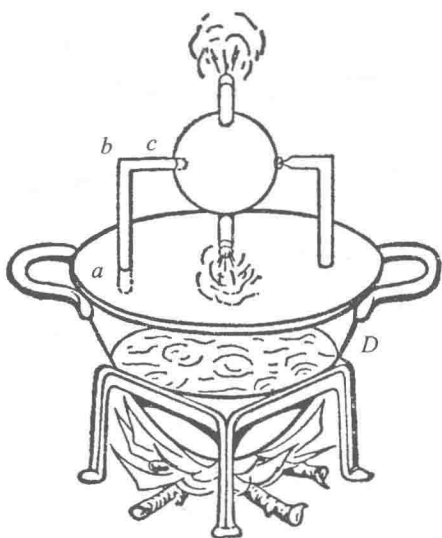


图7 最早的蒸汽机（涡轮机），公元前2世纪的时候希罗发明的。

作用与反作用定律的作者牛顿，也根据这个原理设计了一辆最早的蒸汽汽车。从安装在车轮上的汽锅中冒出的蒸汽向一个方向喷出，而汽锅本身却在反冲作用下向相反的方向运动（图8）。——

有兴趣的读者，可以依照图9的方法做一只小船，这只船和牛顿的汽车很相似：在一个空蛋壳做的汽锅下面放一个顶针，顶针里放上一块浸了

酒精的棉花，棉花被点燃以后，汽锅里就会出现蒸汽。这股蒸汽会向一个方向冲出，这样就会推动小船向相反的方向前进。不过，这个具有教育意义的玩具需要有一双灵巧的手才能做成。

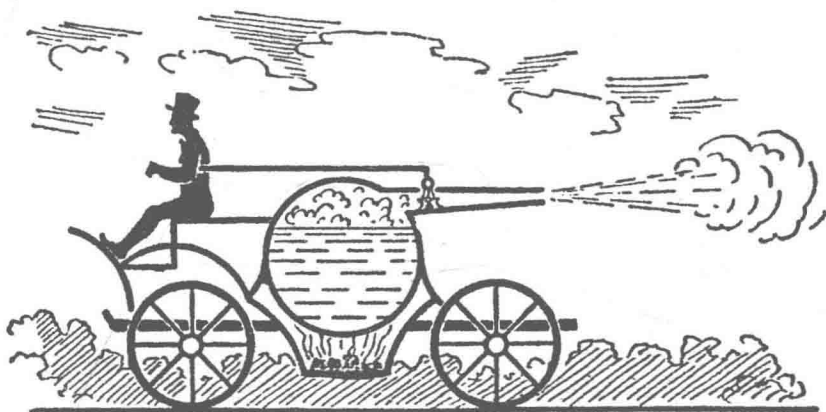


图8 牛顿发明的蒸汽汽车。喷气式汽车就是牛顿的汽车的现代形式。

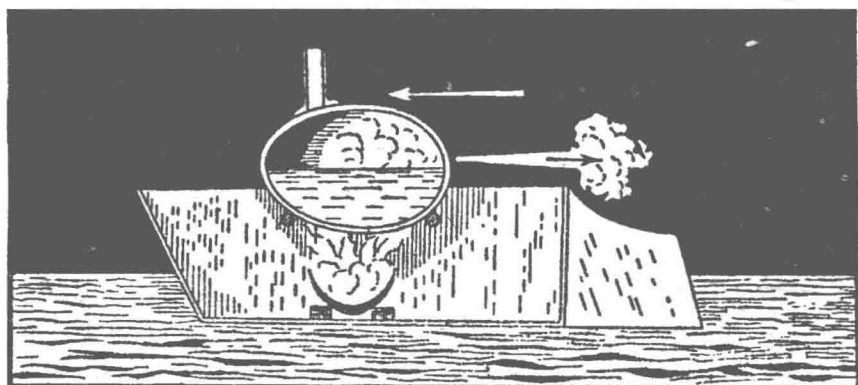


图9 用纸片和蛋壳做的玩具船。燃料是注入顶针的酒精。从蛋壳做成的汽锅里冲出来的蒸汽，能让这只小船向相反的方向前进。

1.11 乌贼是怎么运动的？

大家听到以下事实一定会觉得奇怪：世界上有不少的动物，对它们来讲，“抓住自己的头发把自己提起来”是它们在水中运动的一种方法。