

新课标  
人教版



漫游课堂奇境 探寻考试法宝

# 课堂 笔记

课后练



## 高中物理

必修 2

凤凰出版传媒集团  
江苏文艺出版社  
JIANGSU LITERATURE AND ART  
PUBLISHING HOUSE



## 魔法学校校长的话

你也许属于魔法学校,埋藏在你心底的勇敢、智慧和胆识,能使你在魔法学校课堂上变得出类拔萃,拥有无穷的魔力。

学习有魔法吗?有人不信。然而,

工匠有奇技,

武士有高招,

艺人有绝活,

医生有偏方,

**学习当然也有诀窍。**

经验丰富的名师们手中就像拥有魔杖一样,多么愚钝的学生在他们的指引下也会变得聪慧起来;

久经考场的优生们怀里就像藏有宝典一样,无论多难的考试也难不住他们,分数总是那么遥遥领先。

魔法学校的宗旨就是集名师优生之所长,探寻学习奥秘,收罗高分法宝。《魔法学校系列丛书》之《课堂笔记》就是我们奉献给每一位学员的第一部宝典。

欢迎来到魔法学校,《课堂笔记》将指引你去体验精彩而富有挑战性的魔法之旅,相信你的学习魔力会不断升级!



# 用法指南

**问：**设计此书的目的是什么？

**答：**解决学生课堂学习的一个两难矛盾：以听为主，听而不记则忘，考试时望着空空的笔记本，一点抓手和依据都没有；以记为主，记而不思则罔，忙于记录必然挂一漏万，拣了芝麻丢了西瓜。《课堂笔记》较好地解决了这一难题：它呈现了教材的知识脉络，同时它又提供了空白，让学生补记教师授课的闪光点和自己的学习感悟。

**问：**此书的功能有哪些？

**答：**一方面，它可以在课堂上作为笔记本使用，学生不必机械地抄录板书，充分提高课堂学习的效率；另一方面，它又拥有强大的知识梳理功能，借助它，学生能迅速把握知识脉络，要点、考点一览无遗。

**问：**此书的结构有什么特点？

**答：**全书设计成三大模块。中间是书的主干部分，是课堂教学的纲要；第二模块是教师的旁注，主要是提醒学生应注意的问题，提示学生知识的延展；第三模块是学生的备注，留有空白供课堂记录。

**问：**此书的栏目名称非常新奇，它们有什么寓意吗？

**答：**既然是魔法学校的宝典，当然有点神秘、魔幻色彩了。

## 主栏目

**飞天杖**——从背景知识或实际问题引入，骑上它可以九天漫游；

**精华地**——萃取、浓缩、提炼的都是教学内容的精华；

**破釜吧**——重点问题、例题剖析，要动一番脑筋才能解决的噢；

**魔法石**——也即试金石，看看你对这些难题能解决多少。

## 小栏目

**沉思阁**——我思故我在，没有经过思考的知识是不可靠的；

**真假镜**——真理与谬误往往只有一步之遥，你能辨析出来吗？

**古灵苑**——点滴的知识、必备的资料和解题的要诀尽收苑中；

**点金帚**——巧妙的方法能够点石成金，愚钝变聪慧；

**百变篷**——万变不离其宗，把握了要点后还要能举一反三；

**3/4 站台**——虚拟站台开出的魔幻列车将直接链接考点和要点；

**禁林**——望文生义就知道是容易犯错误的地方，别进去吧；

**火龙令**——急急如令，提醒注意；

**好望角**——翘首远望，你将会有新的发现。

# 目录

## 第五章 机械能及其守恒定律

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 第1课  | 追寻守恒量 .....         | 001 |
| 第2课  | 功 .....             | 002 |
| 第3课  | 功率 .....            | 007 |
| 第4课  | 重力势能 .....          | 012 |
| 第5课  | 探究弹性势能的表达式 .....    | 016 |
| 第6课  | 探究功与物体速度变化的关系 ..... | 019 |
| 第7课  | 动能和动能定理 .....       | 020 |
| 第8课  | 机械能守恒定律 .....       | 024 |
| 第9课  | 实验:验证机械能守恒定律 .....  | 030 |
| 第10课 | 能量守恒与能源 .....       | 032 |
| 第11课 | 本章复习 .....          | 035 |
|      | 本章测试题 .....         | 038 |

## 第六章 曲线运动

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 第1课  | 曲线运动 .....            | 042 |
| 第2课  | 运动的合成与分解 .....        | 044 |
| 第3课  | 探究平抛运动的规律 .....       | 049 |
| 第4课  | 抛体运动的规律 .....         | 050 |
| 第5课  | 圆周运动 .....            | 056 |
| 第6课  | 向心加速度 .....           | 060 |
| 第7课  | 向心力 .....             | 064 |
| 第8课  | 生活中的圆周运动——铁路的弯道 ..... | 070 |
| 第9课  | 生活中的圆周运动——拱形桥 .....   | 072 |
| 第10课 | 航天器中的失重现象 .....       | 076 |
| 第11课 | 离心运动 .....            | 077 |
| 第12课 | 本章复习 .....            | 081 |
|      | 本章测试题 .....           | 086 |

## 第七章 万有引力与航天

|     |                 |     |
|-----|-----------------|-----|
| 第1课 | 行星的运动 .....     | 090 |
| 第2课 | 太阳与行星的引力 .....  | 093 |
| 第3课 | 万有引力定律 .....    | 095 |
| 第4课 | 万有引力理论的成就 ..... | 099 |
| 第5课 | 宇宙速度 .....      | 103 |
| 第6课 | 经典力学的局限性 .....  | 106 |
| 第7课 | 本章复习 .....      | 107 |
|     | 本章测试题 .....     | 113 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考答案 ..... | 117 |
|------------|-----|

## 第1课 追寻守恒量



## 飞天杖

自然界的现象是千变万化的,物理量的变化也是错综复杂的。但是,在自然界中会不会存在这样一个物理量,尽管其形式有多种且变化,但其总量保持不变?也就是说,会不会存在守恒量?本节课,我们就沿着前人的足迹去追守恒量。



## 精华地

## 1. 能量的概念的建立.

能量及其守恒的思想,早在伽利略斜面的理想实验就已呈现了:小球从一个光滑斜面滚上另一个光滑斜面,好像“记得”起始高度。我们欣喜地发现:这个现象说明了在这一过程中有一个“量”是守恒的,我们就把这个量叫做能量或能。

## 2. 势能、动能.

|    | 定义                 | 实例               |
|----|--------------------|------------------|
| 势能 | 相互作用的物体凭借其位置而具有的能量 | 重物被举高、弹簧被压缩、弓被张紧 |
| 动能 | 物体由于运动而具有的能量       | 飞行的导弹、奔驰的骏马、跑步的人 |

动能和势能是可以相互转化的,若没有其他形式的能的转化,其总量可以是恒定不变的。



## 破釜吧

**例** 把一个小球用细绳悬挂起来,将小球拉到一定的高度A点释放后,小球摆到另一侧与A点等高的C点,如图1甲所示。如果用尺在某一点挡住细线,小球虽不能摆到C点,但到达另一侧的高度依然与A点等高,如图1乙所示,这两个现象共同说明了什么问题?

**古灵苑** 物理概念的定义方法简介。

(1)直接定义法:根据物理现象或内涵直接下定义。例如,质量是物体所含物质的多少,温度是物体的冷热程度等。

(2)比值定义法:如密度  $\rho = \frac{m}{V}$ , 电阻  $R = \frac{U}{I}$ , 速度  $v = \frac{s}{t}$ , 加速度  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  等。

(3)累积定义法:如功  $W = Fs$ , 电功  $W = UIt$  等。

还有差值定义法、和值定义法、极限思维定义法等。本节课介绍的“能量”概念是从“守恒量”这个角度来定义的。

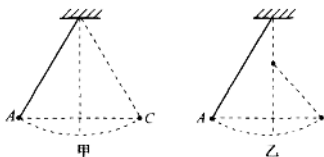


图 1

**析与解** 无论是甲图还是乙图,我们发现,小球从左侧最高点摆向最低点的过程中,势能不断减少,动能不断增加;小球从最低点摆向右侧最高点的过程中,动能不断减少,势能不断增加。同时注意到,右侧最高点与起始高度相同,即势能相同。因此上述现象说明,动能和势能可以相互转化,且动能和势能的总量保持不变。



## 魔法石

■ 什么叫做势能? 什么叫做动能?

■ 人们是从什么角度引入能量这个概念的? 试举两例说明能量在转化过程中其总量保持不变。

## 第 2 课 功



## 飞天杖

请举例说明“如果物体在力的作用下能量发生了变化,这个力就一定对物体做了功”。



## 精华地

## 1. 功的要素。

力和物体在力的方向上的位移。

## 2. 功的计算。

$$W = FL \cos \theta$$

**点金器** 通过对功的公式的两种解释,我们更清楚地看到:功具有相对性,在中学阶段, $L$  是相对地面的位移。

(1)关于  $\cos \theta$  的两种解释.

$W = FL \cos \theta$  式中的  $F \cos \theta$  可理解为力  $F$  在位移方向上的分力;  $W = FL \cos \theta$  式中的  $L \cos \theta$  可理解为位移  $L$  在力的方向上的位移.

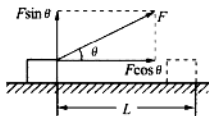
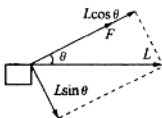


图 1



(2)功是标量.

(3)功的国际单位:焦耳(J),  $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

(4) $W = FL \cos \theta$  的适用条件:恒力做功(即力的大小和方向都保持不变).

(5)功是一个过程量,它与一段位移或一个物理过程相对应.

3. 功的正负.

(1)当  $0 \leq \theta < \pi/2$ ,  $\cos \theta > 0$ ,  $W > 0$ , 表示力对物体做正功.

(2)当  $\pi/2 < \theta \leq \pi$ ,  $\cos \theta < 0$ ,  $W < 0$ , 表示力对物体做负功, 往往也说是物体克服这个力做功(取绝对值).

4. 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.



### 破釜吧

**例 1** 如图 3 所示, 劈  $a$  放在光滑的水平桌面上, 把  $b$  物体放在劈的光滑的斜面上由静止滑下, 设在下滑的过程中,  $a$  对  $b$  的弹力对  $b$  做功为

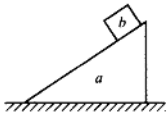


图 3

$W_1$ ,  $b$  对  $a$  的弹力对  $a$  做的功为  $W_2$ , 下列关系中正确的是 ( )

A.  $W_1 = 0, W_2 = 0$

B.  $W_1 > 0, W_2 > 0$

C.  $W_1 = 0, W_2 > 0$

D.  $W_1 < 0, W_2 > 0$

**析与解** 如图 4 甲所示, 物块  $b$  的初位置为  $A$  点, 末位置为  $B$  点, 从  $A$  到  $B$  的位移为  $s$ , 斜面对小物块  $b$  的作用力为  $N$ , 方向始终垂直斜面向上, 从地面看  $N$  与位移  $s$  方向间夹角为钝角, 所以斜面对物块  $b$  的作用力对物块  $b$  做的功不为零, 且为负值. 如图 4 乙所示, 物块  $b$  对斜面  $a$  的作用力垂直斜面斜向下, 与斜面的位移  $s'$  的方向间的夹角为锐角, 故对斜面做正功. 应选 D.

**评注** 本题易和斜面固定的情况混淆而错认为斜面对小物块  $b$  的作用力  $N$  不做功. 可见, 分析清楚物体的运动情况, 找准力的方向与位移的

← **已足够** 物体受几个力作用, 分别为  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ , 它们与位移  $s$  间的夹角分别为  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ .

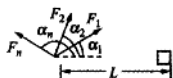


图 2

各力做功的代数和:

$$W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n = F_1 L \cos \alpha_1 + F_2 L \cos \alpha_2 + F_3 L \cos \alpha_3 + \dots + F_n L \cos \alpha_n.$$

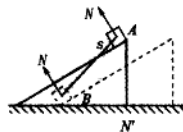
物体所受合力:

$$F_{\text{合}} = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 + F_3 \cos \alpha_3 + \dots + F_n \cos \alpha_n.$$

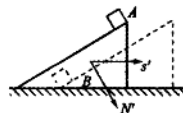
合力对物体所做的功:

$$W_{\text{合}} = F_{\text{合}} L = F_1 L \cos \alpha_1 + F_2 L \cos \alpha_2 + F_3 L \cos \alpha_3 + \dots + F_n L \cos \alpha_n.$$

故  $W_{\text{合}} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n$ . 上述结论只适用于某个质点, 对于弹簧、物体组等不一定适用.



甲



乙

图 4

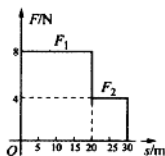


图 5

**【思维启迪】**  $F$  所做的功与  $F-s$  图线中所包围的面积有何关系?

**【古灵圣】** 恒力做功与物体移动路径无关。

当力的大小不变,而方向始终与运动方向相同或相反时,这类力的功等于力和路程(不是位移)的乘积,如滑动摩擦力、空气阻力等。

用“微元法”可将“变”转变为“不变”。

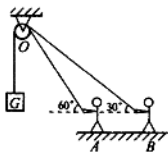


图 7

夹角是判断做功的关键。

**例 2** 如图 5 所示,图线表示作用在做直线运动的物体上的合外力与物体运动距离的对应关系,物体开始时处于静止状态,则当物体在外力的作用下运动 30 m 的过程中,合外力对物体做的功为 \_\_\_\_\_ J。

**析与解** 由题中给出的  $F-s$  图象知,物体在运动 30 m 的整个过程中,合外力是变力,不能直接用公式  $W = F s \cos \alpha$  来计算功。但可分成两个阶段,每个阶段  $F$  是恒定的,求出  $F$  在各阶段所做的功,再求出整个过程中  $F$  做的功。 $W_1 = F_1 s_1 = 8 \times 20 \text{ J} = 160 \text{ J}$ ,  $W_2 = F_2 s_2 = 4 \times (30 - 20) \text{ J} = 40 \text{ J}$ 。则物体运动 30 m 的过程中,合外力对物体做的功为  $W_1 + W_2 = 200 \text{ J}$ 。

**例 3** 如图 6,水平面上有一质量为  $m$  的物体在水平恒力  $F$  作用下,沿长度为  $L$  的弧线从 A 运动到 B, AB 间距离为  $d$ ,  $F$  与 AB 连线的夹角为  $\beta$ ,物体运动方向与轨迹相切。若物体与平面间的动摩擦因数为  $\mu$ ,则拉力  $F$  和摩擦力做的功分别为多少?

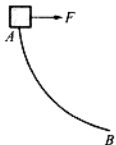


图 6

**析与解** 本题可用“微元法”,将变力  $f$  的功转变为恒力

功。由题意知,物体受的滑动摩擦力  $f$  的大小不变(等于  $\mu mg$ )、方向时刻变化(与运动方向相反,由题意可知与轨迹相切),是变力。但是,如果把弧线分成无数段小微元段,每一小段可近似看成小直线,从而摩擦力在每一小段上方向不变(与位移方向相反),每一小段上可用恒力做功的公式计算,然后各段累加起来,便可求得摩擦力做的功。

把弧线轨道分成  $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$  微元段,摩擦力在每一段上为恒力,则在每一段上做的功  $W_{f1} = -f s_1, W_{f2} = -f s_2, W_{f3} = -f s_3, \dots, W_{fn} = -f s_n$ , 摩擦力在整个过程中所做的功  $W_f = W_{f1} + W_{f2} + W_{f3} + \dots + W_{fn} = -f(s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n) = -\mu mg L$ 。

拉力  $F$  是恒力,它与每一微元段的位移方向间的夹角是不同的,每一微元段的位移在恒力  $F$  方向上的分量的和等于从 A 到 B 的总位移在恒力  $F$  方向上的分量。所以拉力  $F$  做的功为  $W_F = F d \cos \beta$ 。

**例 4** 人在 A 点拉着绳通过一定滑轮吊起质量为  $m = 50 \text{ kg}$  的物体,如图 7,开始绳与水平方向间的夹角为  $60^\circ$ ,当人匀速提起重物由 A 点沿水平方向运动  $s = 2 \text{ m}$  而到达 B 点,此时绳与水平方向成  $30^\circ$  角,那么人对绳的拉力做了多少功?

**析与解** 人对绳的拉力  $F$  大小虽然始终等于物体的重力,但方向却时刻在变,而已知的位移  $s$  又是人沿水平方向走的距离,所以无法利用  $W = F s \cos \alpha$  直接求拉力的功。若转换一下研究对象,则不难发现,绳对人的拉力  $T$  是恒力,这种转换研究对象的方法是求变力功的一种有效途径。

设滑轮距地面的高度为  $h$ , 则  $h(\cot 30^\circ - \cot 60^\circ) = AB = s$ .

人由  $A$  走到  $B$  的过程中, 重物  $G$  上升的高度  $\Delta h$  等于滑轮右侧绳子增加的长度, 即  $\Delta h = \frac{h}{\sin 30^\circ} - \frac{h}{\sin 60^\circ}$ .

人对绳子做的功为  $W = T\Delta h = G\Delta h$ .

代入数据可得  $W = 732 \text{ J}$ .

**例 5** 如图 8 所示, 恒力  $F$  拉细绳使物体在水平地面上产生位移  $s$ , 恒力  $F$  的方向与水平面间的夹角为  $\theta$ , 求此过程中恒力做的功.

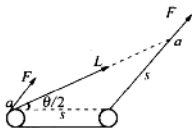


图 8

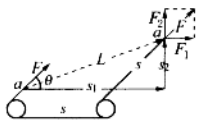


图 9

**析与解** 方法一: 本题中物体位移  $s$  与恒力作用点的位移  $L$  是不同的, 根据功的定义, 需要确定力的作用点的位移, 如图 8 所示, 由几何关系有  $L = 2s \cos \frac{\theta}{2}$ , 所以恒力做功为  $W = F \cdot L \cos \frac{\theta}{2} = 2F \cdot s \cos^2 \frac{\theta}{2}$ .

方法二: 根据合力的功等于它的所有分力的功的代数和求  $F$  做的功, 如图 9, 力作用点  $a$  的分位移  $s_1 = s + s \cdot \cos \theta$ ,  $s_2 = s \cdot \sin \theta$ , 力  $F$  的分力  $F_1 = F \cdot \cos \theta$ ,  $F_2 = F \cdot \sin \theta$ , 力  $F$  的功  $W = F_1 s_1 + F_2 s_2 = 2F \cdot s \cos^2 \frac{\theta}{2}$ .

**评注** 方法一是直接用功的定义求解的, 方法二是从合力做功与各分力做功的代数和是相等这个角度去求解的.



### 魔法石

■ 用钢索吊起质量为  $m$  的物体, 当物体以加速度  $a$  匀加速升高  $h$  时, 钢索对物体拉力做的功为 (不计空气阻力) ( )

- A.  $mgh$       B.  $mgh + mah$       C.  $m(g-a)h$       D.  $mah$

■ 质量为  $m$  的物体在水平力  $F$  的作用下, 沿粗糙的水平面运动, 下列说法中正确的是 ( )

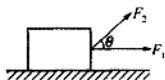
- A. 如果物体做加速直线运动,  $F$  一定对物体做正功  
B. 如果物体做减速直线运动,  $F$  一定对物体做负功  
C. 如果物体做减速直线运动,  $F$  可能对物体做正功  
D. 如果物体做匀速直线运动,  $F$  一定对物体做正功

■ 以一定的初速度竖直向上抛出一个小球, 小球上升的最大高度为  $h$ , 空气阻力的大小恒为  $F$ , 则从抛出到落回到抛出点的过程中, 空气阻

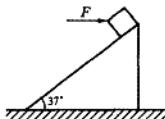
**10 反思** 若重物不是匀速上升, 人对绳的拉力  $F$  大小还等于物体的重力吗?



(第4题)



(第5题)



(第8题)



(第9题)

力对小球做的功为 ( )

- A. 0      B.  $-Fh$       C.  $Fh$       D.  $-2Fh$

■ 如图所示,质量为  $m$  的物体静止在倾角为  $\theta$  的斜面上,当斜面沿水平方向向右匀速移动了距离  $s$  时,物体  $m$  相对斜面静止,下列说法中不正确的是 ( )

- A. 摩擦力对物体  $m$  做功为 0      B. 合力对物体  $m$  做功为 0  
C. 摩擦力对物体  $m$  做负功      D. 弹力对物体  $m$  做正功

■ 如图所示,水平面上的物体受到力  $F_1$ 、 $F_2$  的作用,  $F_1$  水平向右,  $F_2$  与水平方向之间的夹角为  $\theta$ ,物体在运动过程中,力  $F_1$  与  $F_2$  的合力做功为  $W$ ,若物体一直沿水平地面运动,则力  $F_2$  对物体做的功为 ( )

- A.  $\frac{F_2 W}{F_1 + F_2}$       B.  $\frac{F_2 W \cos \theta}{F_1 + F_2}$   
C.  $\frac{F_1 W \cos \theta}{F_1 \cos \theta + F_2}$       D.  $\frac{F_2 W \cos \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta}$

■ 一个 60 kg 的人乘匀速上升的电梯从一楼到八楼,每层楼高 3 m,则电梯对人做功为 \_\_\_\_\_ J,重力对人做功为 \_\_\_\_\_ J,人受的合力对人做功为 \_\_\_\_\_ J,人对电梯的压力做功为 \_\_\_\_\_ J. (取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

■ 重 20 N 的铁球从离地面 40 m 高处由静止开始下落,若空气阻力是球重的  $1/5$ ,那么该球从开始下落到着地的过程中,重力对小球做功为 \_\_\_\_\_,空气阻力对小球做功为 \_\_\_\_\_,小球克服空气阻力做功为 \_\_\_\_\_.

■ 如图,用  $F = 40 \text{ N}$  的水平推力推一个质量  $m = 30 \text{ kg}$  的木块,使其沿着固定的斜面向上移动 2 m,木块和斜面间的动摩擦因数为  $\mu = 0.1$ ,则在这一过程中,  $F$  做的功为 \_\_\_\_\_ J,物体克服摩擦力做的功为 \_\_\_\_\_ J,重力做的功为 \_\_\_\_\_ J. (取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

■ 如图,长为  $L$  的木板  $B$  放在水平面上,可视为质点的质量为  $m$  的物体  $A$  放在  $B$  的左端,  $A$ 、 $B$  间的动摩擦因数为  $\mu$ .

- (1) 在  $A$  上加一恒定的水平拉力  $F$ ,使  $A$ 、 $B$  一起向右移动  $s$ ,则  $A$ 、 $B$  间的摩擦力对  $A$ 、 $B$  做的总功为多少?
- (2) 若将  $A$  从  $B$  的左端拉到  $B$  的右端,  $B$  的位移仍是  $s$ ,则  $A$ 、 $B$  间的摩擦力对  $A$  做的功为多少? 对  $B$  做的功为多少? 对  $A$ 、 $B$  做的总功为多少?
- (3) 通过该题,你对摩擦力做功有何认识?

## 第3课 功率



## 飞天杖

物理量的变化快慢往往是用单位时间内的物理量的变化来表示的。例如，速度用单位时间内的位移（位置的改变量）来表示，加速度用单位时间内的速度改变量来表示。同样，描述做功的快慢，我们用单位时间内做功的多少来表示，这就是功率。



## 精华地

## 1. 功率.

(1)定义：如果从开始计时到时刻  $t$  这段时间间隔内，一个合力做功为  $W$ ，则功  $W$  和完成这些功所需要的时间  $t$  比值叫做功率，用  $P$  表示，

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

(2)功率在数值上等于单位时间内所做的功，表示做功的快慢。

(3)在国际单位制中，功率的单位是瓦特(W)， $1\text{ W} = 1\text{ J/s}$ 。

常用的单位有千瓦(kW)， $1\text{ kW} = 1\,000\text{ W}$ 。

(4) $P = \frac{W}{t}$ 反映了平均每秒内力所做的功，是平均功率。

## 2. 额定功率与实际功率.

(1)额定功率：发动机(电动机、内燃机等)在正常工作条件下可以长时间工作的最大功率。

(2)实际功率：发动机实际工作的输出功率，特殊情况下可以短时间内超过额定功率，但这种情况应尽可能避免。

## 3. 功率与速度.

一个力对物体做功的功率，等于这个力与受力物体的运动速度的乘积，即

$$P = Fv.$$

若  $v$  是平均速度  $\bar{v}$ ，则  $P$  就是平均功率  $\bar{P}$ ，即

$$\bar{P} = F\bar{v}.$$

若  $v$  是瞬时速度  $v_t$ ，则  $P$  就是瞬时功率  $P_t$ ，即

$$P_t = Fv_t.$$

**沉思题** 如果要用  $P = \frac{W}{t}$

表示瞬时功率，又应如何处理呢？同学们可以从平均速度与瞬时速度的关系得到启发，令时间  $\Delta t = (t - 0) \rightarrow 0$ ，在这段极短的时间内，瞬时功率  $P_t$  可以认为是变不变的，等于这段时间内的平均功率，即  $P_t = \frac{W}{t} (t \rightarrow 0)$ 。

**好望角** 若  $v$  与  $F$  的方向不在同一直线上，成夹角  $\alpha$ ，功率  $P$  又如何表示呢？我们可以将  $v$  进行分解，得  $P = Fv\cos\alpha$ 。

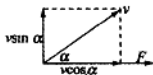


图 1



## 破釜吧

**例 1** 质量  $m=3\text{ kg}$  的物体, 在水平力  $F=6\text{ N}$  的作用下, 在光滑的水平面上从静止开始运动, 运动时间  $t=3\text{ s}$ , 求:

(1) 力  $F$  在  $t=3\text{ s}$  内对物体所做功的平均功率;

(2) 在  $3\text{ s}$  末力  $F$  对物体做功的瞬时功率.

**析与解** 物体在水平力  $F$  的作用下, 在光滑水平面上做初速度为零的匀加速直线运动, 根据牛顿第二定律可求出加速度  $a=\frac{F}{m}=2\text{ m/s}^2$ .

则物体在  $3\text{ s}$  末的速度  $v=at=6\text{ m/s}$ ,

物体在  $3\text{ s}$  内的位移  $s=\frac{1}{2}at^2=9\text{ m}$ ,

在  $3\text{ s}$  内力  $F$  做的功  $W=Fs=6\times 9\text{ J}=54\text{ J}$ .

(1) 力  $F$  在  $3\text{ s}$  内的平均功率  $P=\frac{W}{t}=\frac{54}{3}\text{ W}=18\text{ W}$ .

或  $P=F\bar{v}=F\cdot\frac{0+v}{2}=6\times\frac{6}{2}\text{ W}=18\text{ W}$ .

(2)  $3\text{ s}$  末力  $F$  的瞬时功率  $P=Fv=6\times 6\text{ W}=36\text{ W}$ .

**例 2** 汽车发动机的额定功率为  $60\text{ kW}$ , 汽车的质量为  $5\text{ t}$ , 汽车在水平路面上行驶时, 阻力是车重的  $0.1$  倍. 求:

(1) 汽车保持以额定功率从静止启动后能达到的最大速度是多少?

(2) 汽车从静止开始, 保持以  $0.5\text{ m/s}^2$  的加速度做匀加速运动, 这一过程能维持多长时间?

**析与解** (1) 汽车以额定功率从静止启动时, 由于功率恒定, 由  $P=Fv$  知, 随着汽车速度的增大, 汽车的牵引力变小. 当汽车的牵引力减小到与汽车所受到的阻力相等时, 加速过程终止, 汽车开始做匀速直线运动, 这时汽车的速度最大. 这一过程的  $v-t$  图象如图 2 所示. 由  $P=Fv=P_{\text{额}}$  可以得出汽车运动的最大速度

$$v_{\text{max}}=\frac{P_{\text{额}}}{F_{\text{阻}}}=\frac{P_{\text{额}}}{f}=\frac{6\times 10^4}{0.1\times 5\times 10^3\times 10}\text{ m/s}=12\text{ m/s}.$$

(2) 汽车做匀加速直线运动时, 牵引力  $F$  是恒力, 由  $P=Fv$  知, 汽车发动机的实际输出功率随速度增大而增大. 当发动机的实际输出功率增大到与发动机的额定功率相等时, 汽车的匀加速直线运动因功率限制而终止. 这一过程的  $v-t$  图象如图 3 所示.

该过程由牛顿第二定律得牵引力

$$F=f+ma=(0.1\times 5\times 10^3\times 10+5\times 10^3\times 0.5)\text{ N}=7.5\times 10^3\text{ N}.$$

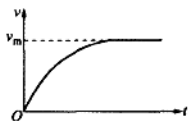


图 2

**10 正思** 这里的阻力仅是摩擦阻力或空气阻力吗?

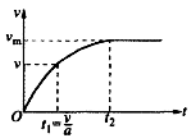


图 3

匀加速过程达到的最大速度

$$v = \frac{P_m}{F} = \frac{6 \times 10^4}{7.5 \times 10^3} \text{ m/s} = 8 \text{ m/s}.$$

这一过程能维持的时间  $t = \frac{v}{a} = \frac{8}{0.5} \text{ s} = 16 \text{ s}$ .

评注 第(2)题易错解为  $t = \frac{v_{\max}}{a} = \frac{12}{0.5} \text{ s} = 24 \text{ s}$ .

例3 起重机在5 s内将质量为  $2 \times 10^3 \text{ kg}$  的重物竖直吊到15 m高处. 如果重物匀速上升, 起重机对重物做多少功, 功率为多大? 如果重物由静止开始匀加速上升, 起重机对重物做多少功, 平均功率为多大, 最大功率为多大?

析与解 起重机做功即为向上的牵引拉力做功, 重物匀速上升时.

$$F = mg, W = Fh = 2 \times 10^3 \times 10 \times 15 \text{ J} = 3 \times 10^5 \text{ J},$$

$$\bar{P} = P = \frac{W}{t} = \frac{3 \times 10^5}{5} \text{ W} = 6.0 \times 10^4 \text{ W}.$$

匀加速上升时, 由  $h = \frac{1}{2}at^2$ , 得  $a = \frac{2h}{t^2} = \frac{2 \times 15}{5^2} \text{ m/s}^2 = 1.2 \text{ m/s}^2$ ,

$$F' - mg = ma,$$

$$F' = m(g + a) = 2 \times 10^3 (10 + 1.2) \text{ N} = 2.24 \times 10^4 \text{ N},$$

$$W' = F'h = 2.24 \times 10^4 \times 15 \text{ J} = 3.36 \times 10^5 \text{ J},$$

$$\bar{P}' = \frac{W'}{t} = \frac{3.36 \times 10^5}{5} \text{ W} = 6.72 \times 10^4 \text{ W},$$

$$P_m = F'v_m = F'(at) = 2.24 \times 10^4 \times 1.2 \times 5 \text{ W} = 1.34 \times 10^5 \text{ W}.$$

评注 平均功率和瞬时功率的区别: 物体做匀速运动时, 恒力在某一时刻的瞬时功率与任一时间内的平均功率相等; 物体做变速运动时, 恒力在不同时刻的瞬时功率不同, 在不同时间内的平均功率也不同.

例4 正常人心脏在一次搏动中泵出血液 70 mL, 推动血液流动的平均压强为  $1.6 \times 10^4 \text{ Pa}$ . 设心脏主动脉的内径约为 2.5 cm, 每分钟搏动 75 次.

(1) 求心脏推动血液流动的平均功率.

(2) 求血液从心脏流出的平均速度.

(3) 把一种对人体无害且不能透出血管的试剂共 9 mg, 由静脉一次性注入人体内, 在安静的情况下经过一定的时间后抽取血样检查, 发现该试剂浓度已稳定在 2 mg/L, 则此人体中血液的总量是多少升?

析与解 (1) 1 min 内心脏推动血液做的功为



火龙台汽车启动问题需要分清是以恒定功率启动, 还是以恒定加速度启动. 需要特别注意的是: 以恒定加速度启动时, 匀加速过程所能达到的最大速度是功率达到最大、牵引力未达最小时的速度, 它小于汽车运动所能达到的功率达最大、牵引力达最小时的真正最大速度  $v_{\max}$ .

$$W = Np\Delta V = 75 \times 1.6 \times 10^4 \times 70 \times 10^{-6} \text{ J} = 84 \text{ J}.$$

$$\text{平均功率 } \bar{P} = \frac{W}{t} = \frac{84}{60} \text{ W} = 1.4 \text{ W}.$$

(2) 每分钟心脏输出血液的体积为

$$V = NV_0 = 75 \times 70 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 5.25 \times 10^{-3} \text{ m}^3,$$

心脏主动脉横截面积为

$$S = \pi r^2 = 3.14 \times \left( \frac{2.5}{2} \times 10^{-2} \right)^2 \text{ m}^2 = 4.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2,$$

血液流动的平均速度为

$$v = \frac{V}{St} = \frac{5.25 \times 10^{-3}}{4.9 \times 10^{-4} \times 60} \text{ m/s} = 0.18 \text{ m/s}.$$

(3) 设人体内循环血液总量为  $V_2$ , 则  $V_2 = \frac{9}{2} \text{ L} = 4.5 \text{ L}.$



### 魔法石

■ 某质量为  $M$  的汽车的发动机额定功率为  $P$ , 若汽车以额定功率由静止开始行驶, 行驶中所受阻力恒为  $f$ , 从开始行驶到速度达到最大所用时间为  $t$ , 则由上述物理量 ( )

- A. 可求出汽车行驶的最大速度
- B. 可求出汽车行驶的最大加速度
- C. 可求出汽车在  $t$  时间内所行的路程
- D. 可求出汽车速度为  $v$  时的加速度

■ 关于汽车在水平路上运动, 下列说法中正确的是 ( )

- A. 汽车启动后以额定功率行驶, 在速度未达到最大以前, 加速度是在不断增大的
- B. 汽车启动后以额定功率行驶, 在速度未达到最大以前, 牵引力是不断减小的
- C. 汽车以最大速度行驶后, 若要减小速度, 可减小牵引功率行驶
- D. 汽车以最大速度行驶后, 若再减小牵引力, 速率一定减小

■ 物体在水平恒力  $F$  作用下, 由静止起沿力的方向由  $A$  点运动了  $s$  到达  $B$  点, 则 ( )

- A. 水平面光滑时, 物体从  $A$  到  $B$  的过程中,  $F$  对物体做功的平均功率较大
- B. 水平面不光滑时, 物体从  $A$  到  $B$  的过程中,  $F$  对物体做功的平均功率较大

C. 水平面光滑时,物体到达 B 点时  $F$  对物体做功的即时功率较大

D. 水平面不光滑时,物体到达 B 点时  $F$  对物体做功的即时功率较大

■ 设在平直公路上以一般速度行驶的自行车所受阻力约为车、人总重的 0.02 倍,则骑车人的功率最接近于 ( )

A.  $10^{-1}$  kW      B.  $10^{-3}$  kW      C. 1 kW      D. 10 kW

■ 起重机用钢绳吊着质量为  $m$  的重物从静止开始匀加速上升,经过一段时间  $t$ ,重物速度等于  $v$ ,在这段时间内,钢绳拉力做功的平均功率  $\bar{P}$  等于 ( )

A.  $\frac{mv^2}{t}$       B.  $mgv$

C.  $\frac{mv^2}{2t} + \frac{mgv}{2}$       D.  $-\frac{mv^2}{2t} - \frac{mgv}{2}$

■ 飞机以水平速度  $v$  匀速飞行时,发动机的功率为  $P$ ,若飞机所受的空气阻力与飞行速度的平方成正比,那么当发动机的功率增为  $4P$  时,飞机匀速飞行的速度将增为 ( )

A.  $\sqrt{2}v$       B.  $\sqrt[3]{2}v$       C.  $2\sqrt{2}v$       D.  $\sqrt[4]{4}v$

■ 一个质量为  $m$  的物体,沿固定的倾角为  $\theta$  的光滑斜面由静止下滑,当它在竖直方向下落了  $h$  高度时,重力做功的瞬时功率为 ( )

A.  $mg \sqrt{2gh} \sin \theta$       B.  $mg \sqrt{2gh} \cos \theta$

C.  $mg \sqrt{2gh} \tan \theta$       D.  $mg \sqrt{2gh}$

■ 一物体的质量为 10 kg,它与水平地面间的滑动摩擦力为它们间弹力的 0.25 倍,受到与水平方向成  $37^\circ$  角斜向上的拉力  $F$  作用,若  $F=100$  N,物体由静止开始运动,则 2 s 内  $F$  对物体做的功为 \_\_\_\_\_, 2 s 末推力的瞬时功率为 \_\_\_\_\_. ( $g=10 \text{ m/s}^2$ )

■ 质量为  $m$  的汽车在倾角为  $\theta$  的斜坡上匀速行驶,上坡时的速度为  $v_1$ ,下坡时的速度为  $v_2$ ,设汽车运动过程中所受阻力不变,且上、下坡时汽车发动机的功率也相同,求汽车的功率.

■ 一物体置于水平粗糙的地面上,在水平力  $F$  的作用下运动,已知  $F$  为一变力,但其功率大小不变.当物体的运动速度为  $2 \text{ m/s}$  时,加速度为  $2 \text{ m/s}^2$ ;当物体的运动速度为  $3 \text{ m/s}$  时,加速度为  $1 \text{ m/s}^2$ . 试求物体运动的最大速度.

## 第4课 重力势能



## 飞天杖

在第1课“追寻守恒量”中,我们已经认识到,物体由于被举高而具有重力势能,物体的高度发生变化,必然伴随着重力做功。显然,要认识重力势能就必须首先研究重力做功的特点。



## 精华地

## 1. 重力做功.

设质量为  $m$  的物体,从高度为  $h_1$  的初始位置下降到高度为  $h_2$  的终点位置,但经历了三个不同的路径:①沿竖直线下降;②沿倾斜直线下降;③沿任意曲线下降(如图1)。

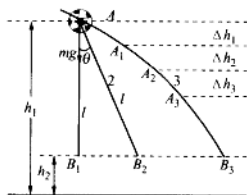


图1

路径1,重力做功是:  $W_{G1} = mgh = mg(h_1 - h_2)$ 。

路径2,重力做功是:  $W_{G2} = mgl \cos \theta = mgh = mg(h_1 - h_2)$ 。

显然,  $W_{G1} = W_{G2}$  (路径不同,但高度变化相等,重力做功是一样的)。

路径3,我们把整个路径分成若干段很短的间隔  $AA_1$ 、 $A_1A_2$ 、 $A_2A_3$  等。由于每一段很小,它们都可以近似地看做一般倾斜的直线,设每段的高度差分别是  $\Delta h_1$ 、 $\Delta h_2$ 、 $\Delta h_3$  等。由沿路径2可知,物体通过每段斜线时重力所做的功分别为  $mg\Delta h_1$ 、 $mg\Delta h_2$ 、 $mg\Delta h_3$  等。则物体通过整个路径时重力做的功

$$\begin{aligned} W_{G3} &= mg\Delta h_1 + mg\Delta h_2 + mg\Delta h_3 + \cdots = mg(\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \cdots) \\ &= mg(h_1 - h_2). \end{aligned}$$

综上所述,物体运动时,重力对它做的功只与它的起点和终点的位

“由特殊到一般”  
是研究自然科学的常用方法。

“点金术”运用“微元法”化  
“曲”为“直”。

“点金术”重力做功  $W = mg(h_1 - h_2)$ , 式中的  $h_1 - h_2$  就是物体在重力方向上的位移,这与功的基本公式  $W = F_s$  是完全一致的,故重力做功可直接用  $mg$  乘以重力方向上的位移。

置有关,而与物体运动的具体路径无关(重力做功的特点之一)。

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  $mgh_2$  之差。

显然  $mgh$  是一个具有特殊意义的物理量,一方面它与重力有关,另一方面它与高度的变化有关(与相对位置有关),完全符合势能的基本特征。

**10 沉思阁** 如果重力的功与路径有关,我们还能把  $mgh$  叫做重力势能吗?

## 2. 重力势能.

(1)定义:物体的重力势能等于它的重力与所处高度的乘积。

表达式:  $E_p = mgh$ 。

(2)重力势能是标量,国际单位是焦耳(J)。

(3)重力做功与重力势能的关系。

重力所做的功等于物体初态重力势能减去末态重力势能(重力做功的特点之二)。

重力做正功:  $W_G > 0$ ,  $E_{p1} > E_{p2}$ , 重力势能减少的数量等于重力所做的功。

重力做负功:  $W_G < 0$ ,  $E_{p1} < E_{p2}$ , 重力势能增加的数量等于克服重力所做的功。

## 3. 重力势能的相对性.

(1)重力势能是相对于参考平面(零势面)而言的。

(2)参考平面的选择原则上是任意的,可视研究问题的方便而定,通常选择地面为参考平面。

(3)重力势能为正,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多,反之亦然。

(4)参考平面的选择不同,重力势能的数值不同,但我们关心的是重力做功与重力势能变化的关系,这与参考平面的选择是无关的。

## 4. 势能是系统所共有的.

任何形式的势能都是相应的物体系统由于其中各个物体之间、或物体内的各部分之间存在相互作用而具有的能,是由各物体的相对位置决定的。

重力势能是由于地球对物体的吸引而产生的重力具有的能量,且由物体与地球的相对位置决定。所以,严格说来,重力势能是地球与物体所组成的这个系统所共有的,平时所说“物体具有重力势能”只是一种简略的说法。

**11 禁林** 尽管参考平面的选择在原则上是任意的,但一经选定就不能变化!