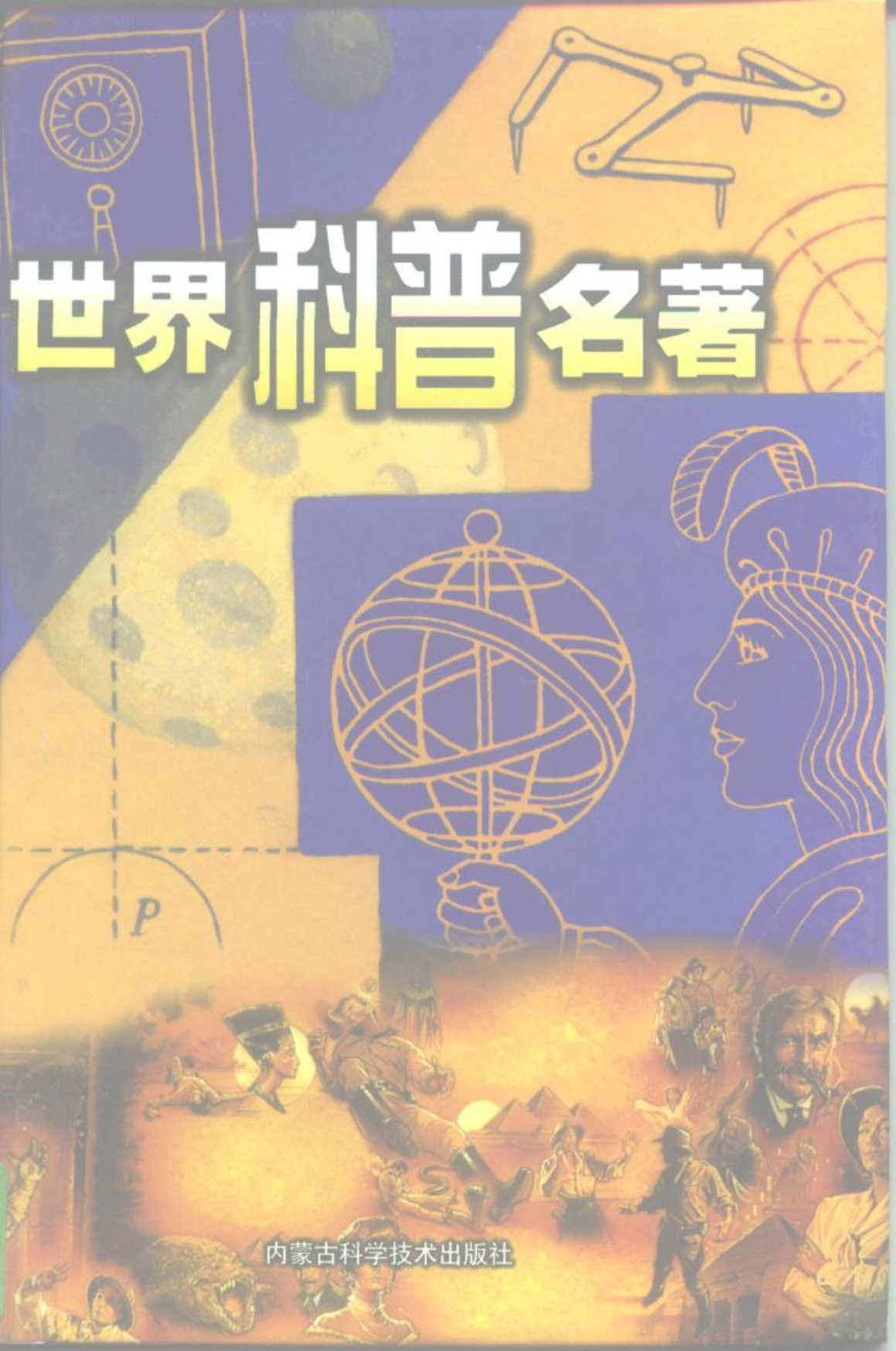




世界科普名著

内蒙古科学技术出版社



世界科普名著

第八卷

内蒙古科学技术出版社



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像是在协作：事实上，每一只蚂蚁都在自管自地工作，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，那么，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

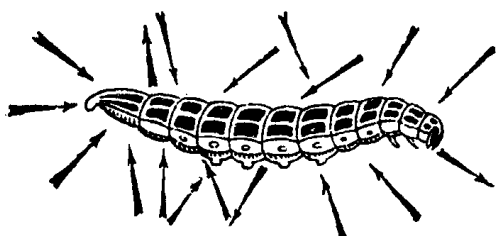


图 159 蚂蚁是怎样拉它们的捕获物的。箭头所指的是各只蚂蚁用力的方向

同伴协同地来越过这个障碍物的（图 159 和图 160）。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：4 只蚂蚁推着毛



图 160 蚂蚁是怎样拉毛虫的

虫朝一个方向前进，6 只蚂蚁朝另一个方向前进，这些力合起来，结果毛虫就不顾 4 只蚂蚁的反作用，而朝着 6 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 161 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 11 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。搬运这块干酪，其实有 4 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

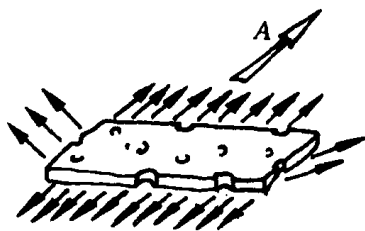


图 161 一群蚂蚁怎样把一块干酪沿着箭头 A 所指的方向，拖向蚁穴

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，却不明白到底是为了什么。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，便吊它上面。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，如果像是生蛋的，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 162）。



图 162 用这种方法压破鸡蛋，要用很大力气

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

图 163 的窗顶上有一个小型石拱。重力 S （也就是窗顶

上面那部分砖墙的重力) 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, 像箭头 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。

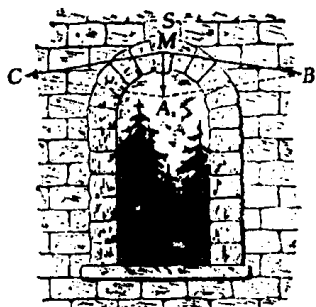


图 163 拱门所以坚固的原因

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叠成的。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 4 条腿, 放在 4 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。石膏是容易黏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力会压破蛋壳；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。

电灯泡看来好像很脆弱，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 厘米的灯泡所受的压力，就在 75 千克以上（相当于一个人的体重）。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 $\frac{1}{4}$ ，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

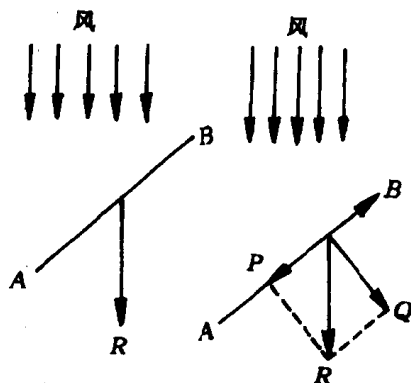


图 164 风总是依垂直帆面的方向推动船帆的

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 164 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 164 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逆着风前进了。让我们用 KK 线（图 165）代表船的龙骨线。风按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 165 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 R

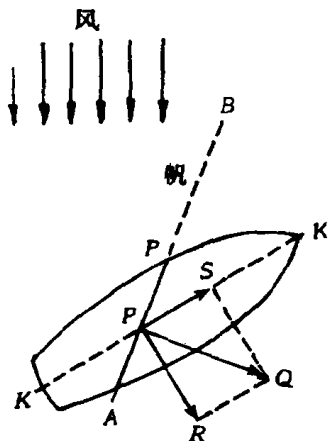


图 165 帆船怎样能够逆着风前进

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，好像在逆风里一样。这种运动通常总采取“之”字形路线，像图 166 里的那样。水手们把这种行船法叫做“抢风行船”。



图 166 帆船左右
迂回前进

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。”



图 167 “阿基米德用杠杆举起地球”（选自 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。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 1 厘米呢？至少要 30 万亿年！

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的话，它的重力大约是：

6 000 000 000 000 000 000 000 吨

如果一个人只能直接举起 60 千克的重物，那么他要

“举起地球”，就得把自己的手放在一根这样长的杠杆上，它的长臂应当等于它的短臂的

100 000 000 000 000 000 000 000 倍

简单地计算一下就可以知道，在短臂的那一头举高 1 厘米，就得把长臂这一头在宇宙空间里画一个大弧形，弧的长度大约是

1 000 000 000 000 000 000 公里

这就是说，阿基米德如果要把地球举起 1 厘米，他那扶着杠杆的手就得移动大到这样不可想象的一个距离！那么他要用多少时间才能做完这件事呢？如果我们认为阿基米德能在 1 秒钟里把 60 千克的重物举高 1 米，那么，他要把地球举起 1 厘米，就得用去

1 000 000 000 000 000 000 000 秒

即 30 万亿年！可见阿基米德就是用一辈子时间按着杠杆，也不能把地球举起极小的一段距离。

不管这位天才的发明家怎样聪明，他也没法显著地缩短这段时间的。“力学的黄金律”告诉我们，任何一种机器，如果在力上占了便宜，在位置移动的距离上，也就是在时间上一定要吃亏。即使阿基米德的手能够运动得和自然界最大的速度——光速（300000 公里每秒）——一样快，他也只能在做了十几万年的工作以后，才能把地球举起 1 厘米。

儒勒·凡尔纳的大力士和欧拉的公式

你记得儒勒·凡尔纳书里的竞技大力士马蒂夫吗？“头大身高，胸膛像铁匠的风囊，腿像粗壮的木柱，胳膊像起重机，拳头像铁锤……”这位大力士的功劳在《马蒂斯·桑多尔夫》这部小说里叙述得很多，可是使读者印象最深的，大概是他用手拉住一条正在下水的船“特拉波科罗”号这件事。

关于这件事，小说的作者是这样告诉我们的：

已经移去了在两旁撑住船身的支持物，船准备下水了。只要把缆索解开，船就会滑下去。已经有五六个木工在船的龙骨底下忙着。观众满怀着好奇心注视着这件工作。这时候，却有一只快艇绕过岸边凸出的地方，出现在人们的眼前。原来这只快艇要进港口，必须经过“特拉波科罗”号准备下水的船坞前面。所以，一听见快艇发出信号，大船上的人为了避免发生意外，就停止了解缆下水的操作，让快艇先过去。假使这两条船，一条横着，另一条用极高的速度冲过去，快艇一定会被撞沉的。

工人们停止了捶击。所有的眼睛全都注视着这只华丽的船。船上的白色篷帆在斜阳下像镀了金一样。快艇很快就出现在船坞的正前面。船坞上成千的人都出神地看着它。突然听到一声惊呼，“特拉波科罗”号正当快艇的右舷对着它的时候，开始摇摆着滑下去了。两条船就要相撞了。已经没有

时间、没有方法能够防止这场惨祸了。“特拉波科罗”号很快地斜着向下面滑去……船头上卷起了因摩擦而起的白雾，船尾已经没入了水。

突然出现了一个人，他抓住了挂在“特拉波科罗”号前部的缆索，用力地拉，几乎把身子弯得接近了地面。不到1分钟，他已经把缆索绕在钉在地里的铁桩上。他冒着被摔死的危险，用超人的气力，用手拉住缆索大约有40秒钟。最后，缆索断了。可是这40秒钟时间已经很足够：“特拉波科罗”号进水以后，只轻微地擦了一下快艇，就向前驶了开去。

快艇已经脱了险。至于这个使这件发生得很快意外事件没有造成惨祸的人——当时甚至别人来不及帮助他——就是马蒂夫。

假使小说的作者听到说，这样的功劳并不需要一个像马蒂夫那样的“力大如虎”的巨人，而是每一个机智的人都能干的话，那他一定会非常惊奇。

力学告诉我们，缠在桩上的绳索，在滑动的时候，摩擦力可以达到极大的程度。绳索绕的圈数越多，摩擦力也就越大。摩擦力增长的规律是：如果圈数按照算术级数加多，摩擦力就按照几何级数增长。所以就是一个小孩子，只要能把绳索在一个不动的轱辘上绕三四圈，然后抓住绳头，他的力量就能平衡一个极大的重物。在河边的轮船码头上，常常有一些少年，就用这个方法使载着几百个乘客的轮船靠码头。原来在这里帮助他们的，并不是他们异常的臂力，而是绳和桩子之间的摩擦力。

18世纪，著名数学家欧拉曾经确定了摩擦力跟绳索绕

在桩子上的圈数之间的关系。我现在把欧拉的有用的公式引在下面，给那些不怕简洁的代数语言的读者参考：

$$F = fe^{ka}$$

在这个公式里， f 代表我们所用的力， F 代表我们所要对抗的力。 e 代表数 $2.718\cdots$ （自然对数的底）， k 代表绳和桩子之间的摩擦系数。 a 代表绕转角，也就是绳索绕成的弧的长度跟弧的半径的比。

把这个公式应用在儒勒·凡尔纳的故事里，所得的结果非常使人吃惊。这里，力 F 是沿着船坞滑下去的船对缆索的拉力。从小说里我们知道，船重 50 吨。假定船坞的坡度是 $1/10$ ，那么，作用在缆索上的就不是船的全重，而是全重的 $1/10$ ，也就是 5 吨或 5000 千克。

再说， k ——缆索和铁桩之间的摩擦系数——的数值算做 $1/3$ 。 a 的数值是不难计算的。如果我们假定马蒂夫曾经把缆索绕桩 3 圈。这时候：

$$\alpha = \frac{3 \times 2\pi r}{r} = 6\pi$$

把这些数值代进欧拉的公式，就可以得到：

$$5000 = f \times 2.72^{6\pi \times \frac{1}{3}} = f \times 2.72^{2\pi}$$

未知数 f （就是需要的人力）可以用对数求出来：

$$\log 5000 = \log f + 2\pi \log 2.72$$

得到 $f = 9.3$ 千克 ≈ 93 牛

因此，这个大力士只要用 93 牛顿的力就可以把缆索拉住，立下这次大功了！

你别以为这个数值——93 牛——不过是理论上的，实际需要的一定比这大得多。恰恰相反，这个数对我们说来已

经太大了：古时候用来系船的是麻绳和木桩，在这两种东西之间，摩擦系数 k 比上面所用的数值更大，所以所需要的力简直小得可笑。只要绳索够牢，吃得住拉力，就是力气小的孩子，把它套在桩上绕三四圈以后，也能同样立下这个儒勒·凡尔纳小说里的大力士所立的功劳，或者还能胜过他哩。

结为什么能打得牢

在日常生活里，我们毫无疑义常常在享受欧拉公式所指出的利益。譬如打结。我们不就是把一条绳索的一端当做桩子，而让这根绳的其余部分缚在上面吗？各种各样的结——普通结、“水手结”、“纽带结”、“蝴蝶结”等等——所以能打得牢，完全是由于摩擦的作用。由于绳索围着自己缠绕着，像绳索围着支架缠绕着一样，所以摩擦力增大了许多倍。研究一下结里的许多曲折，就不难相信这一点。曲折越多，或是绳子围着自己缠绕的圈数越多，它的绕转角就越大，结也打得越牢。

缝衣工人钉纽扣，也常常在不知不觉中使用着这个方法。他把线头绕许多转，然后把线扯断。这样，只要线是坚韧的，纽扣就不会掉下来。这里所利用还是我们已经知道的那条规律：线的圈数照算术级数加多的时候，纽扣的牢固程度就照几何级数增长。

如果没有摩擦，我们甚至连纽扣都没法使用：线在纽扣的重力下会自己松开，使纽扣脱落。