

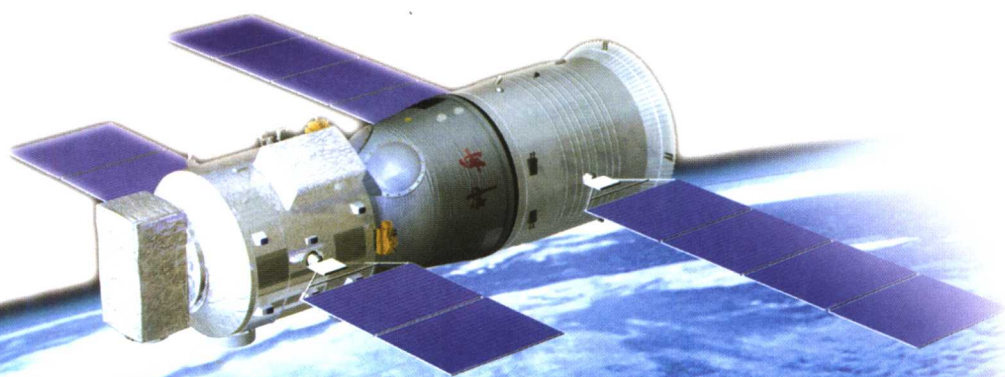
经全国中小学教材审定委员会
2004年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理 2

必修

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



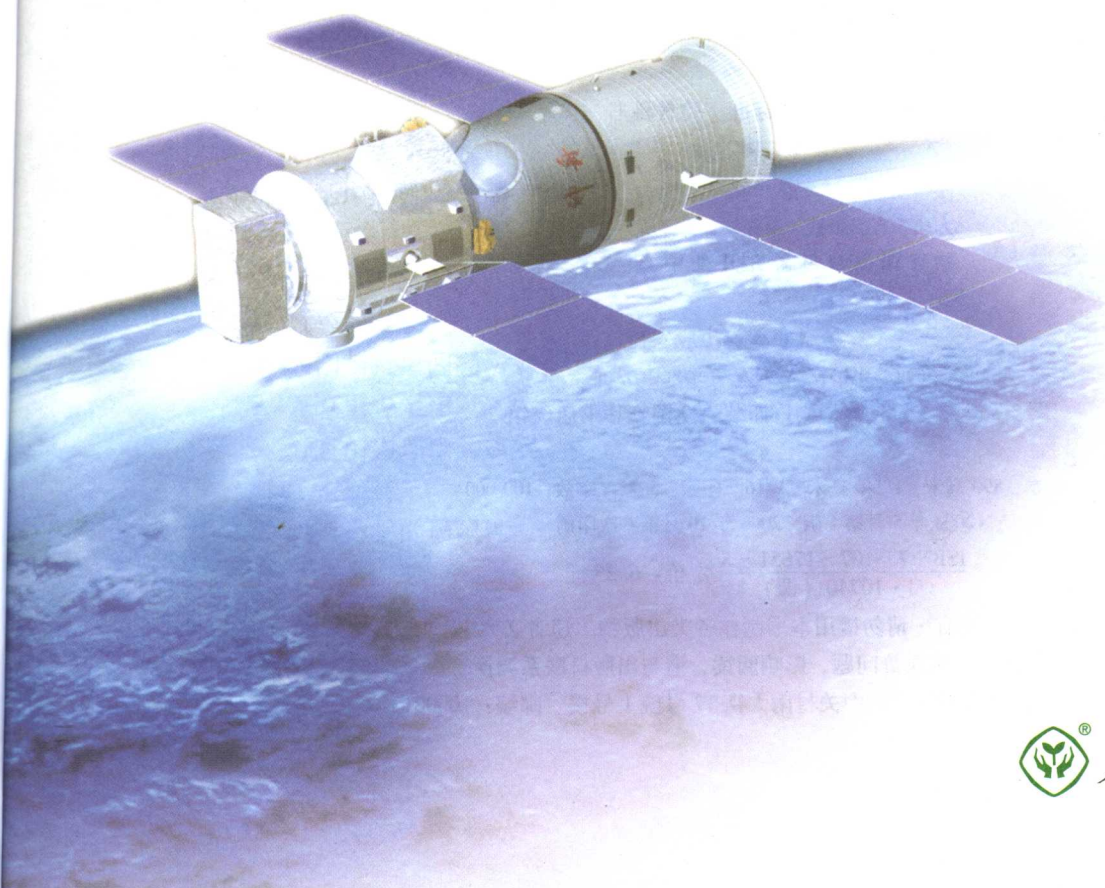
人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书

物理 2

必修

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



人民教育出版社

总 主 编：张大昌

副总主编：彭前程

主 编：张维善

执笔人员：黄恕伯 孙 新 张维善

绘 图：王凌波 张傲冰 张 良

责任编辑：张 颖

版式设计：马迎莺

审 读：王存志

普通高中课程标准实验教科书

物理 2

必 修

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心 编著

*

人民教育出版社出版发行

网址：http://www.pep.com.cn

人民教育出版社印刷厂印装 全国新华书店经销

*

开本：890 毫米×1 240 毫米 1/16 印张：5.75 字数：100 000

2004 年 5 月第 1 版 2006 年 10 月第 4 次印刷

ISBN 7-107-17651-X 定价：6.25 元
G·10740 (课)

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版科联系调换。

(联系地址：北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼 邮编：100081)

目 录

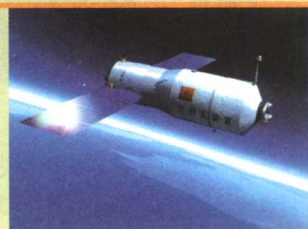
第五章 机械能及其守恒定律	1
1. 追寻守恒量	2
2. 功	3
3. 功率	7
4. 重力势能	10
5. 探究弹性势能的表达式	14
6. 探究功与物体速度变化的关系	16
7. 动能和动能定理	18
8. 机械能守恒定律	22
9. 实验：验证机械能守恒定律	26
10. 能量守恒定律与能源	27



第六章 曲线运动	31
1. 曲线运动	32
2. 运动的合成与分解	34
3. 探究平抛运动的规律	38
4. 抛体运动的规律	41
5. 圆周运动	44
6. 向心加速度	48
7. 向心力	52
8. 生活中的圆周运动	56



第七章 万有引力与航天	61
1. 行星的运动	62
2. 太阳与行星间的引力	67
3. 万有引力定律	69
4. 万有引力理论的成就	72
5. 宇宙航行	74
6. 经典力学的局限性	79



课题研究	85
课外读物及网站推荐	87



物理学的任务是发现普遍的自然规律。因为这样的规律的最简单的形式之一表现为某种物理量的不变性，所以对于守恒量的寻求不仅是合理的，而且也是极为重要的研究方向。

——劳厄^①

第五章

机械能及其守恒定律



任何人类活动都离不开能量。例如，现代化的生活离不开电厂供应的电能；现代交通离不开汽油燃烧释放的化学能；核电站要利用某些原子核裂变时释放的核能；人类生活需要摄入食物中的化学能；植物的生长依赖太阳能……

在长期科学实践中，人类已经建立起各种形式的能量概念及其量度的方法，如动能、势能、电磁能、核能等等，并且发现不同形式的能量可以互相转化，在转化过程中遵从能量守恒这个基本原理。

这章我们要研究的，就是动能、势能及其相互转化的规律。

^① 劳厄 (Max Theodor Felix von Laue, 1879—1960)，德国物理学家，诺贝尔物理学奖获得者。他首先用晶体对 X 射线的衍射来研究晶体，并由此证明了 X 射线的波动性。

1

追寻守恒量

诺贝尔物理学奖获得者费恩曼曾说：“有一个事实，如果你愿意，也可说一条定律，支配着至今所知的一切自然现象……这条定律称做能量守恒定律。它指出有某一个量，我们把它称为能量，在自然界经历的多种多样的变化中它不变化。那是一个最抽象的概念……”

然而，正是这个最抽象的概念，却是物理学中最重要，意义也最深远的概念之一。

“能量”是牛顿没有留给我们的少数力学概念之一，但是在牛顿之前，我们就能发现它的萌芽。能量及其守恒的思想，在伽利略的实验中(图5.1-1)已经显现出来了。

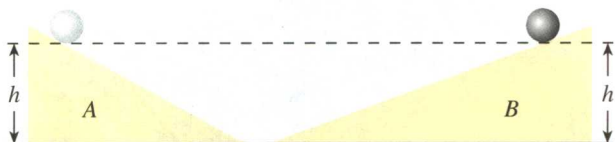


图5.1-1 小球速度变为0时的高度与它出发时的高度相同

科学概念的力量在于它具有解释和概括一大类自然现象的能力。在这方面能量概念的作用十分独特。

在这个实验中，小球一滚下斜面A，它就要继续滚上另一个斜面B。重要的是，伽利略发现了具有启发性的事实：无论斜面B比斜面A陡些或缓些，小球最后总会在斜面上的某点速度变为0，这点距斜面底端的竖直高度与它出发时的高度相同。看起来，小球好像“记得”自己起始的高度。然而，“记得”并不是物理学的语言。在物理学中，我们把这一事实说成是“有某一量是守恒的”，并且把这个量叫做**能量(energy)**或**能**。

当伽利略把小球从桌面提高到起始点的高度时，他赋予小球一种形式的能量，我们称它为**势能(potential energy)**，并且可以说：**相互作用的物体凭借其位置而具有的能量叫做势能**。

当伽利略释放小球后，小球开始运动，获得速度，当它到达斜面的底部时，已经处于桌面的平面上。以前由于它在桌面上方的某一高度而具有的势能，现在已经消失。但是，小球获得了运动。这个事实可以理解为，势能并未丢失，而是转化成另一种形



图5.1-2 被举高的物体具有势能



图5.1-3 运动的物体具有动能

式的能量，我们称它为**动能(kinetic energy)**，并且可以说：物体由于运动而具有的能量叫做动能。

当小球继续沿斜面 B 升高时，它会变慢，因而不断失去动能；但它的高度在增加，势能不断被“回收”。当小球速度变为0时，其全部动能都转化成势能，小球相对桌面的高度又达到它在实验起始时的高度。

如果不采用能量的概念，我们也可以利用以前的语言来描述这个实验。我们可以说：“为了提高小球，伽利略施加了与重力相反的力。当他释放小球时，重力使小球滚下斜面。在斜面的底部，小球由于惯性而滚上斜面 B 。”

但是，这样的描述不能表达一个最重要的事实：如果空气阻力和摩擦力小到可以忽略，小球必将准确地终止于同它开始点相同的高度，决不会更高一点，也决不会更低一点。这说明某种“东西”在小球运动过程中是不变的，这个“东西”就是能量。

引入能量的概念是在物理学发展中追寻守恒量的一个重要事例。

伽利略的斜面实验使人们认识到引入能量概念的重要性，同时也提出了值得思考的问题：势能和动能如何定量地量度？势能和动能的转化是怎样进行的？

问题与练习

举出生活中的一个例子，说明不同形式的机械能之间可以相互转化。你的例子是否向我们提示，转化过程中能的总量保持不变？

2

功

功

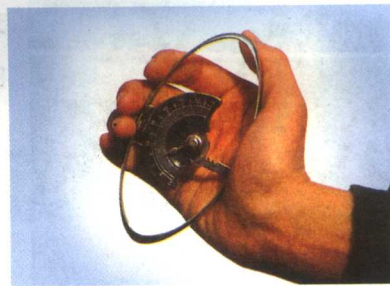
在认识能量的历史过程中，人们建立了**功(work)**的概念，因而功和能是两个密切联系的物理量，即如果物体在力的作用下能量发生了变化，那么这个力一定对物体做了功。



甲 货物在起重机的作用下重力势能增加了



乙 列车在机车牵引下动能增加了



丙 握力器在手的压力下弹性势能增加了

图 5.2-1 如果物体在力的作用下能量发生了变化, 这个力一定对物体做了功。

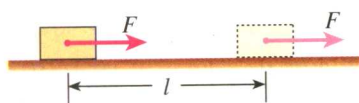


图 5.2-2 如果力的方向与位移的方向一致, 功等于力的大小与位移大小之积。

如果物体在力的作用下位移增加了 Δl , 那么力所做的功相应地增加 $\Delta W = F \Delta l$ 。

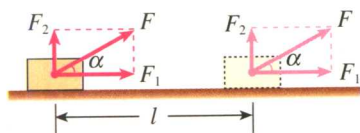


图 5.2-3 当力与位移之间有夹角 α 时, 力所做的功是 $W = Fl \cos \alpha$ 。

在学习初中物理时我们就已经跨越了历史的长河, 认识到, 一个物体受到力的作用, 并在力的方向上发生了一段位移, 这个力就对物体做了功。起重机提起货物, 货物在起重机拉力的作用下发生一段位移, 拉力就对货物做了功。列车在机车的牵引力作用下发生一段位移, 牵引力就对列车做了功。用手压缩弹簧时, 弹簧在手的压力下发生形变, 也就是产生了一段位移, 压力就对弹簧做了功。可见, **力和物体在力的方向上发生的位移, 是做功的两个不可缺少的因素。**

在物理学中, 如果力的方向与物体运动的方向一致, 如图 5.2-2, 我们就说: 功等于力的大小与位移大小的乘积。用 F 表示力的大小, 用 l 表示位移的大小, 用 W 表示力 F 所做的功, 则有

$$W = Fl$$

当力 F 的方向与运动方向成某一角度时(图 5.2-3), 可以把力 F 分解为两个分力: 跟位移方向一致的分力 F_1 , 跟位移方向垂直的分力 F_2 。设物体在力 F 的作用下发生的位移的大小是 l , 则分力 F_1 所做的功等于 $F_1 l$ 。分力 F_2 的方向跟位移的方向垂直, 物体在 F_2 的方向上没有发生位移, F_2 所做的功等于 0。因此, 力 F 对物体所做的功 W 等于 $F_1 l$, 而 $F_1 = F \cos \alpha$, 所以

$$W = Fl \cos \alpha \quad (1)$$

这就是说, **力对物体所做的功, 等于力的大小、位移的大小、力与位移夹角的余弦这三者的乘积。**

功是标量。在国际单位制中, 功的单位是**焦耳(joule)**, 简称**焦**, 符号是**J**。1 J 等于 1 N 的力使物体在力的方向上发生 1 m 的位移时所做的功, 所以

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

正功和负功

现在我们讨论一个力做功时可能出现的各种情形。

(1) 当 $\alpha = \frac{\pi}{2}$ 时, $\cos \alpha = 0$, $W = 0$ 。这表示力 F 的方向跟位移 l 的方向垂直时, 力 F 不做功。例如, 物体在水平桌面上运动, 重力 G 和支持力 F_N 都跟位移方向垂直, 这两个力都不做功(图5.2-4)。

(2) 当 $\alpha < \frac{\pi}{2}$ 时, $\cos \alpha > 0$, $W > 0$ 。这表示力 F 对物体做正功。例如, 人用力拉车前进时, 人的拉力 F 对车做正功(图5.2-5)。

(3) $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$ 时, $\cos \alpha < 0$ ^①, $W < 0$ 。这表示力对物体做负功。例如, 推着小车跑动的人, 到达目的地减速时, 人向后拉车的力 F 对车做负功(图5.2-6)。

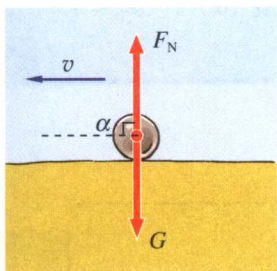


图5.2-4 $\alpha = \frac{\pi}{2}$, 重力、支持力不做功。

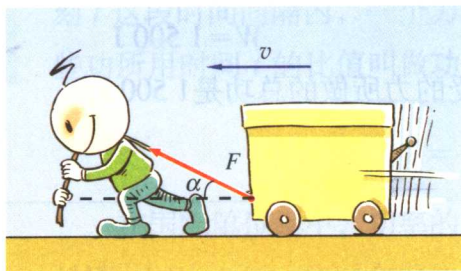


图5.2-5 $\alpha < \frac{\pi}{2}$, 人的拉力做正功。

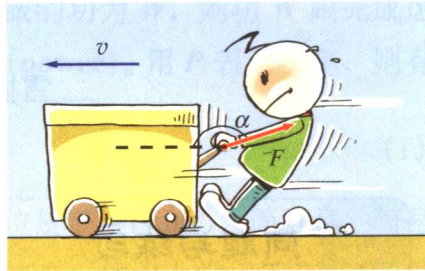


图5.2-6 $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$, 人的拉力做负功。

某力对物体做负功, 往往说成“物体克服某力做功”(取绝对值)。这两种说法的意义是等同的。例如, 竖直向上抛出的球, 在向上运动的过程中, 重力对球做负功, 可以说成“球克服重力做功”。汽车关闭发动机以后, 在阻力的作用下逐渐停下来, 阻力对汽车做负功, 可以说“汽车克服阻力做功”。

当物体在几个力的共同作用下发生一段位移时, 这几个力对物体所做的总功, 等于各个力分别对物体所做功的代数和。可以证明, 它也就是这几个力的合力对物体所做的功。

做一做^②

证明: 几个力对一个物体做功的代数和, 等于这几个力的合力对这个物体所做的功。

例题 一个质量 $m = 150 \text{ kg}$ 的雪橇, 受到与水平方向成 $\theta = 37^\circ$ 角斜向上方的拉力 $F = 500 \text{ N}$, 在水平地面上移动的距离

① 大于 $\frac{\pi}{2}$, 小于或等于 π 的角, 它的余弦是负数。这个结论在数学课中可以学到。

② 本书中, “做一做”栏目和“说一说”栏目, 其中的内容是扩展性的, 不是基本教学内容。同学们可根据自己的条件在老师的指导下选择学习。

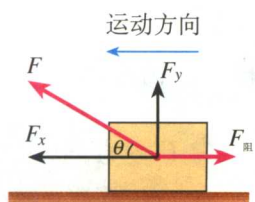


图5.2-7 求拉力和摩擦力对雪橇所做的总功

$l = 5 \text{ m}$ (图5.2-7)。物体与地面间的滑动摩擦力 $F_{\text{阻}} = 100 \text{ N}$ 。求力对物体所做的总功。

分析 雪橇受到的重力与支持力沿竖直方向，不做功。拉力 F 可分解为水平方向和竖直方向的两个分力，竖直方向的分力与运动方向的夹角为 90° ，不做功，所以力对物体所做的总功为拉力的水平分力和阻力所做的功的代数和。

解 拉力在水平方向的分力为 $F_x = F \cos 37^\circ$ ，它做的功为

$$W_1 = F_x l = Fl \cos 37^\circ$$

摩擦力与运动方向相反，它做的功为负功

$$W_2 = -F_{\text{阻}} l$$

力对物体所做的总功为二者之和，即

$$W = W_1 + W_2 = Fl \cos 37^\circ - F_{\text{阻}} l$$

把数值代入，得

$$W = 1500 \text{ J}$$

雪橇受的力所做的总功是 1500 J 。

问题与练习

1. 图 5.2-8 表示物体在力 F 的作用下在水平面上发生了一段位移 l ，分别计算这三种情形下力对物体做的功。设这三种情形下力和位移的大小都相同： $F = 10 \text{ N}$ ， $l = 2 \text{ m}$ 。角 θ 的大小如图所示。

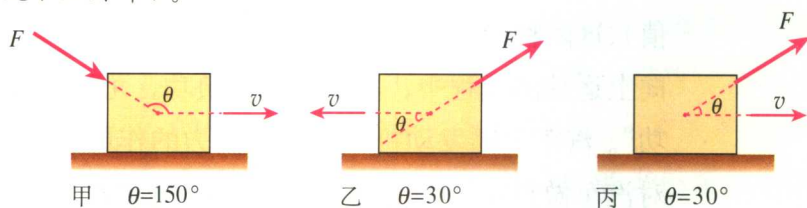


图 5.2-8 分别计算力 F 所做的功

2. 用起重机把重量为 $2.0 \times 10^4 \text{ N}$ 的物体匀速地提高了 5 m ，钢绳的拉力做了多少功？重力做了多少功？物体克服重力做了多少功？这些力所做的总功是多少？
3. 一位质量 $m = 60 \text{ kg}$ 的滑雪运动员从高 $h = 10 \text{ m}$ 的斜坡自由下滑。如果运动员在下滑过程中所受到的阻力 $F = 50 \text{ N}$ ，斜坡的倾角 $\theta = 30^\circ$ ，运动员滑至坡底的过程中，所受的几个力所做的功各是多少？这些力所做的总功是多少？
4. 一个重量为 10 N 的物体，在 15 N 的水平拉力的作用下，一次在光滑水平面上移动 0.5 m ，另一次在粗糙水平面上移动相同的距离，粗糙面与物体间的动摩擦因数为 0.2 。在这两种情况下，拉力所做的功各是多少？拉力所做的功是否相同？各个力对物体所做的总功是否相同？

3

功率

功率

力是一个物体对另一物体的作用，所以，我们说力对物体做功，实际上是指一个物体对另一个物体做功。

不同物体做相同的功，所用的时间往往不同，也就是说，做功的快慢并不相同。一台起重机能在1 min内把1 t 货物提到预定的高度，另一台起重机只用30 s 就可以做相同的功，第二台起重机比第一台做功快一倍。

“从开始计时到时刻 t ”
这段时间间隔为 $t - 0$ ，就等于 t 。

在物理学中，做功的快慢用功率表示。如果从开始计时到时刻 t 这段时间间隔内，一个力所做的功为 W ，则功 W 跟完成这些功所用时间 t 的比值叫做**功率(power)**。用 P 表示功率，则有

$$P = \frac{W}{t} \quad (1)$$

在国际单位制中，功率的单位是**瓦特(watt)**，简称瓦，符号是W。1 W=1 J/s。瓦这个单位比较小，技术上常用**千瓦(kW)**做功率的单位，1 kW = 1 000 W。

说一说^①

各种机器实际输出的功率常随时间变化，因此有平均功率与瞬时功率之分。(1)式中， t 等于从计时开始到时刻 t 的时间间隔， W 是力在这段时间内做的功，所以(1)式中的 P 实际上是这段时间的平均功率。如果我们要表示瞬时功率与功、时间的关系，(1)式应该怎样改写？

额定功率和实际功率

电动机、内燃机等动力机械都标有额定功率，这是在正常条件下可以长时间工作的最大功率。实际输出功率往往小于这个数值。例如，某汽车内燃机的额定功率是97 kW，但在平直公路上中速行驶时，发动机实际输出的功率只有20 kW左右。在特殊情况下，例如越过障碍时，司机通过增大供油量可以使实际输出的功率大于额定功率，但这对发动机有害，只能工作很短时间，而且要尽量避免。

有些动力机械的技术参数表只给出最大功率，没有额定功率。

① 本书中，“说一说”栏目和“做一做”栏目，其中的内容是扩展性的，不是基本教学内容。同学们可根据自己的条件在老师的指导下选择学习。

功率与速度

力、位移、时间都与功率相联系。这种联系在技术上具有重要意义。

如果物体沿位移方向受的力是 F ，从计时开始到时刻 t 这段时间内，发生的位移是 l ，则力在这段时间所做的功 $W = Fl$ ，根据(1)式，有

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fl}{t}$$

由于位移 l 是从开始计时到时刻 t 这段时间内发生的，所以 $\frac{l}{t}$ 是物体在这段时间内的平均速度，即 $\frac{l}{t} = v$ ，于是上式可以写成

$$P = Fv \quad (2)$$

可见，一个力对物体做功的功率，等于这个力与受力物体运动速度的乘积。

做一做

在 $P = Fv$ 中，速度 v 是物体的平均速度，所以这里的功率 P 是指从计时开始到时刻 t 的平均功率。实际上，这个关系式也反映了瞬时速度与瞬时功率的关系。你可以试着推导这个结论。要注意下面两点。

(1) 如果 Δt 时间内做的功是 ΔW ，那么当 Δt 很短很短时， $P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ 表示的就是瞬时功率。

(2) 如果力的大小是 F ，在上述 Δt 时间内，在力的方向上发生的位移是 Δl ，那么，力 F 做的功是 $\Delta W = F\Delta l$ 。

从 $P = Fv$ 可以看出，汽车、火车等交通工具和各种起重机械，当发动机的功率 P 一定时，牵引力 F 与速度 v 成反比，要增大牵引力，就要减小速度。

汽车发动机的转动通过变速箱中的齿轮传递到车轮上，转速比可以通过变速杆来改变。发动机输出的功率不能无限地增大，所以汽车上坡时，司机要用“换挡”的办法减小速度，来得到较大的牵引力。在平直公路上，汽车受到的阻力较小，这时就可以使用

甲 手动变速杆



乙 有些汽车的转速比可以根据车速自动改变，但司机也能通过这个操纵杆进行干预。



图 5.3-1 汽车的变速杆



图 5.3-2 汽车爬坡时必须使用低速挡

高速挡,在发动机功率相同的情况下可以使汽车获得较高的速度。

然而,在发动机功率一定时,通过减小速度提高牵引力或通过减小牵引力而提高速度,效果都是有限的。所以,要提高速度和增大牵引力,必须提高发动机的额定功率,这就是高速火车、汽车和大型舰船需要大功率发动机的原因。

例题 某型号汽车发动机的额定功率为60 kW,在水平路面上行驶时受到的阻力是1 800 N,求发动机在额定功率下汽车匀速行驶的速度。在同样的阻力下,如果行驶速度只有54 km/h,发动机输出的实际功率是多少?

分析 发动机的额定功率是汽车长时间行驶时所能发出的最大功率。实际功率不一定总等于额定功率,大多数情况下输出的实际功率都比额定功率小,但在需要时,短时间也可以输出更大的功率。这个例题的两问分别属于两种不同的情况,这点应该注意。

此外,同一辆汽车,速度越大时空气的阻力越大,题中说“在同样的阻力下”,表明本题对于较低速度行驶时发动机的功率只是一种估计。

解 汽车在水平路面上以额定功率 $P = 60 \text{ kW}$ 匀速行驶时,受到的阻力是 $F = 1\,800 \text{ N}$ 。由于

$$P = Fv$$

所以

$$v = \frac{P}{F} = \frac{60\,000}{1\,800} \text{ m/s} = 33.3 \text{ m/s} = 120 \text{ km/h}$$

以较低的速度行驶时

$$v = 54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}$$

于是

$$P = Fv = 1\,800 \times 15 \text{ W} = 27 \text{ kW}$$

如果汽车加速行驶,结果会有什么不同?

做一做

你家里可能有洗衣机、理发用的吹风机,还可能有吸尘器、电动剃须刀;附近的机井上面有水泵,拖拉机、汽车上面有发动机,小工厂里面有电动机……

调查你周围的各种机械的功率。机械的功率与它们的体积有没有关系?与它们的耗电量(耗油量)有没有关系?

如果能够见到的机械很少,你还有别的办法。可以收集各种说明书,也可以从报纸的广告上了解它们的功率,并能了解到功率的大小与它们的效能之间的某种联系。

问题与练习

1. 一台电动机工作时的功率是 10 kW, 要用这台电动机匀速提升 2.7×10^4 kg 的货物, 提升的速度将是多大?
2. 一台抽水机每秒能把 30 kg 的水抽到 10 m 高的水塔上, 不计额外功的损失, 这台抽水机输出的功率是多大? 如果保持这一输出功率, 半小时内能做多少功?
3. 有一个力 F , 它在不断增大。某人以此为条件, 应用 $P = Fv$ 进行了如下推导。

根据 $P = Fv$, F 增大则 P 增大; 又根据 $v = \frac{P}{F}$, P 增大则 v 增大; 再根据 $F = \frac{P}{v}$, v 增大则 F 减小。

这个人推导的结果与已知条件相矛盾。他错在哪里?

4. 质量为 m 的汽车在平直公路上行驶, 阻力 F 保持不变。当它以速度 v 、加速度 a 加速前进时, 发动机的实际功率正好等于额定功率, 从此时开始, 发动机始终在额定功率下工作。
 - (1) 汽车的加速度和速度将如何变化? 说出理由。
 - (2) 如果公路足够长, 汽车最后的速度是多大?

4

重力势能

正如前述, 物体由于被举高而具有重力势能。物体的高度发生变化时, 重力要做功: 物体被举高时, 重力做负功; 物体下降时, 重力做正功。因此, 认识这种势能, 不能脱离对重力做功的研究。



图 5.4-1 物体竖直向下运动, 高度从 h_1 降为 h_2 。

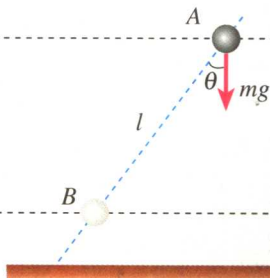


图 5.4-2 物体沿倾斜直线向下运动, 高度从 h_1 降为 h_2 。

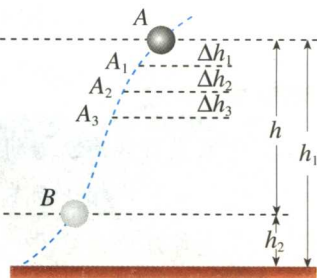


图 5.4-3 物体沿任意路径向下运动, 高度从 h_1 降为 h_2 。(图中没有画出重力的方向。)

重力的功

设一个质量为 m 的物体, 从高度是 h_1 的位置, 竖直向下运动到高度是 h_2 的位置, 如图5.4-1, 这个过程中重力做的功是

$$W_G = mgh = mgh_1 - mgh_2$$

再看另一种情况。质量为 m 的物体仍然从上向下运动, 高度由 h_1 降为 h_2 , 但这次不是沿竖直方向, 而是沿着倾斜的直线向下运动, 如图 5.4-2。

物体沿倾斜直线运动的距离是 l , 在这一过程中重力所做的功是

$$W_G = mg \cos \theta \cdot l = mgh = mgh_1 - mgh_2$$

这两种情况下, 尽管物体运动的路径不同, 但高度的变化是一样的, 而重力所做的功也是一样的。

假设这个物体沿任一路径由高度是 h_1 的起点 A , 运动到高度是 h_2 的终点 B , 如图5.4-3。

我们把整个路径分成许多很短的间隔

$$AA_1, A_1A_2, A_2A_3, \dots$$

由于每一段都很小很小, 它们都可以近似地看做一段倾斜的直线。设每段小斜线的高度差分别是

$$\Delta h_1, \Delta h_2, \Delta h_3, \dots$$

则物体通过每段小斜线时重力所做的功分别为

$$mg\Delta h_1, mg\Delta h_2, mg\Delta h_3, \dots$$

物体通过整个路径时重力所做的功, 等于重力在每小段上所做的功的代数和, 即

$$\begin{aligned} W_G &= mg\Delta h_1 + mg\Delta h_2 + mg\Delta h_3 + \dots \\ &= mg(\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \dots) \\ &= mgh \\ &= mgh_1 - mgh_2 \end{aligned}$$

这里的分析表明, 物体运动时, 重力对它做的功只跟它的起点和终点的位置有关, 而跟物体运动的路径无关, 功的大小等于物重跟起点高度的乘积 mgh_1 与物重跟终点高度的乘积 mgh_2 两者之差。

看起来, 物体所受的重力 mg 与它所处位置的高度 h 的乘积 “ mgh ”, 是一个具有特殊意义的物理量。

重力势能

mgh 这个物理量的特殊意义在于它一方面与重力所做的功密切

斜面是否光滑对计算
“重力的功”有影响吗?

相关,另一方面它随着高度的变化而变化,恰与势能的基本特征一致。因此,我们把物理量 mgh 叫做物体的**重力势能**(**gravitational potential energy**),常用 E_p 表示,即

$$E_p = mgh \quad (1)$$

上式表明,物体的重力势能等于它所受重力与所处高度的乘积。

与其他形式的能一样,重力势能也是标量,其单位与功的单位相同,在国际单位制中都是焦耳,符号为J。 $1\text{ J} = 1\text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{m} = 1\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

有了重力势能的表达式,重力做的功与重力势能的关系可以写为

$$W_G = E_{p1} - E_{p2} \quad (2)$$

其中 $E_{p1} = mgh_1$ 表示物体在初位置的重力势能, $E_{p2} = mgh_2$ 表示物体在末位置的重力势能。

当物体由高处运动到低处时,重力做正功,重力势能减少,也就是 $W_G > 0$, $E_{p1} > E_{p2}$ 。这时,重力势能减少的数量等于重力所做的功。

当物体由低处运动到高处时,重力做负功(物体克服重力做功),重力势能增加,也就是 $W_G < 0$, $E_{p1} < E_{p2}$ 。这时,重力势能增加的数量等于克服重力所做的功。

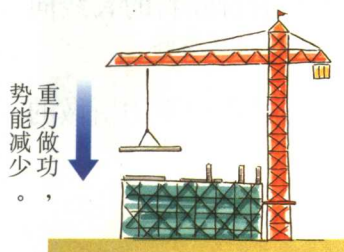


图 5.4-4 物体向下运动,重力做正功,势能减少。

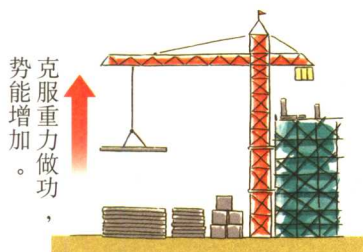


图 5.4-5 物体向上运动,重力做负功,势能增加。

说一说

如果重力的功与路径有关,即对应于同样的起点和终点,重力对同一物体所做的功,随物体运动路径的不同而不同,我们还能把 mgh 叫做物体的重力势能吗?为什么?

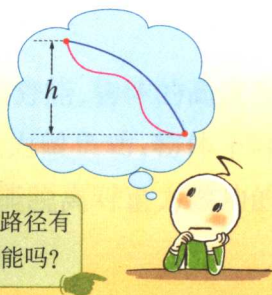


图 5.4-6 如果重力做功与路径有关,还能把 mgh 叫做重力势能吗?

重力势能的相对性

物体的高度 h 总是相对于某一水平面来说的,实际上是把这个水平面的高度取做0。因此,物体的重力势能也总是相对于某一水平面来说的,这个水平面叫做参考平面。在参考平面,物体的重力势能为0。

选择哪个水平面做参考平面,可视研究问题的方便而定。通常选择地面为参考平面。

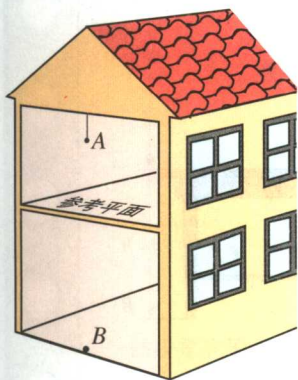


图5.4-7 以二楼的地面做参考平面，二楼房间里的物体A具有正的重力势能，一楼房间里的物体B具有负的重力势能。

选择不同的参考平面，物体的重力势能的数值是不同的，但这并不影响问题的研究，因为在与重力势能相关的问题中，有确定意义的是势能的差值，选择不同的参考平面对这个差值没有影响。

对选定的参考平面而言，上方物体的高度是正值，重力势能也是正值；下方物体的高度是负值，重力势能也是负值。重力势能为负，表示物体在这个位置具有的重力势能比在参考平面上具有的重力势能要少。

势能是系统所共有的

必须指出的是，重力势能跟重力做功密切相关，而重力是地球与物体之间的相互作用力。也就是说，倘若没有地球，就谈不上重力。所以，严格说来，重力势能是地球与物体所组成的这个物体“系统”所共有的，而不是地球上的物体单独具有的。

除了重力势能，还有其他形式的势能。任何形式的势能，都是相应的物体系统由于其中各物体之间，或物体内的各部分之间存在相互作用（力）而具有的能，是由各物体的相对位置决定的。例如，分子之间由于存在相互作用而具有势能，叫做分子势能，由分子间的相对位置决定；电荷之间由于存在相互作用而具有势能，叫做电势能，由电荷间相对位置决定。分子势能或电势能分别属于分子或电荷组成的系统，不是一个分子或一个电荷单独具有的。

问题与练习

1. 图 5.4-8 是几个斜面，它们的高度相同，倾角不同。让质量相同的物体沿斜面由静止从顶端运动到底端。试根据功的定义式计算沿不同斜面运动时重力做的功，以证明这个功与斜面的倾角无关。

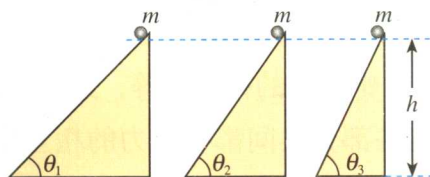


图 5.4-8 分别计算物体沿不同斜面运动时重力做的功



图 5.4-9 研究重力所做的功和足球的势能

2. 如图 5.4-9，质量为 m 的足球在地面 1 的位置被踢出后落到地面 3 的位置，在空中达到的最高点 2 的高度为 h 。