

1

Chapter

第一章 力学

1.1 比米更大的长度单位

【题】比米大的标准米制单位有哪些？

【解】一般来说，我们知道的比米更大的长度单位是千米。在我们的法定计量单位表中，是不存在十米、百米这些单位表述的。

1.2 升和立方分米

【题】升和立方分米哪个更大？

【解】普遍认为，升和立方分米似乎是一个概念，但是这种观点有误。两者的容量相当接近，但不完全等同。度量制中的标准1升不是用1立方分米，而是用1千克来衡量的。1升是1千克纯净水在密度最大时（此时水温为4℃）的体积。这个体积比1立方分米大27立方毫米。

也就是说，一升比一立方分米略大些。

1.3 最小的长度单位

【题】请说出最小的长度单位。

【解】千分之一毫米（即微米^①）远远不是现代科学领域中运用到的最小的长度单位。比微米小的单位曾包括百万分之一毫米（即纳米）和千万分之一毫米（即埃米A，现在该单位不再使用）。

现在最小的长度单位是纳米。单位“未知数”（X）以前曾使用过，现在已经取消，这里 $X=1.00206 \cdot 10^{-13}m \approx 0.0001nm$ 。然而，对于大自然中存在的某些物体来说，未知数（X）都还太大，无法准确测量其大小。譬如，直径为几百分之一X的电子^②，以及直径约为两千分之一X的质子。

① 对于现代技术来说，微米已经是相当大的一个长度单位了。因为只有在零件能够完全互换的情况下，复杂机械才能进行大批量生产。这样，可精确到数十分之一微米的测量仪器就运用到了生产实践领域。

② 严格说来，电子直径只是假设存在的。汤姆森写道：“假如推测电子也遵循实验室中带电金属球所遵循的那些原理，那么就能计算出电子的‘直径’，即这个值等于 $3.7 \cdot 10^{-13}$ 厘米。但是通过实验是不可能验证这个结果的。”

见下表，对照以上列举出的若干个较小的长度单位：

微米	10^{-6} 米
纳米	10^{-9} 米
埃米	10^{-10} 米（已取消）
（X）	10^{-13} 米（已取消）

从表面上看，根据国际单位制规定，可以使用由单位米生成的其他米制单位，如皮米（ 10^{-12} 米）、飞米（ 10^{-15} 米）和阿米（ 10^{-18} 米），但是实际上比纳米还小的米制单位名称就不再使用了。

1.4 最大的长度单位

【题】请说出最大的长度单位。

【解】不久以前，科学领域还普遍认为，最大的长度单位是“光年”，即光在真空中一年所走过的路程，它等于9.5万亿千米（ $9.5 \cdot 10^{12}$ 千米）。在许多科学著作中，这个长度单位已逐渐被“秒差距”（是光年的三倍多）所取代。秒差距（由“视差”和“秒”这两个词的缩写合成）等于31万亿千米，即 $31 \cdot 10^{12}$ 千米。但是，即使是这么大的长度单位，用来测量宇宙的深度还是太微小。天文学家不得不引入另一个长度单位“千秒差距”，即1000个秒差距，继而引入“百万秒差距”，即1000000个秒差距，百万秒差距是现今存有记录的最大的长度单位。而被天文学家称为“单位A”（包含有一百万个光年）的较大单位，只约等于百万秒差距的三分之一。螺旋星系间的距离就用百万秒差距来测量。

比较下列若干个较大的长度单位：

秒差距	$31 \cdot 10^{12}$ km	光年	$9.5 \cdot 10^{12}$ km
千秒差距	$31 \cdot 10^{15}$ km		
百万秒差距	$31 \cdot 10^{18}$ km	单位A	$9.5 \cdot 10^{18}$ km

有趣的是，最大单位和最小单位，即百万秒差距和未知数（ X ）之间的中间值有多大？当然，我们在这里指的不是算术平均值（即百万秒差距的一半），而是几何平均值。将未知数（ X ）换算成千米，我们得到

$$X = 10^{-10} \text{ mm} = 10^{-16} \text{ km}$$

因此，百万秒差距和未知数之间的几何平均值就等于

$$\sqrt{31 \cdot 10^{18} \times 10^{-16}} \approx 56 \text{ km}$$

最大长度单位是56千米的多少倍，最小长度单位就是56千米的多少分之一。



图1 什么是“秒差距”

1.5 轻金属，比水还轻的金属

【题】有比水还轻的金属吗？请说出最轻的金属。

【解】当我们提及轻金属的时候，通常会谈到铝。但是在轻金属行列里，铝还不是排在第一位的，因为有些金属比铝还要轻。下面列举了若干轻金属，并标明了每种金属的比重（密度）：

铝	2.7
钙	1.55
锶	2.6
钠	0.97
铍	1.9
钾	0.86
镁	1.7
锂	0.53

有三种轻金属比水还轻。

从上表可知，最轻的金属是锂^①。锂比许多种树木还要轻，将其置于煤油中，会有一半漂浮在油面。它的重量是最重的金属（钨）的 $\frac{1}{40}$ 。

现代工业中应用的轻合金如下图所示（法国工程师最善于生产高质量的轻合金，他们将所有密度小于3的合金统称为轻合金。）：

1. 硬铝和软铝合金是铝和少量铜镁的合金，其密度为2.6，同体积的情况下，重量是铁的 $\frac{1}{3}$ ，但刚度却是铁的1.5倍。

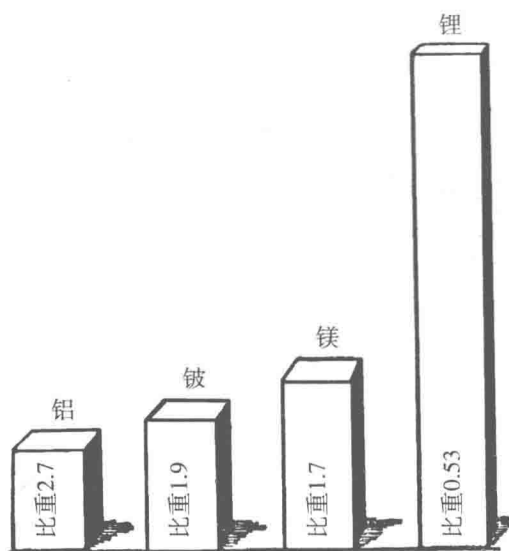


图2 同等重量的几种轻金属棱镜。

2. 硬铍是铍和铜镍的合金，重量是硬铝的 $\frac{3}{4}$ ，但刚度比硬铝大40%。

3. 轻质镁基合金^②是镁铝等其他金属的合金，重量是硬铝的 $\frac{7}{10}$ ，刚度不亚于硬铝（其密度为1.84）。

这有类似的轻铝合金，如西方常用的硅铝合金、斯克列隆铝锌合金、马格纳里合金（轻质镁基合金的前身），此处便不再赘述。

① 锂被应用于制造红色信号火箭（作海上遇险信号用），玻璃制造工业（如乳制品用玻璃瓶），硬化合金的金属工业等。

② 这种合金的名称起源于最早制造这种合金的一家公司。苏联的“谢尔戈·奥尔荣尼克杰”型飞机就是完全采用这种合金制造而成的。

1.6 密度最大的物质

【题】世界上密度最大的物质是什么？

【解】普遍认为，密度最大的物质有锇、铱星和白金（铂）。但是，将它们同某些行星上的物质相比，密度就不算大了。密度最大的物质应该是位于黄道十二宫双鱼座所属的范梅南（van manen）行星上。该行星（其几何面积小于我们的地球）每立方厘米的平均质量约400千克。因此，这种物

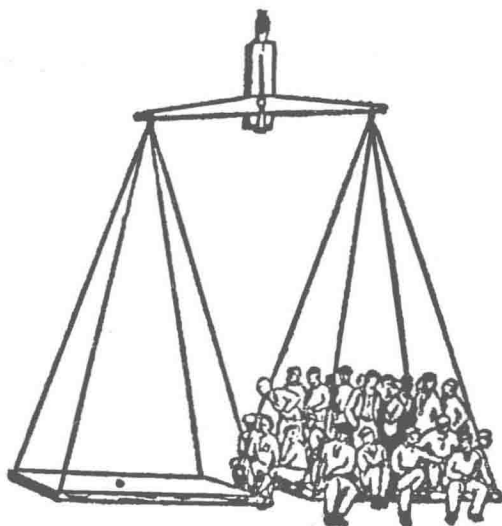


图3 范梅南行星上某些物质的体积虽然只有 $\frac{1}{4}$ 个火柴盒大，但是重量却等于30个成人的体重之和。

质的密度是水的400000倍，约为白金的20000倍。一枚最小的该物质颗粒（标本12号，直径仅1.25毫米）在地球表面都重达400克，相当于整整一英镑！而同样是这枚小颗粒，在它的星球表面所称出的重量却大得出奇，竟达30吨！

1.7 无人岛上

【题】以下是著名的爱迪生测验中的一个问题：“如果你置身于一座太平洋热带岛屿上，在不借助任何工具的情况下，你将如何挪动一块长100英尺，高15英尺的3吨重的山岩？”

【解】有一本研究爱迪生测验的德语书，里面提到这样一个问题：在这个热带岛屿上生长树木吗？这个问题没有意义，因为要推翻一块山岩是不需要任何树木的，只要用双手就可以做到了！题目中并没有明确指出山

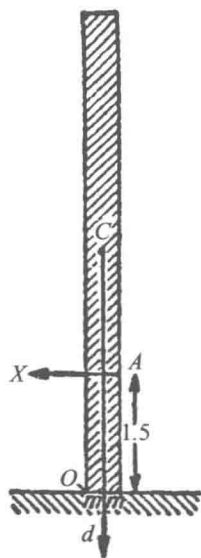


图4 推翻爱迪生墙

岩的厚度，我们只要将它计算出来，事情就能马上弄清楚了。一般来说，质量为3吨，密度是水的3倍的花岗石，体积为1立方米。因为山岩的长度为30米（100英尺），高度约5米（15英尺），所以它的厚度就为

$$1 : (30 \times 5) \approx 0.007\text{m},$$

也就是7mm。在这座岛上有厚仅为7毫米的薄山壁。

只需用双手推或单肩顶一下就足以推倒类似的山壁（只要这堵墙没有深深地嵌进土里）。计算出所需要的这个力的大小，将其用 x 表示出来。如图4所示，这个力为矢量（向量） Ax 。这个力的着力点 A 落在身高1.5米的人的肩头。这个

力使墙体围绕 O 点翻转。这个力的力矩就等于

$$\text{Mom.}x = 1.5x$$

墙体重力 P 依附在重心点 C 上，并让墙体保持原来的状态，这个力反作用于上述的推力。那么相对于 O 点来说，重力的力矩等于

$$\text{Mom.}P = P \times m = 3000 \times 0.0035 = 10.5$$

由上方程式得出力 x 的大小

$$1.5x = 10.5$$

因此

$$x = 7\text{kg}$$

换句话说，一个人只需要用7千克的力就可以把墙体推倒。

类似的石壁完全处于垂直竖立状态也是不可能的，因为即使是一阵我们感觉不到的微风都有可能将它推倒。根据上述方法很容易计算出，压强为 1.5kg/m^2 的风（可以被看做是一种作用在墙体半高处的力）就足以推倒这堵墙。而且即便是一股压强为 1kg/m^2 的“微”风，也能给墙体施加150千克的压力。

1.8 蜘蛛丝的重量

【题】一根有从地球到月球距离长的蜘蛛丝^①大约重多少？手掌能托起这样一件重物吗？那么用大车可以运走吗？

【解】如果不借助运算，就很难对这个问题给出一个近似准确的答案。计算方法并不复杂，当蛛丝直径为0.0005厘米，密度为1 (g/cm²) 时，1千米蛛丝的重量就等于

$$\frac{3.14 \times 0.0005^2}{4} \times 100000 \approx 0.02g$$

而当蛛丝长度达到400 000千米（相当于地球到月球的距离）时，其重量等于

$$0.02 \times 400\ 000 = 8\ kg$$

这样的重物还是可以托在手中的。

1.9 埃菲尔铁塔模型

【题】高度为300米（1000英尺）的埃菲尔铁塔重9000吨。那么高30厘米（1英尺）的精准铁塔模型的重量又是多少呢？

【解】尽管这是个几何学问题，但它主要还是引起了物理学领域的关注。因为在物理学中，经常会比较几何形状相似的若干个物体的质量。这样，问题就在于，如何确定两个相似物体之间的质量关系（其中物体A和物体B的线性大小比例为1：1000）。按照这种比例关系，如果认为微缩化的埃菲尔铁塔模型的重量就是9吨（即实物的千分之一）的话，那么就大错特错了。其实，几何形状相似的物体的体积和质量，等于它们的

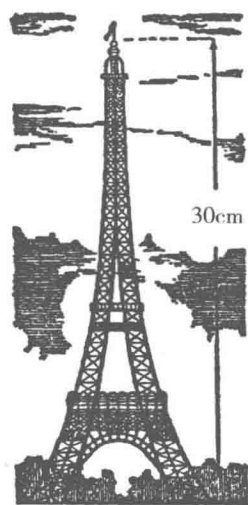


图5 这个埃菲尔铁塔模型的重量是多少？

^① 蛛丝直径为0.02毫米，它的比重约为1。

线性比例的立方。换句话说，实物的质量应该是塔模型的 10^9 倍，也就是10亿倍：

$$9\,000\,000\,000 : 1\,000\,000\,000 = 9g$$

长度为30厘米的铁制品的质量是相当小的。因此，我们的模型框架会很薄，因为它是实物厚度的千分之一，这就要求模型如丝般精细。因而，模型就如同是由最细的丝线^①制作而成的纺织品，而模型质量小也就不足为奇了。

1.10 手指上的1000个大气压

【题】一根手指能产生1000个大气压吗？

【解】很多人也许完全没有意识到，我们用手指将尖针或大头针扎入织物时，施加了1000at^②的大气压。这个结论却不难理解。例如，借助重力写字时，我们手指施加在笔尖上的力约为300克或0.3千克。受压的笔尖的直径约为0.1毫米或0.01厘米，笔尖的面积约为

$$3 \times 0.01^2 = 0.0003 \text{ cm}^2$$

因此，1平方米所受到的压强就是

$$0.3 : 0.0003 = 1000 \text{ kg/cm}^2$$

因为工业大气压等于 1 kg/cm^2 ，我们作用在笔尖上的压强为1000个工业大气压，这个压强是蒸汽机圆柱汽缸内蒸汽做功的100倍。

做针线活的裁缝一刻不停地接触着100个大气压，他没有意识到，自己的手指施加了这么大的压强。同样，理发师使用锋利的剃刀剪发时，也从未考虑过这一点。确实，剃刀施加在一根发丝上的力的大小只有几克，但是剃刀的刀刃厚度却不到0.0001厘米，一根发丝的直径也小于0.01厘米，这样剃刀施加在发丝上的受压面积就等于

$$0.0001 \times 0.01 = 0.000\,001 \text{ cm}^2$$

① 埃菲尔铁塔上70吨的框架如果替换成丝线模型，其重量仅为0.07克。

② 工业大气压单位用at表示， $1 \text{ at} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 98.07 \text{ K pa}$ 。

1g的力对这小块面积施加的压力就是

$$1 : 0.000\ 001 = 1\ 000\ 000\text{g}/\text{cm}^2 = 1000\text{kg}/\text{cm}^2$$

也就是说，又是1000at。因为手施加在剃刀上的重量不超过1g，那么剃刀施加在发丝上的压力就是几千个大气压了。

1.11 昆虫能产生10000个大气压？

【题】一只昆虫能产生100 000个大气压吗？

【解】昆虫的力的绝对值很小，因此，它们能产生一万个大气压的这种说法似乎不可信。然而，存在着这样一类昆虫，它们甚至能产生更大的压强。黄蜂将毒刺刺入猎物的身体时，总共使用约1mg的力。但是，黄蜂毒刺的锋利超过了我们所有的精密科技手段所能达到的程度。相对于黄蜂刺来说，即使是所谓的微型外科仪器也会显得钝得多。通过显微镜最大倍数的显示，黄蜂的刺尖上无任何扁平状的图像。即使是再通过超显微镜透视，我们能看到的还是类似于山峰的形状，如图6所示。如果将刀刃置于这台显微镜下，那么所呈现的图案更类似于锯子或山峦（如图7所示）。黄蜂刺可能是自然界中最锋利的事物，因为其刺尖半径不超过0.00001毫米。这样，它就如同一把打磨得相当锋利的剃刀。



图6 放大后的刺尖如同山峰。

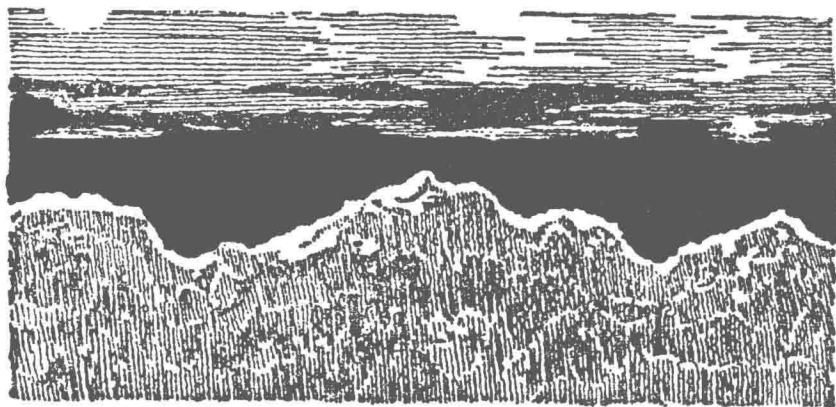


图7 放大后的刀刃如同山脉。

计算出黄蜂使用 0.001g 力的受力面积的大小，即半径为 0.00001 毫米的面积的大小。为了方便，我们将 π 看做是 3 ，那么这个面积就等于

$$S = 3 \times 0.000\ 001^2 \text{cm}^2 = 0.000\ 000\ 000\ 003 \text{cm}^2$$

刺第一次作用在这个面积上的力的大小为 $0.001\text{g} = 0.000\ 001\ \text{kg}$ 。压强就等于

$$P = \frac{0.00001}{0.000000000003} = 330\ 000\ \text{at}$$

然而，在现实中事情可能并不是这样。因为压力还未达到这么大时，被刺到的生物就已经奄奄一息了。也就是说，黄蜂不用施加 1mg 的力，而只需一点力就足以达到目的了，当然这还取决于猎物的密度。

1.12 河上的桨手

【题】河面上有一只桨船，旁边漂浮着一块木板。对于桨手来说哪件事更轻松：是保持领先木板 10 米呢，还是保持落后木板 10 米？

【解】即便是从事水上运动的人也经常得出一个错误的结论：他们认为，逆流划船要比顺流困难，因此，和一块漂浮在水面的木片比赛，一定能划到它的前面。

毫无疑问，相对于河岸的某个点，逆流划船要比顺流困难。但是，如

果你要达到的那个点和你同时在水中移动（如一块漂浮在水面的木片），那就另当别论了。应该指出的是，在水流中运动的小船，相对于承载着它的水流来说，它是处于静止状态的。桨手坐在这艘小船中划桨时，同他处在不流动的河水中划桨完全一样。在静止的河水中，无论朝哪个方向划桨都一样轻松，而这一点对于在流动的河水中划桨的桨手来说同样如此。

因此，在同一段距离内，无论桨手是想超过漂浮的木片还是落后于它，他所耗费的劳动量是相等的。

1.13 系在气球上的旗子

【题】热气球在风的作用下朝北移动。那么此时气球吊篮中的旗子会朝哪个方向飘扬呢？

【解】如果气球在空中被气流控制，那么这两者的速度是相等的。因为，气球及它周围的空气处在相对静止的状态中。换句话说，旗子就如同处在静止空气或无风天气里，应该是垂直悬挂着的。即使外部飓风狂作，人在这艘气球的吊篮中仍感觉不到风的存在。

1.14 水面上的波纹

【题】掷入静止的水中的石头会激起圆圈状的波纹。那么掷入流动河水中的石头激起的波纹又是什么形状的呢？

【解】如果不能一下子找到解决这个问题方法，那么就很容易陷入一系列推理中，并得出这样一个结论：在流动的水中，波纹既不会弯曲成椭圆，也不会弯曲成扁状（曲面迎着水流方向）。无论水流多么湍急，我们认真观察掷入河中的石子激起的波纹，就会发现涟漪依然是圆圈儿状的。

一切都在意料之中。简单的推理让我们得出这样一个结论：无论水是静止还是流动的，掷入河中的石子激起的波纹应该是圆形的。我们将泛涟漪的水微粒的运动看做是两种运动的结合，即辐射（由波动中心向外扩

散)和传递(朝水流方向运动)。参与几种运动的物体,假设依次完成了所有的运动,那么它最终会到达的地方,和同时完成所有运动的地方是一样的。因此,假设最初将石子投入静止的水中。当然,这样波纹就是圆形的。那么现在试想下,水在流动(无论流速大小,是否匀速,只要这种运动处在前进之中),这些圆圈状的波纹会发生什么样的改变呢?如果不考虑任何偏差,它们会平行位移,也就是说,它们还会是圆圈状的。



图8 将石子掷入流水中,激起的波纹是什么形状的?

1.15 瓶子和轮船

【题】 (1) 河中两艘轮船以不同的速度相向行驶。当两者并齐时,从船上各扔下一只瓶子。15分钟后,两艘船同时调头并按原速驶向各自的瓶子。

哪艘轮船会更早到达瓶子所处的位置,是船速快的那艘?还是慢的那艘?

(2) 如果两艘船最初背向(离向)行驶,那么结果又会如何呢?

【解】 两个问题的答案是相同的:两艘轮船同时返回到瓶子所在地。

解决这个问题首先要考虑以下的事实,河流承载着瓶子和轮船时的速度是相同的。这样,水流是不会改变它们的相对位置的。所以,水流的速度相当于零。在这种情况下,即在静止的水中,每艘轮船调头经过同一段时间后(即瓶子被扔弃掉15分钟后),一定会到达各自瓶子的所在地。

1.16 惯性定律和生物

【题】生物遵循惯性定律吗？

【解】生物遵循惯性定律吗？请看看下面的情况。很多人认为，生物在没有外力参与的情况下能够发生位移，而根据惯性定律来看，物体会保持静止或者继续进行匀速直线运动，直到某个外界因素（即外力）改变物体的这种状态。

但是在表述惯性定律时，“外界”这个词并不是不可或缺的。相反，它完全是多余的。牛顿在《物理的数学起源》这本书中就没有提到这个词。以下是对牛顿的定义的直译：“每个物体都处在自身的静止状态或者匀速直线运动之中，因为该物体的作用力没有使它改变这种状态。”

这里并没有指出，根据惯性使物体摆脱静止或者运动的原因一定就是“外界”。在上面的表述中，明确提到惯性定律同样也适合于生物。

谈到生物具有排除外力参与而自身能运动的这种现象，读者将在下文碰到相关的分析。

1.17 运动和内力

【题】物体仅仅依靠某些内力作用能产生运动吗？

【解】普遍认为，物体仅借助内力产生运动是不够的。这种观点无疑带有成见。火箭就足以推翻这一观点，因为火箭主要依靠内力运动。我们亲眼见证火箭的整个运行过程就能充分证明。

有这一点是确定的，整个物体不可能依靠内力处于同一种运动中。但是，这个力完全可以让物体的某部分产生某种运动，比如向前，而剩下的部分向相反的方向运动，即向后。我们能在火箭运行中碰到这种情况。

另外，猫也是一个明显的例子。大家都知道，猫在空中掉落时总是脚爪朝下。它脚爪朝一个方向的翻转带动躯干朝相反的方向翻转。脚爪时而撑起时而抓紧物体（即同时还利用了面积定律），进行一系列到位的翻转后，猫仅仅借助于一部分内力的作用完成了整个躯干所需的翻转。

之所以内力作用还存在争论，有一个原因是物体借助自身内力无法正确把握运动趋势，这一点在许多涉及某种力学定律的书本中都提到过。这种定律其实是不存在的。因为它认为，内力无法改变物体的重心。

1.18 摩擦是一种力

【题】既然摩擦自身不能产生运动，那为什么它总是被称作是一种“力”呢（它的方向总是与运动方向相反的）？

【解】毫无疑问，非运动物体的摩擦可能是运动的直接原因，但它只能是运动的障碍。但也正是这样才把它称作是一种力。什么是力？牛顿这样定义：“力是一种为了改变物体静止或者匀速直线运动状态而施加在物体上的作用。”

地面的摩擦改变物体的匀速运动，使它的运动成为非匀速的（变慢）。因此，摩擦是一种力。

为了将这种非运动的力同其他能产生运动的力区分开来，前者被称为“消极”力，后者为“积极”力。

1.19 摩擦和动物的运动

【题】摩擦在生物运动过程中起到了什么作用？

【解】看看一个具体的例子——人走路。一般认为，行走中，摩擦作为唯一参与的外力是一种运动的力。在各种教科书和科普课本上经常这样提到。但如果仔细思考：既然地面的摩擦只能减缓运动而不能产生运动，那么它有可能是运动的原因吗？

应该这样来看待摩擦在人和动物行走中的作用！行走的实质如同火箭运行一样。人能够迈开脚向前，是因为他身体的一部分在向后运动。在光滑的平面上我们也能观察到这一点。但是一旦摩擦力足够大，身体就不会向后退了，整个身体的重心就会向前，这样就迈出步子了。

到底有哪些力使得身体重心前倾呢？肌肉收缩，即内力。在这种情况下

下，摩擦的作用只能归结为，它与行走时所产生的两个相等内力中的一个内力平衡，这样就使另一个内力突显出来。

无论是在生物体任何其他形式的位移中，还是在轮船的运动过程中，摩擦都起到了这种作用。所有这些物体都不是靠摩擦作用向前运动的，而是靠摩擦产生势能的两个内力中的一个力作用的。

1.20 绳索的拉力

【题】若要将绳索弄断，可以握住绳索的两端，并朝两个方向各施加10千克的力。如果不想采取这种方式，那么也可以先将绳索的一端固定在嵌入墙体的钉子上，然后双手对另一端施加20千克的力。

在第二种情况下，绳索所受的力会更大些吗？

【解】无论是握住绳索的两端，朝两个方向各施加10千克的力，还是先将绳索的一端固定在嵌入墙体的钉子上，然后双手对另一端施加20千克的力，人们都会觉得，两条绳索受到的拉力会是一样的。第一种情况下，两个施加在绳索两端的10千克的力会产生一个20千克的拉力，而第二种情况下，固定的那端的拉力也会达到20千克。

这样的分析太具有迷惑性了。在上述两种情况下，绳索的拉力是完全不相等的。第一种情况下，绳两端各受力10千克，第二种情况下，绳两端各受力20千克，因为此时手的力引发了相等的来自墙体的反作用力。所以，第二次绳索受到的拉力是第一次的2倍。

但是，如果同样确定那根绳索受到的拉力大小又很有可能犯新的错误。设想下，绳索被拉断后，将其任意两端系到弹簧秤上，一端系到环上，一端系到钩上。每次弹簧显示的刻度是多少？有人错误地认为，第一次的弹簧刻度会是20千克，第二次是40千克。但实际上两个固定在绳索两端的均为10千克的反方向的力产生的力不是20千克，而总共只有10千克。两个拉断绳索的均为10千克的反方向的力是什么力呢？不是别的，正是我们所称的“10千克的力”。不存在其他的10千克的力，因为每个力都有两端。如果换种情况，即在我们面前的是普通的力，而非双向的，那么该力