

目 录

第 1 章 功和机械能.....	1
第 1 节 机械功	3
第 2 节 功 率	12
第 3 节 动能和动能定理	22
第 4 节 势能及其改变	31
第 5 节 科学验证：机械能守恒定律	41
章末练习参考答案	56
单元自我检测参考答案	61
习题案例分析	64
第 2 章 抛体运动.....	68
第 1 节 运动的合成与分解	70
第 2 节 平抛运动	81
第 3 节 科学探究：平抛运动的特点	91
第 4 节 生活中的抛体运动	98
章末练习参考答案	105
习题案例分析	109
第 3 章 圆周运动.....	112
第 1 节 匀速圆周运动快慢的描述	115
第 2 节 科学探究：向心力	126
第 3 节 离心现象	138
章末练习参考答案	146
单元自我检测参考答案	150
习题案例分析	153
第 4 章 万有引力定律及航天.....	156
第 1 节 天地力的综合：万有引力定律	158
第 2 节 万有引力定律的应用	170
第 3 节 人类对太空的不懈探索	186
章末练习参考答案	195
单元自我检测参考答案	200
习题案例分析	204

第 5 章 科学进步无止境..... 206

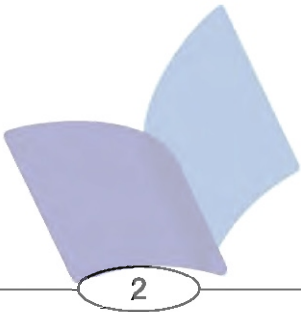
第 1 节 初识相对论 209

第 2 节 相对论中的神奇时空 215

第 3 节 探索宇宙的奥秘 224

章末练习参考答案 231

习题案例分析 232



第 1 章 功和机械能

【课时建议】

章节名称	建议课时数
导 入 神奇之能	
第 1 节 机械功	1
第 2 节 功 率	1
第 3 节 动能和动能定理	2
第 4 节 势能及其改变	1
第 5 节 科学验证：机械能守恒定律	2
机 动	1
总课时数	8

【学业要求】

- (1) 能理解功、功率、动能、重力势能及机械能守恒定律的内涵，定性了解弹性势能；能用动能定理和机械能守恒定律等分析解释生产生活中的相关现象，解决一些相关的实际问题，能体会守恒观念对认识物理规律的重要性。具有与功和机械能相关的初步的能量观念。——物理观念
- (2) 能在熟悉的问题情境中运用机械能守恒定律解决问题时建构物理模型，会分析机械能守恒的条件；能从机械能守恒的角度分析动力学问题，通过推理，获得结论；能用与机械能守恒定律等相关的证据说明结论；能从不同视角解决动力学问题。——科学思维
- (3) 能完成“验证机械能守恒定律”等物理实验。能提出实验中可能出现的物理问题；能在他人帮助下设计实验方案，获取数据；能分析数据、验证机械能守恒定律，能反思实验过程，尝试减小实验误差；能撰写比较完整的实验报告，在报告中能呈现实验表格及数据分析过程，能尝试利用证据进行交流。——科学探究
- (4) 通过对机械能守恒定律的验证，能认识科学规律的建立需要实验证据的检验；有较强的学习和研究物理的兴趣；能认识机械能守恒定律对日常生活的影响。——科学态度与责任

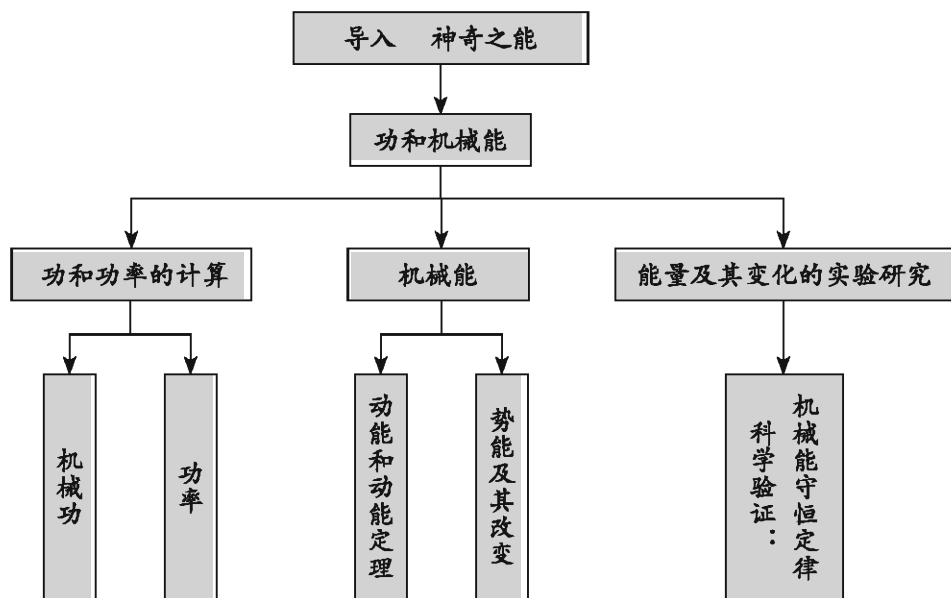


【编写思路】

本章研究能量及相关规律，通过对功能关系的讨论，对能量概念有更深入的认识。本章是高中阶段物理学习的基本内容之一，它既是力学问题的基础和综合，也是进一步学习其他物理学知识的重要基础。导入“神奇之能”的目的，是为了引入能量的概念，启发学生思考，进而通过功的学习理解能量及其变化规律。本章分为三部分：第一部分是第1节“机械功”和第2节“功率”，详细学习功及功率相关知识，为功能关系的讨论打下基础；第二部分是第3节“动能和动能定理”和第4节“势能及其改变”，这两节是对动能、重力势能、弹性势能的学习，都是先定性认识，实验感知能量的大小，得出能量的定义，然后根据功能关系，分析能量变化的规律；第三部分是第5节“机械能守恒定律”，进一步从理论上讨论能量转化所遵循的规律，然后用实验来验证机械能守恒定律，为后续学习能量守恒定律奠定基础。

必修第一册中研究的力学问题主要是从动力学角度来认识物体的运动规律，本章是在力学范围内第一次系统学习能量与功的关系。通过本章学习，学生将会对力学中能量及其变化规律有更深刻的认识，有利于在电学、热学、原子物理学等后续学习中理解相关能量及其变化规律，从而逐渐形成用能量观念解释自然现象和解决实际问题的能力。

【本章结构】



● ● 第1节 机械功 ● ●

一、教学要求与重难点

(一) 教学要求

1. 理解功的概念，知道做功的两个必要因素。具有功与机械能变化相关的初步的能量观念。
2. 理解力和位移不在一条直线上时，借助等效替代思想将这个力做功的问题转化为两个可以求解的分力做功问题，培养和体会这种模型转化的科学思维能力。掌握功的计算公式，知道功的单位，能用功的公式进行相关计算。
3. 掌握正功和负功的含义，会计算多个力的总功。
4. 初步理解将变力做功转化为一系列极小的恒力做功叠加的模型，通过科学推理得到变力做功的计算方法，形成相关的科学思维。

(二) 重难点分析

本节重点是对功的计算公式的理解和应用。对功及其计算的准确掌握非常重要，是学生后续学习中理解各种能量的概念及其变化规律的关键。

本节难点是正负功的含义及合力功的计算。力的合成遵循矢量合成法则，而合力的功计算中同时出现力、位移两个矢量及功这一标量，对初学者来说比较困难。

学生常见错误有：计算功时规定力和位移的正方向，将力和位移的正负号代入计算功；功的计算公式中对位移的理解不准确等。





二、教材分析与教学建议

教材要点解读

能量是比较抽象的，而功是比较具体的容易认知的。能量的变化通常可以用功来进行量度，这是本章特别强调的思想。例如，动能的改变量，用合外力所做的功来进行量度；重力势能的改变量，用重力做功来进行量度等。然而，物理学是先有能量的概念，然后才有功的概念。因此，本章首先用“迷你实验室”中简易、有趣、可操作性强的实验来研究动能、重力势能、弹性势能等能量与哪些因素有关；然后，进一步研究力做功与能量变化的关系。本章基本思路为先建立对能量的定性认识，然后定量研究其改变与哪些因素有关。

教学建议：

生活中物体的运动变化可以直接观察到，能量却只能在自然现象中由逻辑分析而发现。所以，此处可以充分列举同一个物体因速度、下落高度等因素不同而具有的能量不同的例子，提高学生能量的感性认识。

导 入

神奇之能

小小的一颗子弹被抛出后，人可轻易将其接住。但是，子弹被高速射出，则可击穿玻璃、木块甚至石头等。

水能滋润庄稼，也能冲毁农田。若水被拦蓄在高处，其能量可以转化为电能，用来取暖、照明等。

这里面有怎样的奥秘？



子弹击碎玻璃瞬间



水电站泄洪场景

能量，我们既熟悉又陌生。运动的物体具有动能，被举高的物体具有势能，物体的动能和势能可相互转化。这些能量与哪些因素有关？能量转化遵循怎样的规律？

通过本章的学习，认识了功和机械能之间的关系，你就会明白其中的奥秘。

2





教材要点解读

功的概念是本章的核心概念,也是学习本章后续内容的基础。学生通过初中物理的学习,能求解力与位移在同一方向上时力所做的功,但对力与位移互成角度时功的正负及其计算仍不清楚,而如何求合力的功也是新的内容。因此,本节需要充分利用学生已有的初中知识,对功的计算进行拓展和深化。恒力与位移成一定角度时,可将力进行分解,该力做功的效果,就等于其分力做功的效果之和,从而得到恒力做功的一般计算式。

对功的公式的理解要突破以下几点:①力、位移是矢量,计算功时均取绝对值,功的正负是由力与位移的夹角决定,不是根据矢量规定的正方向得出的。②对位移的准确理解特别重要,高中范围内,公式中的位移通常指力的作用点相对于地面发生的位移。③夹角是指两矢量方向之间的夹角,学生学习本节后应能正确识别功的公式中的夹角。

第1节

机械功

用一定的力斜拉购物篮移动时(图1-1),拉力方向与篮的位移方向有一定的夹角,拉力对篮做功了吗?在初中物理的基础上,本节我们进一步深化对功的认识,学习力与位移互成角度时功的计算。



图1-1 人拉购物篮

1. 机械功的含义

如果施力于某物体,并使该物体在力的方向上移动一段距离,我们就说力对这个物体做了功。如果作用于某物体的恒力大小为 F ,该物体沿力的方向运动的位移大小为 s ,则 F 与 s 的乘积称为机械功(mechanical work),简称功,用 W 表示,其公式为

$$W = Fs$$

这个公式只适用于恒力方向与运动方向一致的情况。在生产生活中,我们经常见到类似斜拉购物篮的情景,这时作用于物体的力与物体的位移成一定夹角。在这个过程中,拉力做的功是多少呢?我们把斜拉购物篮这类情景转换为物理模型:物体在与水平方向成 α 角的恒定拉力 F 作用下沿水平方向移动,发生的位移是 s ,在这个过程中,拉力 F 所做的功是多少?

如图1-2所示,可将 F 分解为沿水平方向向右的分力 F_1 和沿竖直方向向上的分力 F_2 。 F_1 与物体位移的方向一致,对物体做了功; F_2 与物体位移的方向垂直,不对物体做功。因此,恒力 F 对物体所做的功 W 就等于分力 F_1 所做的功。再结合功的定义,可得出恒力做功的计算公式

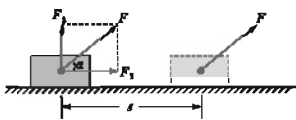


图1-2 分析力做功的示意图

$$W = F s \cos \alpha$$

教学建议:

1. 功的概念的建立

初中学习了在力与位移同向时功的计算,那么在一般情况下如何计算功呢?例如,一恒力与直线运动的位移成任意夹角时,功应如何计算?

可以让学生先讨论,然后总结提炼方法。力和位移都是矢量,可分解力或分解位移,再利用等效的思想将一般问题转化到熟悉的特殊情况后解决,得出结论。

2. 功的公式的理解探讨

(1) 依据公式进行探讨,力不做功有哪些情形?

(2) 因运动具有相对性,位移的大小和方向都与参考系有关,位移取值不同将导致该力做功与否以及做功的大小、正负均不相同,可结合实例说明功的计算公式中对位移的准确理解。



教材要点解读

变力做功不能直接利用公式计算。“拓展一步”中借助图像，利用微积分思想将变力做功问题转化为无数段恒力做功问题，将微积分思想自然而然地渗透进来。可引导学生充分体会这种思想的巧妙之处。

功的正负与力和位移的夹角有关。这里可以让学生初步感知，做正功使物体能量增加，做负功使物体能量减少。

教学建议：

对于“拓展一步”可根据学生情况灵活选择教学深度。

可以速度、力、温度为例，让学生体会正、负对于矢量与标量的不同含义。矢量的正、负表示方向，而标量的正、负含义各有不同。例如，对于温度而言，正负表示温度的高低，正温度高于负温度；对于做功而言，功的正、负描述了能量转化的方向。

Physics 第1章 功和机械能

功只有大小没有方向，是标量。在国际单位制中，功的单位是焦耳，用符号J表示。如果1N的力使物体在力的方向上发生了1m的位移，那么这个力对该物体所做的功就是1J，即

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



拓展一步

功的图像描述

我们也可用图像来描述力对物体做功的大小。当力的方向与位移方向一致时，以力F的大小为纵坐标、位移s的大小为横坐标，作出F随s变化的图像。

当F为恒力时，由F和s为邻边构成的矩形面积即表示功的大小，如图1-3(a)所示。若F不是恒力，可将位移划分为若干等距的小段，在每个小段中F可近似看成恒力，其所做功的大小即为该小段对应的小矩形的面积，整个过程中F所做功的大小近似等于所有小矩形面积之和，如图1-3(b)所示。

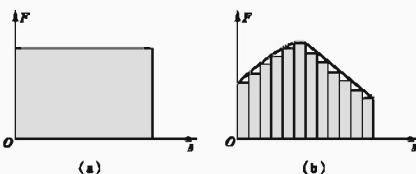


图1-3 用图像描述功的大小

2.机械功的计算

由功的计算公式可知，当力F和物体位移s的大小都一定时，功W就由F与s的夹角α的余弦cosα决定。

当α=0°时，cosα=1，W=Fs，这就是初中物理中作用力与物体位移方向相同的情况。

当α=90°时，cosα=0，W=0，表示力F与物体位移的方向垂直时，对物体不做功。

当0°≤α<90°时，cosα>0，W=Fs cosα>0，表示力F对物体做正功。

当90°<α≤180°时，cosα<0，W=Fs cosα<0，表示力F对物体做负功，也可说物体克服这个力做了功。

当α=180°时，cosα=-1，W=-Fs，表示作用力与物体位移方向相反。例如，在某些飞机着陆滑跑中，要打开尾部的减速伞(图1-4)。在这个过程中，减速伞拉力的方向与飞机位移的方向相反，对飞机做负功，也可以说飞机克服这个拉力做了功。



图1-4 飞机着陆后打开尾部减速伞





当物体在多个外力共同作用下运动，求所有外力对物体做的总功时，需要逐个分析哪些力做功，哪些力不做功，哪些力做正功，哪些力做负功。功是标量，对功的叠加应采用求代数和的方法。所有外力对物体做的总功，等于各个力分别对物体做功的代数和，即

$$W_{\text{总}} = W_1 + W_2 + W_3 + \cdots \\ = F_1 s \cos \alpha_1 + F_2 s \cos \alpha_2 + F_3 s \cos \alpha_3 + \cdots$$

可以证明，某个物体在多个外力作用下运动时，所有外力对这个物体做的总功，也等于这些外力的合力对该物体做的功，即

$$W_{\text{总}} = F_{\text{合}} s \cos \alpha$$

例题

一人用平行于斜面的推力把重 $G = 500 \text{ N}$ 的货物从斜面底端推到斜面顶端。已知斜面的倾角 $\alpha = 37^\circ$ ，斜面长 $l = 5 \text{ m}$ ，斜面与货物间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$ ，推力 $F = 400 \text{ N}$ 。求货物从斜面底端运动到顶端的过程中，所受各力分别对其做的功，以及所有外力对其做的总功。（货物可视为质点，取 $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ）

分析

斜面上的货物受到重力 G 、推力 F 、支持力 N 和摩擦力 f 共四个力的作用，受力分析如图 1-5 所示。货物位移 s 的方向沿斜面向上， G 与 s 的夹角是 $90^\circ + \alpha$ ， N 与 s 的夹角是 90° ， f 与 s 的夹角是 180° 。由功的计算公式可知各力做的功，再计算各力做功的代数和可知合外力做的功。

解

将货物视为质点，则其位移 $s = l = 5 \text{ m}$ 。

推力 F 对货物做功

$$W_1 = Fs = 400 \times 5 \text{ J} = 2\,000 \text{ J}$$

重力 G 对货物做功

$$W_2 = Gs \cos (90^\circ + \alpha) = -Gs \sin \alpha \\ = -500 \times 5 \times 0.6 \text{ J} \\ = -1\,500 \text{ J}$$

支持力 N 对货物做功

$$W_3 = Ns \cos 90^\circ = 0$$

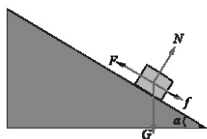


图 1-5 货物的受力分析示意图

合力的功是本节课的一个难点，要让学生体会到功的运算法则与矢量合成法则的不同。

例题可让学生充分体会各力的功之和与合力的功之间的关系。

至此，本节从恒力做功的一般计算式，到讨论正、负功，最后分析多力做功的较复杂情况，完成了对功这一重要概念的层层深入的认识。做功过程反映了能量的变化过程，理解了功，才能进一步更准确地理解能量。

教学建议：

让学生分别计算多力作用下各力的功及其代数和、合力的功，并进行比较，得出求合力功的两种方法。体会在多个力做功情况下，计算多个力的总功时，功的相加遵循标量运算法则。





三、课堂教学活动资源

(一) 例题迁移

上述问题中，能否先求出物体所受的合外力，再求出合外力做的功？试一试，看看计算结果是否相同。

解答：对斜面上的物体进行受力分析，沿斜面方向和垂直斜面方向对其进行正交分解，可得 $N = G \cos \alpha$, $f = \mu N$

可得合力 $F_{\text{合}} = F - G \sin \alpha - \mu N = 20 \text{ N}$ ，方向沿斜面向上。

合力的功 $W_{\text{合}} = F_{\text{合}} s \cos 0^\circ = 100 \text{ J}$

所以，两种方法计算结果相同。

(二) 课堂练习或知识点的检测

1. 用 50 N 的力将足球踢出，滚动 30 m 停下来，脚对足球做的功是 1500 J 吗？

解答：脚对足球做功不是 1500 J 。脚对球有 50 N 的力作用时，球的位移不是 30 m ，发生 30 m 的位移时足球并未受到脚对球的 50 N 的力。

选题意图：做功公式中的位移是力的作用点的位移。本题要求学生细化运动情境，准确匹配各阶段的力与位移。

2. 光滑水平面上，物体受两个沿水平方向、互相垂直的大小分别为 3 N 和 4 N 的恒力，从静止开始运动 5 m 。求每个力的功和合力的总功，并体会总功的计算是否遵循平行四边形法则。

解答： 3 N 的力做功 9 J ， 4 N 的力做功 16 J ，合力做功 25 J 。

提示：本题意在指出力和位移均为矢量，可以分解，可将 5 m 位移分解至两个力的方向上，分位移分别为 3 m 和 4 m ，计算得两分力的功为 9 J 和 16 J 。合力的功为 25 J ，可见功是标量，功的叠加法则是标量相加而非平行四边形法则。

选题意图：体会求总功的两种方式的等效性和功的标量特点。

3. 如图 1-1-1 所示，木块放在光滑水平面上，一颗子弹水平射入木块。已知子弹受到的平均阻力为 $f_{\text{阻}}$ ，射入深度为 d ，在此过程中木块的位移为 s ，求阻力对子弹和木块分别做多少功。

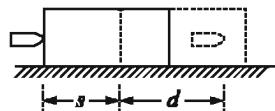


图 1-1-1

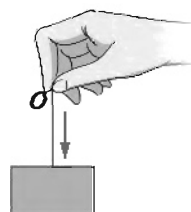
解答： $-f_{\text{阻}}(s+d)$ $f_{\text{阻}}s$

选题意图：强调对功的公式中位移及夹角的准确理解。

四、作业解答

1. 如图所示，若用轻绳拴一物体，使物体以恒定加速度向下做减速运动，则下列说法正确的是

- A. 重力做正功，拉力做负功，合外力做正功
- B. 重力做正功，拉力做负功，合外力做负功



第 1 题



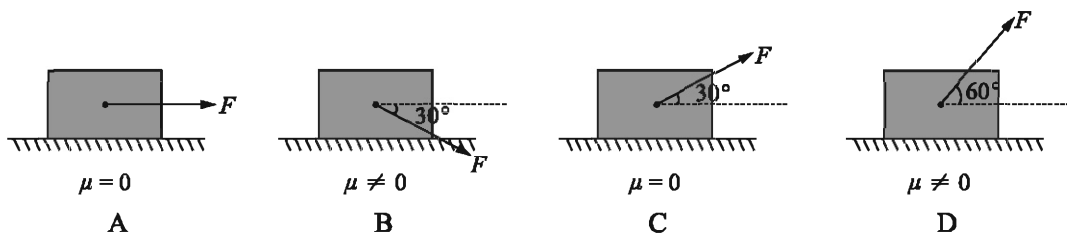
C. 重力做正功, 拉力做正功, 合外力做正功

D. 重力做负功, 拉力做负功, 合外力做负功

解答: B

重力方向与运动方向相同, 重力做正功; 拉力方向与运动方向相反, 拉力做负功; 因物体加速度方向向上, 所以合外力向上, 又与运动方向相反, 所以合外力做负功。

2. 下列选项中, 物体所受力 F 的大小相等, 位移方向向右、大小相同。其中, F 做功最少的是



解答: D

因各情境中位移相同, 所以当力在位移方向上的分量最小时, 做功最少。

3. 质量 $m = 2 \text{ kg}$ 的物体, 受到与水平方向成 37° 角斜向右上方、大小为 10 N 的拉力 F 的作用, 在水平地面向右移动的距离 $s = 2 \text{ m}$, 物体与地面间的滑动摩擦力 $f = 4.2 \text{ N}$ 。取 $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$, 求在此过程中合外力对物体所做的功。

解答: 合外力对物体所做的总功为 7.6 J 。

物体受力分析如图所示, 根据题意得, 拉力 F 对物体所做的功 $W_1 = F s \cos 37^\circ = 16 \text{ J}$; 摩擦力 f 对物体所做的功 $W_2 = f s \cos 180^\circ = -8.4 \text{ J}$; 重力 G 与支持力 N 的方向与位移方向垂直, 所以, 合外力对物体所做的总功 $W = W_1 + W_2 = 7.6 \text{ J}$ 。

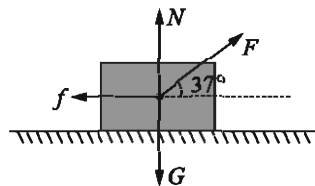


图 1-1-2

4. 下列说法正确的是

A. 静摩擦力一定不做功

B. 滑动摩擦力一定做负功

C. 滑动摩擦力一定做正功

D. 滑动摩擦力既可以做正功也可以做负功

解答: D

静摩擦力可以做功, 如倾斜传送带将与传送带相对静止的物体送往高处, 静摩擦力对物体做正功。滑动摩擦力未必做负功, 如擦黑板时, 黑板受到的滑动摩擦力不做功。

5. 关于作用力与反作用力做功, 有同学认为: 当作用力做正功时, 反作用力一定做负功。你认为这种观点正确吗? 请说明理由。

解答: 不正确。作用力与反作用力是发生在两个相互发生的物体之上的, 作用力做正功时, 反作用力可以做正功, 可以不做功, 还可以做负功。实际上, 一对相互作用力做功的情形较多。例如, 相互排斥的磁铁正在相互远离, 一对排斥力均做正功; 相向而行正在靠近的两个带同种电荷的小球, 一对排斥力均做负功; 一对异种电荷, 一个固定, 另一个由静止释放, 吸引力对一个电荷做正功, 对另一电荷不做功等。



6. 以一定的速度竖直向上抛出一小球, 小球上升的最大高度为 h 。假设空气阻力大小恒为 F , 那么在小球被抛出至落回出发点的过程中, 空气阻力对小球做的功为多少?

解答: 上升过程空气阻力对小球做功 $W_1 = -Fh$, 下落过程空气阻力对小球做功 $W_2 = -Fh$, 则从抛出到落回至抛出点的过程中, 空气阻力对小球做的功 $W = W_1 + W_2 = -2Fh$ 。

五、课程资源

(一) 一对相互作用力做功的特点

对于作用力与反作用力的功, 在某本教材上有这样一段表述: “力对质点所做之功等于质点对产生此力的物体所做之功的负值。这是牛顿第三定律的一个推论。” 我们知道, 所谓物体甲对物体乙做功, 就是甲作用在物体乙上的力做功。上面引文中的质点对产生此力的物体做功与质点反作用于物体的力对物体做功是同义的。因此, 上面引文的意思是: 根据牛顿第三定律, 作用力的功等于反作用力的功的负值。这个论断是否正确呢?

例1: 木块在静止的地面上滑动, 位移为 Δs (方向向右), 地面施加于木块的滑动摩擦力 f' (方向向左) 所做的功 $W = -f' \Delta s$ 。力 f' 的反作用力即木块施加于地面的摩擦力 f , 以地面为参照系, 这个力不做功。

可见, 此例的一对作用力与反作用力中, 一个力 f' 做负功, 另一个力 f 不做功。

例2: 如图 1-1-3 所示, 两个同种电荷 q_1 、 q_2 间相互作用的斥力为 f_{12} 和 f_{21} 。设这两个带电小球在斥力作用下运动, 元位移分别为 ds_1 和 ds_2 , 因此, 两个小球相互作用的斥力的元功分别为

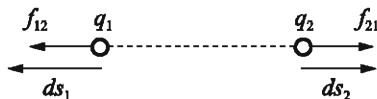


图 1-1-3

$$dW_1 = f_{12} \cdot ds_1 > 0$$

$$dW_2 = f_{21} \cdot ds_2 > 0$$

可见, 作用力与反作用力 (f_{12} 和 f_{21}) 都同时做正功。又因为两个小球质量不一定相同, 故二者位移的大小亦不一定相等, 所以, 两个功的数值也不一定相等。

(二) 摩擦生热与参考系的关系

我们知道了所谓摩擦生热就是滑动摩擦力做负功, 将物体的动能转化成物体内能的结果。然而, 我们也知道, 在不同参考系中, 同一物体在相同时间内的位移一般是不同的, 因而作用于同一物体上的一个确定的力对该物体所做的功, 对于不同参考系来说也就是不同的。摩擦力的功自然也不会例外。于是, 我们似乎可以得出这样一个结论: 当两个物体相对滑动时, 由于摩擦力做功而生的热, 在不同参考系中是不一样多的。如果真是这样, 这个“劳什子”参考系简直就像个怪物那样令人费解了!

仔细分析摩擦生热的现象不难发现, 摩擦生热实际上是两个物体接触后相互作用的结果, 而不是一个滑动摩擦力作用的结果。因此, 分析摩擦生热现象, 应该考虑一对滑动摩擦力所做的功。让我们以一个具体事例来说明这一点。

如图 1-1-4 所示, 有一在水平路面上保持匀速行驶的汽车, 相

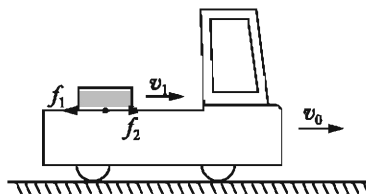


图 1-1-4



对地面的速度为 v_0 ，有一物块以相对于汽车的某一初速度开始在车厢底板上滑动。因物块与车厢底板的滑动摩擦力做功而生热，试分别在汽车参考系和地面参考系中计算摩擦力的功。

由图可见，物块相对于车厢向右滑动，所以物块所受的滑动摩擦力 f_1 方向向左；车厢相对于物块向左滑动，所以车厢所受的滑动摩擦力 f_2 方向向右。这时滑动摩擦力 f_1 和 f_2 是一对作用力和反作用力，它们大小相等、方向相反，与参考系无关。

我们先在汽车参考系中计算这两个力的功。设在任一时刻 t ，物块在汽车参考系中的速度为 v_1 ，于是从从此时刻 t 到 $t + \Delta t$ 的微小时间内， f_1 对物块所做的功为

$$W_1 = -f_1 \Delta s = -f_1 v_1 \Delta t$$

因为在汽车参考系中，汽车是静止的，所以 f_2 对汽车所做的功 $W_2 = 0$ 。这样，在汽车参考系中，这对力的总功为

$$W = W_1 + W_2 = -f_1 v_1 \Delta t$$

再以地面为参考系计算这两个力在从 t 到 $t + \Delta t$ 过程中所做的功。因为物块在地面参考系中的速度为 $v_0 + v_1$ ，所以力 f_1 在 Δt 时间内对它所做的功为

$$W_1 = -f_1 (v_0 + v_1) \Delta t = -f_1 v_0 \Delta t - f_1 v_1 \Delta t$$

因为在地面参考系中，汽车不再静止，而是以速度 v_0 向右运动，位移方向与 f_2 方向一致，故 f_2 对汽车在 Δt 时间内所做的功为

$$W_2 = f_2 v_0 \Delta t$$

于是，在地面参考系中，这对力的总功为

$$W = W_1 + W_2 = -f_1 v_0 \Delta t - f_1 v_1 \Delta t + f_2 v_0 \Delta t$$

因 $f_1 = f_2$ ，故

$$W = -f_1 v_1 \Delta t$$

可见，若考虑到一对力的功，在两个不同的惯性参考系中，摩擦力的功是相等的，因而所生的热也是相同的，即摩擦生热与参考系无关。

此外，从表达式 $W = -f_1 v_1 \Delta t$ 中还可以看出， $v_1 \Delta t$ 就是在这一过程中物块和汽车车厢底板的相对位移，它也与参考系无关。由此，在计算两物体的摩擦力做功时，只需用一个摩擦力乘上它们的相对位移就可以了。

参考资料

沈克琦. 高中物理学 力学 [M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 2015.





● ● 第2节 功 率 ● ●

一、教学要求与重难点

(一) 教学要求

1. 理解功率的概念及其意义，了解生产生活中常见机械的功率大小，能用功率的定义式 $P = \frac{W}{t}$ 进行相关计算。
2. 知道公式 $P = Fv$ 的物理意义，并能够分析当汽车功率一定时，牵引力与速度的关系等实际与功率相关的问题。
3. 能理解和区别生活中各种机械的额定功率、实际功率、最大功率、平均功率、瞬时功率的意义。引导学生在生活中学习物理，激发学生学习和研究物理的好奇心和求知欲。

(二) 重难点分析

本节重点是理解功率的概念、意义及对计算公式 $P = \frac{W}{t}$ 和 $P = Fv$ 的准确掌握。

本节难点是汽车实际运动过程中涉及功率的相关问题分析。学生常常不能区分瞬时功率和平均功率，将平均功率误认为瞬时功率，要特别注意理解瞬时功率的概念。



二、教材分析与教学建议

教材要点解读

第2节

功率

在生产生活中，人们不仅关注做功的多少，还关注做功的快慢。例如，借助挖掘机挖土比直接用人工挖土做功快得多（图1-6）。怎样描述做功的快慢？本节我们将在初中物理的基础上，进一步深化对功率的认识。



图1-6 挖掘机挖土

1.功率的含义

做功的快慢不仅与做功的多少有关，还与做这些功所耗费的时间有关。物理学中将力所做的功 W 与完成这些功所用的时间 t 之比，称为功率（power），用符号 P 表示，即

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

在国际单位制中，功率的单位是瓦特，简称瓦，用符号 W 表示。如果某力在 $1s$ 内做 $1J$ 的功，它的功率就是 $1W$ 。瓦这个单位比较小，在工程技术上常用千瓦（ kW ）作为功率的单位。

$$1kW = 1000W$$

功率是描述做功快慢的物理量，是标量。

2.常见机械的功率

汽车、轮船、火车等交通工具和各种起重机械的动力由内燃机或电动机等动力机械提供，功率是衡量动力机械性能的重要参数。每一种动力机械都有一个长时间工作的最大允许功率，这个功率称为机械的额定功率（rated power）。实际工作时，动力机械的功率可能大于或小于额定功率。例如，汽车爬坡时，如果要保持较大速度，实际功率就可能超过额定功率，这对动力机械有害，要尽量避免。汽车在平直公路上缓慢匀速行驶时，实际功率就往往小于额定功率。

本节教材的设计是先比较挖掘机挖土与人工挖土做功的快慢，然后引入如何用物理量来描述做功的快慢程度，体现了物理“来源于生活，应用于生活”的理念，又能激发学生的学习兴趣。对功率概念的理解与计算，教材分析了当汽车发动机功率一定时，牵引力与速度的关系。

功率在生产生活中应用很广，本节教材中的例题通过对高速列车的牵引力、加速度、功率的分析，引导学生认识物理与社会生活的密切联系，培养学生综合运用动力学知识和功率概念分析问题及解决问题的能力。

教学建议：

功率的引入：

案例1：举例说明使用机械做功与人力直接做功的快慢程度的不同。

案例2：课前请学生搜集记录自己家里各种电器的功率的数值，将搜集到的相关数据在课堂展示，并提出问题：电器的功率值不同有何意义呢？

案例3：图片展示不同机械的功率，如自行车、汽车、火车、飞机等的功率参数的数值不同。

利用上述案例提出功率的概念并理解其意义是本节课学习的主要内容。



教材要点解读

“理解功率。了解生产生活中常见机械的功率大小及其意义”是课程标准对“功率”的内容要求。教材中展示了一些有特定意义机械的功率和一些常见家用电器的功率，旨在引导学生关注生活中的物理现象，思考时代和技术的进步对社会的影响。

功率是反映力做功快慢的物理量。教材通过恒力 F 推动书本做功的例子，根据恒力对物体做功的公式和运动学公式，在功率比值定义式基础上导出功率与力和速度的关系。得到公式 $P = Fv$ 后，进一步引导学生理解“平均功率”和“瞬时功率”的概念以及公式中每一项物理量的含义，并且能用公式对实际生活中的机械功率相关问题进行定性分析和定量计算。

教学建议：

关于平均功率与瞬时功率，建议初学者多用 $P = \frac{W}{t}$ 计算平均功率，多用 $P = Fv$ 计算瞬时功率。

事实上， $P = \frac{W}{t}$ 也可计算瞬时功率，只是要运用数学的极限思想。

可以进一步提出问题：当力和位移不在同一直线上时如何计算瞬时功率？由学生分析推理得出瞬时功率的计算公式为 $P = Fv\cos\alpha$ ，式中 α 为力与速度的夹角。

第2章 功率



一些机械的功率见下表。

表 1-1

一些机械的功率

一些有特定意义机械的功率		一些常见家用电器的功率	
莱特兄弟发明的“飞行者一号”约 9 kW	中国制造的第一辆汽车约 70 kW	电动剃须刀约 1.5 W	滚筒式洗衣机 200 ~ 500 W
第一艘装有螺旋桨推进器的蒸汽机船“阿基米德号”约 39 kW	“和谐号”CRH1 电力动车组 5 300 ~ 11 000 kW	电风扇 38 ~ 68 W	家用小定速空调约 800 W
中国制造的第一台蒸汽机车 1 100 kW	“辽宁号”航空母舰的最大功率约 1.5×10^4 kW	冰箱 90 ~ 200 W	吸尘器 400 ~ 1 000 W

机械的功率表示其做功的快慢。从表中可以看出，随着社会的发展和技术的进步，一些同类型机械的功率越来越大，表示其做功越来越快，即在同样的时间里能够做更多的功。

3. 功率与力、速度的关系

当我们用恒力 F 推动书本，让书本在水平桌面上做直线运动时（图 1-7），力 F 对书本做功的功率是多大呢？

力 F 的方向和书本位移的方向相同，推力 F 所做的功 $W = Fs$ 。根据功率的公式 $P = \frac{W}{t}$ 可得 $P = \frac{Fs}{t}$ ，而其中 $\frac{s}{t} = v$ ，因此，推力 F 做功的功率

$$P = Fv$$



图 1-7 手推书本运动

从上面推导可见，公式中的 v 是平均速度，对应的功率 P 是 t 时间内的平均功率。若时间间隔很小，我们可将平均速度看成瞬时速度，那么此时的功率 P 可看成该时刻的瞬时功率。当物体受力为变力时，在力与速度方向相同的情况下，功率 $P = Fv$ 仍然成立，此时 v 为瞬时速度， F 为相应时刻的力， P 则为对应的瞬时功率。

由公式 $P = Fv$ 可知，当功率 P 一定时，力 F 与物体运动的速度 v 成反比。例如，机械正常工作时的功率通常是一定的，车床在切削硬的工件时需要用较大的力，因此要降低车床的运转速度。当速度 v 一定时，力 F 与功率 P 成正比。例如，汽车上坡时（图 1-8），司机可通过加大油门，提高发动机的输出功率来增大牵引力。



图 1-8 汽车上坡

例题

一列高速列车总质量 $m = 465 \text{ t}$ ，其额定功率 $P = 5\,300 \text{ kW}$ ，在水平直轨道上行驶时，轨道对列车的阻力 $F_{\text{阻}}$ 是车重的 0.018 。列车以额定功率工作，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，求：

- (1) 当行驶速度 $v = 10 \text{ m/s}$ 时，列车的牵引力和加速度；
- (2) 列车在水平直轨道上行驶的最大速度。

分析

由已知的速度和额定功率可求出牵引力，再根据牛顿第二定律可求出加速度。列车以额定功率工作，若牵引力 F 大于阻力 $F_{\text{阻}}$ （图 1-9），列车做加速运动。随着速度的增大，牵引力 $F = \frac{P}{v}$ 会逐渐减小，当 $F = F_{\text{阻}}$ 时列车的加速度为 0，速度达到最大值 v_{max} 。

解

由题意可知 $F_{\text{阻}} = 0.018 mg$ 。设列车以额定功率工作，当行驶速度 $v = 10 \text{ m/s}$ 时，牵引力为 F_1 ；行驶速度达到最大值 v_{max} 时，牵引力为 F_2 。

- (1) 由 $P = F_1 v$ 得

$$F_1 = \frac{P}{v} = \frac{5.3 \times 10^6}{10} \text{ N} = 5.3 \times 10^5 \text{ N}$$

根据牛顿第二定律，有

$$F_1 - F_{\text{阻}} = ma$$

解得

$$a = 0.96 \text{ m/s}^2$$

列车的加速度方向与牵引力方向一致。

- (2) 当 $F_2 = F_{\text{阻}}$ 时，列车行驶速度最大。

由 $P = F_2 v_{\text{max}}$ 得

$$v_{\text{max}} = \frac{P}{F_{\text{阻}}} = 63.3 \text{ m/s}$$

列车的最大行驶速度方向与牵引力方向一致。

讨论

列车的最大行驶速度与其额定功率成正比，与受到的阻力成反比。因此，要提高列车的最大行驶速度，就需增大发动机的额定功率，并尽量减小阻力。动车组通常由多节动力车厢相连，且外形被设计成流线型。请解释一下其中的道理。

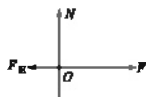


图 1-9 列车的受力分析示意图

名师提醒

运用功率概念和牛顿第二定律解决列车行驶等问题时，牵引力是连接二者的桥梁。此时，功率公式中的 F 是牵引力。

火车或汽车以额定功率水平行驶，当牵引力等于阻力时，速度最大。

例题要求学生利用功率概念和牛顿第二定律分析列车的运动，旨在提高学生的综合分析能力。

本题汽车运动过程为变加速运动，匀变速运动的公式及推论在此处不适用。在第(2)问的分析过程中，应注意引导学生分析列车以额定功率工作情境下各物理量的动态变化，根据 $P = Fv$ 讨论牵引力 F 和速度 v 的关系，进一步分析速度 v 不断增大时加速度的变化情况，最终得到最大速度状态下各力学和运动学物理量关系。

教学建议：

在分析汽车以恒定功率启动的问题时，应注意对运动过程完整分析，以及牵引力 F 、加速度 a 、速度 v 之间的逻辑关系。可通过 $v-t$ 图、 $F-t$ 图、 $a-t$ 图、 $P-t$ 图加深学生对运动情境的理解。

此外，建议拓展汽车以恒定加速度启动时汽车运动情况的分析。可先让学生自主分析，以提高学生对复杂运动的分析能力。





教材要点解读

“迁移”渗透了节能减排的保护环境的意识。定量计算功率的变化情况，一方面让学生逐步培养利用科学知识分析身边现象的习惯，另一方面让学生直接感受到节能环保意识的重要性，具有力所能及的节能环保行为。

“物理聊吧”中的讨论是对功率概念的更深入分析，是学生学习功率的难点。

迁移

前面我们讨论了机械以额定功率工作的问题，那么机械不在额定功率下工作的问题又该怎样求解呢？试解答下面的问题。

在符合安全行驶要求的情况下，通过减少汽车内放置的物品和控制油箱里的油量等措施，可实现节能减排。一辆汽车以 72 km/h 的速度匀速行驶时，采取以上措施前、后汽车受到的阻力分别为 $2\,000 \text{ N}$ 和 $1\,950 \text{ N}$ 。试分别求出采取措施前、后汽车的实际功率，并加以比较。



物理聊吧

在本节中，功率与力、速度的关系式 $P = Fv$ 是在力的方向与速度的方向一致的情况下得出的。想想看，如果力与速度的方向相反，或者成任意角度 θ 时，功率与力、速度之间又会有怎样的关系呢？谈谈你的看法，并与其他同学讨论交流。



节练习

- 关于某力做功的功率，下列说法正确的是
 - 该力越大，其功率就越大
 - 该力在单位时间内做的功越多，其功率就越大
 - 功率越大，说明该力做的功越多
 - 功率越小，说明该力做功的时间越少
- 一质量为 m 的物块沿倾角为 θ 的斜面滑下，到达斜面底端时的速度大小为 v ，此时重力做功的瞬时功率是
 - mgv
 - $mgv \sin \theta$
 - $mgv \cos \theta$
 - $mgv \tan \theta$
- 如图所示，某同学的质量为 50 kg ，自行车的质量为 15 kg ，设该同学骑自行车在平直路面上匀速行驶时所受阻力为人车总重的 4% ，克服阻力做功的功率为 260 W 。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，求该自行车匀速行驶的速度大小。
- 重量为 G 的某汽车，最大功率为 P_m ，在平直公路上以速度 v 匀速行驶时，汽车发动机的功率为 P 。
 - 求汽车所受的阻力。
 - 若汽车在倾角为 α 的坡路以最大功率匀速向上行驶时，所受路面和空气的阻力大小之和与（1）中所求阻力大小相等，求此时汽车的速度。



图 3-3-1

教学建议：

可以多提供日常生活中涉及功率的节能减排的实例，使学生逐步养成利用所学知识分析日常生活中相关现象的习惯，增强学生的环保意识。“物理聊吧”中的关于功率计算的讨论可以在课堂上充分展开。





三、课堂教学活动资源

(一) 例题迁移

前面我们讨论了机械以额定功率工作的问题,那么机械不在额定功率下工作的问题又该怎样求解呢?试解答下面的问题。

在符合安全行驶要求的情况下,通过减少汽车内放置的物品和控制油箱里的油量等措施,可实现节能减排。一辆汽车以 72 km/h 的速度匀速行驶时,采取以上措施前、后汽车受到的阻力分别为 2 000 N 和 1 950 N。试分别求出采取措施前、后汽车的实际功率,并加以比较。

解答:匀速运动时,牵引力等于阻力。 $v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$,阻力 $f_1 = 2\,000 \text{ N}$ 时,汽车实际功率 $P_1 = F_1 v = 2\,000 \times 20 \text{ W} = 40\,000 \text{ W}$ 。阻力 $f_2 = 1\,950 \text{ N}$ 时,汽车实际功率 $P_2 = F_2 v = 1\,950 \times 20 \text{ W} = 39\,000 \text{ W}$ 。

实际功率的减少量 $\Delta P = P_1 - P_2 = (40\,000 - 39\,000) \text{ W} = 1\,000 \text{ W}$

(二) 物理聊吧

在本节中,功率与力、速度的关系式 $P = Fv$ 是在力的方向与速度的方向一致的情况下得出的。想想看,如果力与速度的方向相反,或者成任意角度 θ 时,功率与力、速度之间又会有怎样的关系呢?谈谈你的看法,并与其他同学讨论交流。

解答:当力的方向与速度方向成 θ 角时,力做功的功率 $P = \frac{W}{t} = \frac{Fscos\theta}{t} = Fvcos\theta$,即力的功率等于力和力的方向上的速度的乘积,这一公式通常用来计算力的瞬时功率。

(三) 课堂练习或知识点的检测

1. 一个力功率大说明该力做功多吗?你能说出生活中哪些常见机械的功率值呢?课后查阅资料了解自己周围的常见的功率值。例如,豪华轿车常见功率、经济型轿车常见功率、一个成年人熟睡时消耗的功率、学生上课进行脑力劳动时消耗的功率、骑自行车时消耗的功率、打篮球时消耗的功率等。还可以测定人上楼、跳绳等活动时消耗的平均功率。上述部分功率也可以由教师查阅资料后在课堂上展示。

解答:功率大说明力做功快而非做功多。家用轿车的功率在 100 kW 左右。一个成年人在熟睡时,消耗的功率大约是 80 W。在进行一般脑力劳动时,如学生在上课时,消耗的功率约为 150 W。在中等剧烈的运动中,如业余运动员骑自行车时,消耗的功率约为 300 W。在比较剧烈的运动中,如打篮球时,人消耗的功率约为 700 W。在更加剧烈的运动情况下,如在百米赛跑中,一个优秀运动员消耗的功率可超过 1000 W。

选题意图:强调用功和功率的观点分析、解释和思考生活中的实际问题,激发学生学习物理的好奇心、求知欲,逐渐形成学习和研究物理的内在动机。

2. 汽车发动机的功率与汽车最大速度、汽车牵引力之间的关系讨论:

(1) 当汽车以恒定功率上坡时,司机常用换挡的方法来减小速度,为什么?



- (2) 汽车上坡时, 要保持速度不变, 为什么要加大油门?
 (3) 以恒定功率启动的汽车会做匀加速运动吗?
 (4) 恒定功率匀速运动的汽车在水平路面上运动时的速度与下坡时的速度一样吗?
 (5) 匀加速启动的汽车在达到最大速度之前牵引力是如何变化的? (设汽车运动过程中阻力不变)

解答:

- (1) 功率不变时, 减小速度可以增加牵引力。
 (2) 上坡时为保持速度不变, 加大油门可以增加功率, 达到增大牵引力的目的。
 (3) 恒定功率启动的汽车速度增加时, 牵引力减小, 不会做匀加速运动。
 (4) 以恒定功率运动的汽车在水平路面上匀速运动的速度小于下坡时匀速运动的速度, 因为下坡需要的牵引力小。

(5) 匀加速启动的汽车, 先是牵引力不变, 随速度增加汽车功率增加, 当功率增加至额定功率后, 保持功率不变做加速度减小的加速运动, 直至达到最大速度后做匀速直线运动。

选题意图: 汽车功率问题是功率知识在实际中的重要应用。将实际运动情境中对汽车的操作与物理模型中物理量的变化相对应, 应用动力学的逻辑分析、推理, 明晰驾驶操作中的相关物理原理, 从而提高利用物理知识解决实际问题的能力。

3. 一台起重机将静止在地面上的质量 $m = 10^3 \text{ kg}$ 的货物匀加速地竖直吊起, 在 2 s 末, 货物的速度为 4 m/s 。取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 求:

- (1) 起重机在前 2 s 内的平均功率;
 (2) 起重机在 2 s 末的瞬时功率。

解答: (1) 货物上升的加速度 $a = \frac{v}{t} = 2 \text{ m/s}^2$

由 $T - mg = ma$ 可得 $W = Th = (mg + ma) \times \frac{1}{2} at^2 = 4.8 \times 10^4 \text{ J}$

前 2 s 内的平均功率 $P_1 = \frac{W}{t} = 2.4 \times 10^4 \text{ W}$

(2) 2 s 末的瞬时功率 $P_2 = Tv = (mg + ma) v = 4.8 \times 10^4 \text{ W}$

选题意图: 加深对平均功率、瞬时功率的理解; 对比平均功率、瞬时功率的计算, 提高学生对过程量与状态量的差异的认识。

4. 讨论: 购买家用轿车, 是否选择功率越大的越好?

解答: 并非功率越大越好, 应将舒适性和节能减排等因素综合考虑。

选题意图: 多角度分析家用轿车的选择, 渗透节能减排、保护环境意识。

四、作业解答

1. 关于某力做功的功率, 下列说法正确的是

- A. 该力越大, 其功率就越大
 B. 该力在单位时间内做的功越多, 其功率就越大
 C. 功率越大, 说明该力做的功越多
 D. 功率越小, 说明该力做功的时间越少



解答: B

通过控制变量比较。由 $P = Fv$, $W = Pt$ 知, 当公式中一物理量不变时, 另两个物理量变化具有唯一相关性, 故 A 错误, B 正确; 功率描述做功的快慢, 故 C、D 错误。

2. 一质量为 m 的物块沿倾角为 θ 的斜面滑下, 到达斜面底端时的速度大小为 v , 此时重力做功的瞬时功率是

- A. mgv B. $mgv \sin \theta$ C. $mgv \cos \theta$ D. $mgv \tan \theta$

解答: B

由公式 $P = Fv \cos \alpha$ 可得, 重力做功的瞬时功率 $P = mgv \cos (90^\circ - \theta) = mgv \sin \theta$ 。

3. 如图所示, 某同学的质量为 50 kg, 自行车的质量为 15 kg, 设该同学骑自行车在平直路面上匀速行驶时所受阻力为人车总重的 4%, 克服阻力做功的功率为 260 W。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 求该自行车匀速行驶的速度大小。



第3题

解答: 自行车匀速行驶时有

$$F = f = 0.04 mg = 0.04 \times 650 \text{ N} = 26 \text{ N}$$

$$\text{根据 } P = Fv \text{ 得 } v = \frac{P}{F} = \frac{260}{26} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$$

故在平直路面上匀速行驶时, 自行车的速度为 10 m/s。

4. 重量为 G 的某汽车, 最大功率为 P_m , 在平直公路上以速度 v 匀速行驶时, 汽车发动机的功率为 P 。

(1) 求汽车所受的阻力。

(2) 若汽车在倾角为 α 的坡路以最大功率匀速向上行驶时, 所受路面和空气的阻力大小之和与 (1) 中所求阻力大小相等, 求此时汽车的速度。

解答: (1) 汽车匀速行驶时 $P = Fv$

$$\text{所以 } f = F = \frac{P}{v}$$

(2) 重力沿坡路向下的分量 $F_G = G \sin \alpha$

$$\text{所以 } v_2 = \frac{P_m}{F_2} = \frac{P_m}{f + G \sin \alpha} = \frac{P_m v}{P + mgv \sin \alpha}$$

5. 用体重计测量你的质量, 用卷尺测量一段楼梯的高度, 如图所示。试用最快速度跑上这段楼梯, 并记录所用时间。请估算此过程中你克服重力所做功的平均功率。



第5题

解答: 测量人的质量 m 、一段楼梯的高度 h , 记录所用的时间 t 。

$$\text{此过程中克服重力所做功的平均功率 } P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t}。$$

(学生根据实际测量值计算其平均功率, 加强对功率大小的感知)

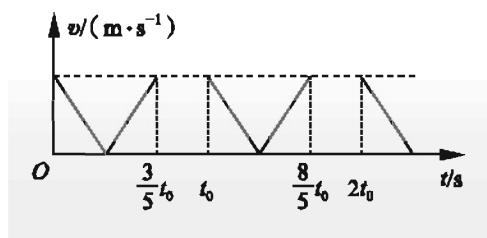
6. 跳绳是一种健身运动。一位同学在原地跳绳过程中, 离开地面后竖直方向的速率—时间图像如图所示。若已知 t_0 和跳绳者的质量 m , 重力加速度为 g , 不计阻力, 请估算:



- (1) 跳绳者重心上升的最大高度；
(2) 跳绳者克服重力做功的平均功率。

解答：(1) 由题可知，离地上升时间 $t_1 = \frac{1}{2} \times \frac{3}{5} t_0 = \frac{3}{10} t_0$ ，所以 $h = \frac{1}{2} g t_1^2 = \frac{9}{200} g t_0^2$ 。

(2) 因为 $W_G = mgh$ ，所以 $P = \frac{W_G}{t_0} = \frac{9}{200} m g^2 t_0$ 。



第6题

五、课程资源

发动机排量、扭矩和功率的关系

普通汽车发动机以四个冲程为一个循环，此技术是由德国科学家尼古拉斯·奥托于1876年发明的，所以又叫奥托循环。一个奥托循环分为四个步骤：进气、压缩、做功、排气。

排量是液压传动专用术语，指每行程或每循环吸入或排出的流体体积。通常排量大，单位时间发动机所释放的能量（即将燃料的化学能转化为机械能）就大，也就是“动力性”好。就好像一个十多岁的男孩与一个健康的成年人相比，当然是成年人干体力活效率更高。所以，越野车、跑车通常排量相对较大。

活塞从上止点移动到下止点所通过的工作容积称为气缸排量；如果发动机有若干个气缸，所有气缸工作容积之和称为发动机排量。一般用升（L）来表示。发动机排量是最重要的结构参数之一，它比缸径和缸数更能代表发动机的大小，发动机的许多指标都同排气量密切相关。

采用传统发动机技术，要获得强劲动力就要选择大排量发动机。然而，TSI（Twincharged Stratified Injection）技术改变了这种传统认识。采用缸内直喷和增压技术的TSI发动机，能够产生相当于更大排量的传统发动机的动力。例如，1.4TSI发动机可以产生2.0L传统发动机的动力，1.8TSI可以产生2.3 ~ 2.5L传统发动机的动力。所以，不能简单以排量来推断发动机的动力。然而，大排量发动机油耗超过小排量发动机是一个不争的事实，TSI发动机以低油耗提供更大排量的动力，符合技术发展方向和消费者需求，日益受到广大消费者的欢迎。

扭矩是使物体发生转动的一种特殊的力矩。发动机的扭矩指发动机从曲轴端输出的力矩。在功率固定的条件下，它与发动机转速成反比关系，转速越大，扭矩越小，反之越大。它反映了汽车在一定范围内的负载能力。外部的扭矩叫转矩或外力偶矩，内部的叫内力偶矩或扭矩。高扭矩带来的最直接感受就是人们常说的“推背感”，而功率则反映出车辆持续高速行驶的能力。最大扭矩和最大功率的数值越高，说明车辆的动力性能越好。

功率指物体在单位时间内所做的功。功率越大转速越高，汽车的最高速度也越高，常用最大功率来描述汽车的动力性能。最大功率一般用公制马力（PS）或千瓦（kW）来表示，1 PS = 0.735 kW。

我们学过公式 $W = Fs$ ，它告诉我们做功需要具备两个条件：一是有力，二是沿着力方向发生位移。而功率是单位时间内做的功， $P = \frac{W}{t}$ ，也就是说 $P = F \cdot \frac{s}{t}$ ，而 $\frac{s}{t}$ 就是速度。这样看来，如果



力相同的情况下，想得到更大的功率关键在速度。而在发动机里，曲轴的线速度 $v = \text{曲轴的角速度 } \omega \times \text{曲轴半径 } r$ ，代入上式得：功率 $P = \text{力 } F \times \text{半径 } r \times \text{角速度 } \omega$ ；而力 $F \times \text{半径 } r = \text{扭矩 } T$ ，得出：功率 $P = \text{扭矩 } T \times \text{角速度 } \omega$ 。至此，我们知道了发动机的功率 P 是发动机扭矩 T 和角速度 ω 的乘积，要想彻底弄清发动机的功率和扭矩对车的哪些性能有何影响，我们要对角速度 ω 进行分析。角速度 ω 就是 1 s 内发动机飞轮转过的角度。

根据公式 $P = T\omega$ ，如果要保持恒定的功率，在转速很小的时候，扭矩将趋于无穷大，这显然是不可能的，这时只能输出最大的扭矩。直到达到一个角速度，在这个角速度下 $P_{\max} = T_{\max}\omega$ ，这个角速度对应的转速被称为“基速”（base speed）。转速超过这个速度后，从公式可以看出由于最大输出功率的限制，随着转速的增加，扭矩的输出逐渐降低。对于理想的发动机来说，从 0 到基速这段区域被称为恒扭矩区，而从基速到最高转速被称为恒功率区。理论上，只有在发动机转速为基速时，才可以同时达到峰值功率和峰值扭矩的输出。

但是，有一点往往被很多消费者忽略，那就是发动机是在什么转速下产生这个最大功率和最大扭矩的？有些发动机最大功率或最大扭矩的数值很高，但是，要在发动机转速超过 5 000 r/min，甚至 6 000 r/min 才能够产生，而我们日常驾驶中常用的转速大多在 2 000 ~ 4 000 r/min。那么，这样的最大功率或最大扭矩在实际驾驶中就很少甚至根本没有机会用到。所以，在参考发动机动力参数时，只看最大功率和最大扭矩的数值是不够的，还要关注我们日常驾驶中最常用到的发动机转速范围内所产生的功率和扭矩水平。TSI 发动机的一个重要优势，就在于它能够在低转速时产生高功率以及最大扭矩，并可在一个宽转速范围内持续输出，带来饱满持续的强劲动力。





● ● 第3节 动能和动能定理 ● ●

一、教学要求与重难点

(一) 教学要求

1. 知道动能的大小和哪些因素有关，会根据动能的表达式计算物体的动能。
2. 能基于观察和探究设计实验方案，探究力做功与动能改变的关系，并实施实验方案，采集数据，进行数据处理，得出结论。
3. 能借助牛顿第二定律，推导出动能定理。
4. 初步领会运用动能定理解题的优越性，理解做功的过程就是能量转化或转移的过程，会用动能定理解释处理有关实际问题。
5. 知道动能定理可用于变力做功与曲线运动的情境，能运用动能定理计算变力所做的功。

(二) 重难点分析

本节重点是能科学探究功与动能改变的关系，借助牛顿第二定律，推导出动能定理。这是本章学习的第一个功能关系，也是力学中最核心的功能关系。

本节难点是会用动能定理处理有关实际问题，特别是动能定理在变力做功和曲线运动中的应用，领会运用动能定理解题的优越性。初学者往往习惯用动力学观点解释和分析物理问题，学习动能定理后，教师要引导学生逐步建立能量观念，用功能关系分析问题，让学生逐渐体会利用能量观念分析解决问题的简捷性。





二、教材分析与教学建议

教材要点解读

第3节

动能和动能定理

运动的物体可以做功,说明物体运动时具有能量。例如,台风、龙卷风(图1-10)等强烈的空气流动具有巨大的能量,可以拔起大树、掀翻汽车甚至摧毁房屋。运动的物体具有的能量与哪些因素有关?其变化与功有着怎样的关系?本节将深入学习动能和动能定理。



图 1-10 龙卷风

1. 动能

物理学中把物体因运动而具有的能量称为动能(kinetic energy)。人类利用动能已有很长的历史。例如,在船上加挂风帆,利用气流的动能推动帆船前进;制造风车和水车,利用气流和水流的动能从事各种生产活动。现在,我们能更广泛、更有效地利用气流和水流的动能来进行发电等活动。

那么,物体动能的大小与哪些因素有关?让我们通过一个小实验来回顾初中物理介绍过的内容。

实验实验

影响小车动能大小的因素

如图1-11所示,同一小车从斜面的不同高度处由静止开始下滑,撞击放在水平面上的木块。可以发现,小车开始下滑时的高度越高,木块被撞击后运动的距离越大。

质量不同的小车从斜面的同一高度处由静止开始下滑,撞击放在水平面上的木块。可以发现,小车的质量越大,木块被撞击后运动的距离越大。



图 1-11 实验装置

本节内容是本章的核心。高中阶段第一次认识的能量及其变化规律,对认识后续学习其他形式的能量有很好的借鉴意义。教材通过“迷你实验室”中定性得出结论,物体的动能与质量和速度有关系,然后定义了动能的定量表达式。接下来通过“实验与探究”,试图定量地研究力做功与动能变化的关系,进一步通过理论探讨得出动能定理。

教学建议:

建议本节用2课时完成,动能和动能定理的基本理解用1课时,动能定理的应用用1课时。

动能的引入:

案例1:台风具有巨大的能量,可以拔起大树、掀翻汽车、摧毁房屋。台风具有的能量是什么能?这种能与哪些因素有关?

案例2:观看有关海啸的视频,认识海啸强大的破坏力,思考:海啸中海水的哪种能量会造成如此大的破坏力?这种能量与哪些因素有关?



教材要点解读

“恒力做功与动能改变的关系”为探究性实验。在掌握了“探究加速度与力、质量的关系”实验的基础上，学生基本具有知识迁移而自主设计出本实验方案的能力。实际上还可以设计在变力做功情况下探究功与动能变化关系的实验方案，这种探究更具有普遍意义。考虑到中学生接受能力和广大中学实际情况，教材采用了相对简易可行的方案来进行探究。

教学建议：

教材从最简单的恒力做功入手来研究功与动能改变的关系，可以提出几个问题：①这个实验要测量哪些物理量？每个物理量可以用什么器材测得？②可以用什么装置，以什么实验方案，来达到探究目的？③实验过程要注意哪些问题？④本实验是如何测定小车所受合力的？为了较准确地测定小车的合力，需要有哪些注意事项？⑤实验中怎样测出合力做的功？⑥如何测出小车在某段时间内动能的改变量？

还可以引导学生探讨有无其他恒力做功的探究方案。若学生水平较高，可以进一步讨论可否更换实验器材，设计其他方案探究变力做功与动能变化的关系。恒力与变力，哪种力做功与动能变化关系的探究更具有普遍意义？教材为何会采用恒力做功的探究方案？

Physics

第1章 功和机械能

由以上实验可以看出，动能的大小与物体的质量和运动速度有关。物体的质量 m 越大，速度 v 越大，其动能就越大。在物理学中，物体的动能 E_k 表示为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

动能是标量，它的单位与功的单位相同，在国际单位制中都是焦耳，符号为 J。从上式也可以看出

$$1 \text{ kg} \cdot (\text{m/s})^2 = 1 \text{ kg} \cdot (\text{m/s}^2) \cdot \text{m} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ J}$$

2. 恒力做功与动能改变的关系

在“迷你实验室”中，小车通过撞击对木块做功，使木块从静止开始运动，木块的动能从无到有。滚动的保龄球具有动能，当其克服球瓶阻力做功时，动能减小（图 1-12）。那么，若外力对物体做功，该物体的动能总会增大吗？若物体克服外力做功，该物体的动能总会减小吗？做功与动能的改变之间究竟有什么关系？



图 1-12 保龄球撞击球瓶

我们从简单的情况入手，通过实验来探究恒力做功与动能改变的关系。



实验与探究

恒力做功与动能改变的关系

要研究恒力做功与动能改变的关系，需要测出作用于物体的力、物体的位移，以及物体的质量和速度，求出恒力所做的功和物体的动能，然后进行比较。

用打点计时器测小车的位移和速度，用天平测小车的质量，用钩码给小车提供作用力。此实验的装置与“探究加速度与力、质量的关系”的实验装置基本相同。思考实验中如何平衡摩擦力？如何让小车所受的合力近似等于钩码的重力？为什么？

如图 1-13 所示，用细线通过定滑轮连接小车与钩码，纸带通过打点计时器与小车相连。实验中，通过改变钩码数量来改变小车所受拉力的大小，测出需要测的物理量，然后算出每次拉力做的功及相应的小车动能的改变量。比较二者之间的关系，可以得出什么结论？

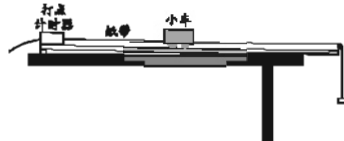


图 1-13 实验装置示意图

3. 动能定理

运用牛顿第二定律和匀变速直线运动的规律，可推导出恒力对物体做功与物体动能改变的关系。

设一个物体的质量为 m ，初速度为 v_1 ，在与其运动方向相同的合外力 F 的作用下经过一段位移 s 后，速度增加到 v_2 （图 1-14）。根据牛顿第二定律和匀变速直线运动的规律

$$F = ma$$

$$s = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

可得 $Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$



图 1-14 物体在恒力作用下速度变化的示意图

用 W 表示合外力 F 在这一过程中所做的功，用 E_{k1} 表示物体的初动能 $\frac{1}{2}mv_1^2$ ，用 E_{k2} 表示物体的末动能 $\frac{1}{2}mv_2^2$ ，于是有

$$W = E_{k2} - E_{k1}$$

上式表明，合外力对物体所做的功等于物体动能的变化量。这个结论称为动能定理（theorem of kinetic energy）。从上式可以看出，当合外力对物体做正功时，物体的末动能大于初动能，动能增大。例如，在汽车加速的过程中，牵引力和阻力的合力对汽车做正功，汽车的动能增大。当合外力对物体做负功，或者物体克服合外力做功时，物体的末动能小于初动能，动能减小。例如，在汽车刹车的过程中，阻力对汽车做负功，汽车的动能减小。我们可用合外力做功的多少来量度物体动能的变化量。

可以证明，动能定理在物体受到变力作用或做曲线运动的情况下也是成立的。动能定理是物理学的重要规律。通过它，我们既可用做功的多少来量度动能的变化量，也可用动能的变化量来确定做功的多少，这为分析力学问题提供了新的思路。

例题

如图 1-15 所示，一辆汽车正以 $v_1 = 72 \text{ km/h}$ 的速度匀速直线行驶，司机发现在前方 150 m 处停有一故障车辆，马上进行刹车操作。设司机的反应时间 $t_1 = 0.75 \text{ s}$ ，刹车时汽车受到的阻力为重力的 $\frac{1}{2}$ ，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。请计算从发现故障车至停下，汽车在这段时间内发生的位移，据此判断这两辆车是否会相撞。



图 1-15 急刹车情景的示意图

教学建议：

教材中例题的教学，建议教师可以按下述步骤展开：

（1）学生活动 1：对教材中的例题运用牛顿运动定律与运动学的公式，联立求解。

（2）学生活动 2：本题是恒力作用下的直线运动，明确要求学生用合外力做功与动能变化之间的关系解题。

（3）教师对学生的解题情况进行评析，引导学生对这两种方法进行比较，让学生体会到应用动能定理处理问题的优点，明确在不涉及时间因素，或不要求具体的细节问题时，利用动能定理解题，往往更加简便。帮助学生形成正确的解题思想，学会从物理规律本身的特点出发考虑选用合适规律解决问题。

动能定理的推导是学生必须掌握的重点内容。需要注意的是，动能变化的原因是合外力做功。教材是由恒力作用下的直线运动得出结论的。进一步深入研究可以证明，在变力作用或者做曲线运动时这个结论也成立。这个结论的证明需要将变力作用下的曲线运动分割成无数段恒力作用下的运动来解决，与处理变力做功类似，引入了微积分解决问题的思想，是否在课堂上探讨可根据实际情况选择。



教材要点解读

在中学阶段，由于学生数学知识的局限，在定量分析运动情况时，牛顿运动定律通常只能解决恒力作用、直线运动的相关问题。动能定理虽然是由牛顿第二定律导出的，但是应用范围更加广泛：变力做功、曲线运动等也可以用动能定理进行相关处理。

动能定理表述了合力做功与动能改变的关系，合力做的功可以由各个力做的功求和得到，而每一个力做功，一定对应着某种形式的能量发生了改变。因此，动能定理其实是定量描述了其他形式的能和动能之间的相互转化规律，其本质是能量守恒定律。

教学建议：

教学中注意让学生体会何时应用动能定理解题，以及用动能定理解题的注意事项。当物理情境中涉及较多的力、位移、初末速度时，可以考虑是否选用动能定理来分析相关问题。合外力做功是动能变化的原因，动能改变多少可以用合外力的功来量度；动能定理是标量式；研究对象通常是单个物体；利用动能定理解决物体受到变力作用或者做曲线运动时往往比较简捷。

Physics

第1章 功和机械能

分析

在司机的反应时间内，后车做匀速直线运动，位移 $s_1 = v_1 t_1$ 。后车刹车后，在水平方向只受到阻力 $F_{\text{阻}}$ 的作用，发生的位移为 s_2 。根据已知条件，运用动能定理即可求出 s_2 ，若 $s_1 + s_2 < 150 \text{ m}$ ，则两车不会相撞。

解

设后车刹车时所受阻力为 $F_{\text{阻}}$ ；司机反应时间内后车的位移为 s_1 ；从开始刹车到停止，后车的位移为 s_2 。后车受力分析如图 1-16 所示。

由题意可知 $v_1 = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$ ， $F_{\text{阻}} = \frac{1}{2} mg$ 。

由匀速直线运动公式可得

$$s_1 = v_1 t_1 = 20 \times 0.75 \text{ m} = 15 \text{ m}$$

由动能定理得

$$-F_{\text{阻}} s_2 = 0 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

整理得

$$s_2 = \frac{m v_1^2}{2 F_{\text{阻}}} = \frac{v_1^2}{g} = \frac{20^2}{10} \text{ m} = 40 \text{ m}$$

发现故障车至停下汽车发生的位移为

$$s = s_1 + s_2 = 55 \text{ m}$$

$s < 150 \text{ m}$ ，故两车不会相撞。

讨论

从计算结果看，后车不会与前车发生追尾。为避免交通事故，汽车在行驶中保持一定安全距离是很重要的。通常车速越大，需要保持的安全距离也越大。

《中华人民共和国道路交通安全法》规定，机动车在道路上行驶，不得超过限速标志标明的最高时速。你能从物理学的角度说明该规定的理由吗？

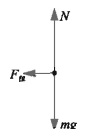


图 1-16 受力分析示意图



策略提炼

若研究的问题只涉及力、位移与物体运动的初、末状态，用动能定理求解通常比用牛顿运动定律求解简便得多。

对于一些变力做功问题，利用功的计算公式很难求解，通常可利用动能定理求解。

迁移

运用动能定理不仅可以较简便地求解一些恒力做功问题，还可求解一些特殊情况下的变力做功问题。请你解答下面的问题。

雨滴在空中下落时会受到空气阻力，空气阻力 f 的大小与雨滴下落速率 v 的二次方成正比，即 $f = kv^2$ ，其中 k 为常数。若质量为 m 的雨滴，从高 h 处以初速度 v_0 竖直加速下落，接近落地前开始做匀速直线运动。已知重力加速度为 g ，求该雨滴从高处下落到地面的过程中，空气阻力对其所做的功。



三、课堂教学活动资源

(一) 例题迁移

运用动能定理不仅可以较简便地求解一些恒力做功问题,还可求解一些特殊情况下的变力做功问题。请你解答下面的问题。

雨滴在空中下落时会受到空气阻力,空气阻力 f 的大小与雨滴下落速率 v 的二次方成正比,即 $f=kv^2$,其中 k 为常数。若质量为 m 的雨滴,从高 h 处以初速度 v_0 竖直加速下落,接近落地前开始做匀速直线运动。已知重力加速度为 g ,求该雨滴从高处下落到地面的过程中,空气阻力对其所做的功。

解答:当雨滴匀速运动时满足 $f=mg$,即 $kv^2=mg$,故末速度 $v=\sqrt{\frac{mg}{k}}$,根据动能定理得

$$mgh + W_f = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2, \text{ 解得 } W_f = \frac{m^2g}{2k} - \frac{1}{2}mv_0^2 - mgh。$$

(二) 迷你实验室

同一小车从斜面的不同高度处由静止开始下滑,撞击放在水平面上的木块。可以发现,小车开始下滑时的高度越高,木块被撞击后运动的距离越大。



图 1-11

质量不同的小车从斜面的同一高度处由静止开始下滑,撞击放在水平面上的木块。可以发现,小车的质量越大,木块被撞击后运动的距离越大。

分析:可以让学生课后自己动手做这个简单的实验,观察现象得出结论,并总结得出的结论是否与教材中的结论一致。

(三) 课堂练习或知识点的检测

1. 质量为 m 的物体,从高出沙坑 H 处自由落下(不计空气阻力),陷入沙坑 h 后静止,求物体在沙坑中受到的平均阻力的大小。

解答:全过程由动能定理得 $mg(H+h) - fh = 0 - 0$

$$\text{解得 } f = \frac{mg(H+h)}{h}$$

选题意图:可以要求学生分别用牛顿运动定律结合运动学公式、分阶段用动能定理以及全过程用动能定理求解。比较以上解法,体会用动能定理解题全程列式的优越性,总结何时用动能定理解题更简便。

2. 一列火车的质量为 $5 \times 10^5 \text{ kg}$,在平直的轨道上以额定功率 3000 kW 加速行驶。当速度由 10 m/s 增加到最大速率 30 m/s 时共用 5 min 。设火车运动过程中阻力不变,求这段时间内列车前进的距离。



解答：对火车有 $Pt - fs = \frac{1}{2}mv_m^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ ，速度最大时 $f = F = \frac{P}{v_m}$ ，联立得 $s = v_m t - \frac{m(v_m^3 - v_0^2 v_m)}{2P}$ ，代入数据解得 $s = 7000 \text{ m}$ 。

选题意图：常应用动能定理来处理物体在变力作用下的运动。本题作为教材利用动能定理处理恒力作用下的运动的补充。

四、作业解答

1. 若汽车行驶速度增加为原来的 2 倍，则该车从开始刹车到停下的距离约将增大为原来的 4 倍。请你从动能定理的角度加以解释。

解答：设刹车时汽车受到的阻力为 f ，刹车前的行驶速度为 v ，从刹车到停下的距离为 s 。根据动能定理可知： $-fs = 0 - \frac{1}{2}mv^2$ ，可得 $s = \frac{mv^2}{2f}$ ，所以当汽车行驶速度增加为原来的 2 倍时，该车的刹车距离约将增大为原来的 4 倍。

2. 2017 年 5 月 5 日，我国自行研制的大型喷气式客机 C919 首飞成功，标志着我国大型客机项目取得重大突破。假设飞机在水平跑道上的滑跑是初速度为 0 的匀加速直线运动，当位移 $s = 1.6 \times 10^3 \text{ m}$ 时才能达到起飞所要求的速度 $v = 80 \text{ m/s}$ 。已知飞机质量 $m = 7.0 \times 10^4 \text{ kg}$ ，滑跑时受到的阻力为自身重力的 0.1，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，求：

- (1) 飞机起飞时的动能；
- (2) 飞机滑跑过程中受到的牵引力。

解答：(1) 起飞时飞机的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 7.0 \times 10^4 \times 80^2 \text{ J} = 2.24 \times 10^8 \text{ J}$$

- (2) 根据动能定理得 $(F - f)s = E_k - 0$

解得 $F = 2.1 \times 10^5 \text{ N}$

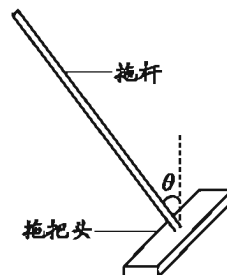
3. 质量为 m 的汽车在平直公路上行驶，发动机的功率 P 和汽车受到的阻力 $f_{\text{阻}}$ 均恒定不变。在时间 t 内，汽车的速度由 v_0 增加到最大速度 v_{max} ，则此段时间内汽车沿直线运动的距离为多少？

解答：由题可知 $Pt - f_{\text{阻}}s = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

速度最大时 $f_{\text{阻}} = F = \frac{P}{v_{\text{max}}}$

$$\text{可得 } s = \frac{2Pt - mv_{\text{max}}^2 + mv_0^2}{2f_{\text{阻}}} = v_{\text{max}}t - \frac{mv_{\text{max}}^3 - mv_0^3}{2P}$$

4. 拖把是由拖杆和拖把头构成的清洁工具，如图所示。若某同学保持拖杆与竖直方向的夹角 $\theta = 37^\circ$ ，并用沿拖杆方向的恒力 $F = 30 \text{ N}$ 推动拖把头，使其由静止开始在水平地面沿直线运动，位移 $s = 1 \text{ m}$ 。已知拖把头的质量 $m = 1.6 \text{ kg}$ ，不计拖杆质量，拖把头与地面间的动摩擦因



第 4 题



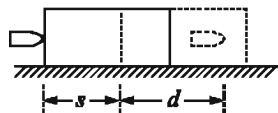
数 $\mu = 0.3$, 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$, 求:

- (1) 摩擦力对拖把头做的功;
- (2) 拖把获得的动能。

解答: (1) 由题可知, $F_N = F \cos \theta + G$, $f = F_N \mu$, 所以 $W_f = -fs = -12 \text{ J}$ 。

(2) 由题可知, $W = (F \sin \theta - f) s = E_k$, 所以 $E_k = 6 \text{ J}$ 。

5. 如图所示, 木块放在光滑水平面上, 一颗子弹水平射入木块。已知子弹受到的平均阻力为 $F_{阻}$, 射入深度为 d , 在此过程中木块的位移为 s , 求子弹动能的减少量和木块动能的增加量。



第5题

解答: 对子弹运用动能定理得, $-F_{阻}(s+d) = \Delta E_{k \text{ 子弹}}$, 故子弹损失的动能为 $F_{阻}(s+d)$; 对木块运用动能定理得, $F_{阻}s = \Delta E_{k \text{ 木块}}$, 则木块的动能增加量为 $F_{阻}s$ 。

*6. 假设某地强风的风速为 v , 空气密度为 ρ 。如果把通过横截面积 S 的风的动能转化为电能, 转化效率为 η , 请写出电功率的表达式。

解答: t 时间内通过横截面积 S 的风的动能为 $E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \rho S v t \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho S v^3 t$

该时间内获得的电能 $W = E_k \times \eta$

故电功率的表达式为 $P = \frac{W}{t} = \frac{1}{2} \eta \rho S v^3$

五、课程资源

什么是能量

有一个事实, 也可以说是一条定律, 支配着迄今为止我们知道的一切自然现象, 还没有发现这条定律有任何例外——就我们所知, 它是绝对精确的。这条定律称为能量守恒定律。它指出, 在自然界发生的多种多样的变化中, 有一个量(我们称之为能量)是不变的。这是一个极抽象的概念, 因为它是一个数学原理; 它说的是有一个数量, 它在某件事情发生时保持不变。它不是对一种机制或者任何具体东西的描述, 只是一个奇怪的事实: 我们可以计算某个数值, 等我们看完大自然玩了一场魔术后, 再来计算这个数值, 两次结果相同。由于它是一个抽象概念, 我们用一个类比来说明它的意义。

想象有个孩子, 我们就叫他淘气鬼丹尼斯吧, 还有一堆积木, 这些积木绝对不会损坏, 也不能分成更小的块。我们假设他有 28 块积木。每天早上, 他妈妈把他连同他的 28 块积木, 一起留在一个房间里, 到了晚上, 他妈妈出于好奇, 仔细地堆积木进行了点数, 于是发现了一条定律, 积木的数目总是 28 块。这种情况持续了若干天, 直到有一天积木只有 27 块了, 但是她稍做寻找, 那就发现地毯下面还有一块, 她必须到处都看看, 才能确认积木数目有没有变化。可是有一天积木数目变了, 只有 26 块。仔细调查表明窗户开了, 向外一看, 两块积木在那儿。另一天仔细数过之后, 表明共有 30 块积木, 这使她相当惊愕, 后来才知道, 布鲁斯曾带着他的积木来玩儿过, 走的时候留下几块在丹尼斯的房间。她拿走了额外的积木, 关上窗户, 并且不让布鲁斯进来, 此后一切都很



正常。然而有一次她点数以后，发现只有 25 块积木，但是，房间里面有一个玩具箱，妈妈走过去要打开箱子，可是孩子尖叫着不让妈妈打开箱子。妈妈十分好奇，她想出了一个主意，她知道，每块积木重 80 克，玩具箱里有 28 块积木时，她曾称过玩具箱的质量是 450 克。这次她想核对一下，于是就再次称了箱子的质量，然后减去 450 克，再除以 80 克，她发现

$$\text{看见的积木数} + (\text{箱子质量} - 450 \text{ 克}) / 80 \text{ 克} = \text{常数} \quad ①$$

后来有一次又出现了新的偏差，妈妈仔细观察后发现，浴缸里的脏水高度变了，孩子把积木扔到了水里，可是水太脏，她看不见它们，但是她能求出有多少块积木在水里，这只要在她的公式里边加上一项。妈妈知道原来的水面高 15 厘米，且每块积木使水面升高 0.6 厘米，新的公式是

$$\text{看见的积木数} + (\text{箱子质量} - 450 \text{ 克}) / 80 \text{ 克} + (\text{水面高度} - 15 \text{ 厘米}) / 0.6 \text{ 厘米} = \text{常数} \quad ②$$

于是，在她的这个越来越复杂的世界里边，她发现了一系列用来计算有多少块积木藏在让她看的地方的项。结果她得到了一个计算数量的复杂公式，无论孩子怎么玩，这个量永远不变。

这同能量守恒有什么相似之处呢？抽象地说，必须从这幅图景中除去的最显著的一点就是，根本没有积木。从①式和②式，我们发现自己是在做一些抽象的计算。上述比较的相似之处有以下几点。第一，我们在计算能量时，有时它的一部分离开系统跑出来，有时又有一些跑进去。为了验证能量守恒，我们必须注意不把任何能量放进去或者取出来。第二，能量有多种不同的形式，每种形式有一个表示能量的公式。这些形式是引力能、动能、热能、弹性能、电能、化学能、辐射能、核能。如果我们把每种能量的公式全都加在一起，它的总量就不会变化，除非有能量进出。

重要的是认识到，在今天的物理学中，我们并不知道能量究竟是什么。我们不能把能量想像为确定大小的小团。它不是那样的。但是，有一些公式可以用来计算某个数量，当我们把这些数量全部都加在一起，就得出“28”——总是相同的数目。这是一个抽象的东西，并不告诉我们各个公式的机制或原因。

参考资料

(美) R.P.Feynman. 等著. 费恩曼物理学讲义第 1 卷 [M]. 郑永令. 等译. 上海: 上海科学技术出版社, 2015.





第4节 势能及其改变

一、教学要求与重难点

(一) 教学要求

1. 理解重力势能的概念，会用重力势能的定义式进行计算。知道重力势能具有相对性和系统性。
2. 能推导并理解重力做功与路径无关的特点，在推导中体会分析综合、推理论证、从特殊情况到一般规律的科学思维方法。
3. 知道重力势能的变化与重力做功的关系，并能解释生产生活中的有关问题。
4. 了解弹性势能变化与弹力做功的关系，并能解释实际问题。进一步形成能量变化可用功来量度的观念。
5. 能借助实验探究重力势能和弹性势能与哪些因素有关，体会科学探究的过程，感受发现物理规律的乐趣。

(二) 重难点分析

本节重点是重力势能概念的建立、重力做功特点，以及重力做功与重力势能改变的关系。重力势能概念的建立和如何用功来量度重力势能的改变是非常重要的。重力势能是高中阶段学习的第一个势能，它的学习对其他势能的学习有极其重要的借鉴意义。弹性势能、分子势能、引力势能、电势能等概念的建立，势能改变与对应的保守力做功的关系，均与重力势能改变与重力做功的关系完全类似，可以与重力势能进行类比来学习。

本节难点是对重力势能有相对性、重力做功与重力势能改变之间的关系，以及弹性势能的理解。应让学生明确，重力做功与路径无关是定义重力势能的前提，重力势能的变化需用重力做功来量度，重力势能的变化与重力做功的关系是众多功能关系中较重要的一个。在弹性势能的学习过程中，一定要让学生充分体会类比迁移的研究方法，培养学生推理归纳的科学思维能力。





二、教材分析与教学建议

教材要点解读

本节内容可分为三个层次，一是重力势能基本概念的建立；二是进一步探讨重力做功特点及重力做功与重力势能变化的关系；三是弹性势能的定性学习。需要指出的是，弹性势能的特点与变化规律与重力势能完全类似，应充分借助重力势能的学习来类比和理解弹性势能。

通过一些自然现象，让学生体会到高处的物体都具有潜在的能量——重力势能，体现“从生活走向物理，从物理走向社会”的基本理念。重力势能的大小与哪些因素有关？教材利用“迷你实验室”进行探究，可以组织学生进行充分讨论。

第4节

势能及其改变

松软的白雪给人以恬静、美丽的印象。然而发生雪崩时（图 1-17），雪会以排山倒海之势摧毁沿途的一切，给自然界和人类带来灾难。雪崩破坏力强大是由于积雪处在一定高度而具有巨大的能量。这种能量有什么特点？它与积雪所处的高度有什么关系？与重力又有什么关系？本节将主要学习与重力势能及其改变有关的内容。



图 1-17 雪崩

1. 重力势能

物理学中，把物体因为处于一定的高度而具有的能称为重力势能（gravitational potential energy）。例如，高处的石头、打桩时被举高的重锤、水电站储存的水等，都具有重力势能。

物体重力势能的大小与哪些因素有关？我们先通过一个小实验来回顾初中物理学习过的内容。



迷你实验室

影响小球重力势能大小的因素

准备两个大小相同、质量不同的光滑小球，在一盒中放入适量细沙。

在沙盘上方同一高度由静止释放两小球，小球落入细沙时会出现什么现象？是否质量大的小球陷得更深？让同一个小球分别从不同的高度由静止落下（图 1-18），又会出现什么现象？是否释放位置越高小球陷得越深？对比以上两种现象，你能得出什么结论？



图 1-18 释放小球

教学建议：

重力势能的引入：

案例 1：建筑工地上工人为减轻高空坠物的危害，保护自身安全，都会戴上安全帽，高空中的物体为什么对地面物体具有危险性？

案例 2：打桩机重锤从高处落下，把水泥桩打入地面；水力发电站利用高处水流倾泻而下对水轮机做功。这说明高处的物体具有能量，可以对外做功，这种能就是本节要学习重力势能。

教材要点解读

通过“迷你实验室”的讨论，给出重力势能的公式。然后重点讨论了公式中高度的理解，并分析了重力势能的相对性和正负重力势能的意义。

教材给出图1-20和图1-21，目的是让学生体会重力做功与路径无关以及重力做功与重力势能的关系。得出结论：重力势能的变化只与重力做功有关，与其他力做功无关。初步感受保守力做功与势能变化间的关系。

图1-19 重力势能参考平面的选择

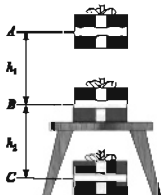


图1-19 重力势能参考平面的选择

由以上实验可知，重力势能的大小与物体的质量和所处的高度有关。物体的质量 m 越大，所处的高度 h 越高，重力势能就越大。在物理学中，物体的重力势能 E_p 表示为

$$E_p = mgh$$

重力势能是标量，它的单位与功的单位相同，在国际单位制中都是焦耳，符号为 J 。
对同一物体，重力势能的大小由物体所处的高度决定。物体所处的高度总是相对于一定的水平面而言，相对于不同的水平面，物体所处的高度是不同的。为了便于研究问题，我们一般先选定某一个水平面作参考。若把这个水平面的高度设为零，则物体在该水平面的重力势能也为零，这样的水平面称为零势能参考平面。例如，选定物体放在桌面上时重心所在的水平面 B 为零势能参考平面（图1-19），当质量为 m 的物体重心位于该参考平面上方高度为 h_1 的水平面 A 时，它的重力势能 $E_{pA} = mgh_1$ ；当物体放在桌面上时，它的重力势能 $E_{pB} = 0$ ；当物体放在地面上时，其重心在水平面 C 上，与水平面 B 的距离为 h_2 ，它的重力势能则为 $E_{pC} = -mgh_2$ 。

2. 重力做功与重力势能改变的关系

我们知道，滑雪者靠重力可沿山坡滑下（图1-20）。下面，我们通过对滑雪者滑雪模型的建构，进一步探索重力做功与重力势能改变的关系。

首先，建构滑雪者及其滑雪过程的物理模型。如图1-21所示，将滑雪者视为质量为 m 的物体（质点），物体从 A 点滑向 C 点，位移为 l ，与竖直方向的夹角为 θ ， A 点的高度为 h_1 ， C 点的高度为 h_2 。根据功的定义，物体从 A 点到 C 点过程中，重力做功为

$$W = mgl \cos \theta = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$$

上式的结果正好等于物体从 A 点竖直下落到 B 点过程中重力所做的功。这表明，从 A 点到 B 点和从 A 点到 C 点，虽然路径不同，但重力做的功是相同的。其实，理论上可证明，无论物体沿哪条路径下滑（如图1-21中的曲线），其重力做功皆为 $mgh_1 - mgh_2$ 。由此可知，重力做功与始末位置的高度差有关，与路径无关。因此，滑雪者无论沿什么路线下滑，无论雪坡平缓还是陡峭，只要其始末位置的高度差



图1-20 滑雪

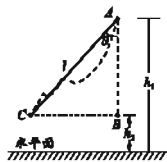


图1-21 分析滑雪过程重力做功的示意图

教学建议：

可以依据教材图，设置具体数据和不同运动情境，滑雪者沿不同路径从 A 到 B ，让学生算一算重力做功的具体值，充分体会重力做功与路径无关以及重力做功与重力势能变化的关系。同时，建议分析另一种情况，即重物从低处到达高处时重力做功与重力势能变化的关系。综合得出结论：重力势能的变化只与重力做功有关，与其他力做功无关。



教材要点解读

重力势能的具体值与零势能面的选取有关，而重力势能的变化值与零势能面的选取无关。其根本原因在于重力势能变化只与重力做功有关，而重力做功与初末位置高度差有关，与初末状态的具体位置坐标无关。

Physics

第1章 功和机械能

相同，重力做功就相同。

由重力做功的特点可知，重力做功与重力势能改变的关系为

$$W_G = E_{p1} - E_{p2} = -\Delta E_p$$

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

物体从高处下落的过程中， $W_G > 0$ ，重力做正功， $E_{p1} > E_{p2}$ ，重力势能减小；物体被举高的过程中， $W_G < 0$ ，重力做负功，即物体克服重力做功， $E_{p1} < E_{p2}$ ，重力势能增大。总之，重力势能的变化是由重力做功决定的：重力对物体做多少正功，物体的重力势能就减小多少；物体克服重力做多少功，物体的重力势能就增大多少。物体的重力势能值与参考平面的选取有关，是相对的；而重力势能的变化量与参考平面的选取无关。

实际上，高处的物体在下落时对外做功。因此，重力势能可视为一种被暂时存储起来的潜在能量。在生产生活中，人们根据需要将重力势能转化成其他形式的能量。例如，建筑工地常用的打桩机就是把重力势能转化为动能，从而把桩打入地下；在江河中修筑堤坝提高水位，就可以利用水的重力势能发电（图 1-22）。



物理趣吧

滑雪者下滑过程中会受到阻力的影响，甚至会受到滑雪杆或滑雪板的影响。在这种情况下，重力做功的多少会受到影响吗？



图 1-22 水力发电站利用水的重力势能发电

3. 弹性势能及其改变

在射箭比赛中，运动员的手一松开，拉开的弓在恢复原状的过程中就能把箭发射出去（图 1-23）。可见，发生弹性形变的物体在恢复原状的过程中能够做功，说明它具有能量。物理学中，把物体因为发生弹性形变而具有的能量称为弹性势能（elastic potential energy）。拉开的弓弦、上紧的钟表发条等都具有弹性势能。在弹簧被拉长或被压缩时，弹簧中就存储了弹性势能；在恢复原状的过程中，弹簧就对外做功。理论研究表明，物体的弹性形变越大，具有的弹性势能就越大，恢复原状时对外做的功就越多。

用劲度系数不同的两根弹簧做实验，会发现弹性势能还与弹簧的劲度系数有关。在同样的形变下，劲度系数越大的弹簧弹性势能越大。因此，在生产生活中，人们会根据需要选用不同劲度系数的弹簧。



图 1-23 拉开的弓存储了弹性势能



20

教学建议：

这里可以让学生思考和讨论：规定零势能面后，可否用重力做功来定义物体的势能值？加强对功是能量转化量度的认识，为后续学习时对引力势能、电势能、分子势能等概念的认识和理解打下基础。





教材要点解读

第4节 功和机械能



实验探究

小纸帽能弹多高

将圆珠笔里的弹簧取出，再用硬卡纸做小纸帽，套在弹簧上（图1-24）。用力把小纸帽往下压，使弹簧产生一定的弹性形变，然后迅速放手，看看小纸帽能弹多高。

用大小不同的力使弹簧产生大小不同的弹性形变，重复做几次，看看小纸帽弹起的高度有什么不同。

换用不同劲度系数的弹簧做此实验，看看小纸帽弹起的高度又有什么不同。



图1-24 实验装置示意图

在上面的实验中，弹簧在恢复原状的过程中对小纸帽做功。同时，随着弹簧迅速恢复到原状，弹性势能也减小到零，弹簧也就不再对外做功。研究表明，与重力做功的情况类似，弹簧的弹力对外做多少功，弹性势能就减小多少；反之，克服弹力做多少功，弹性势能就增大多少。

弹性势能和重力势能一样，都与物体间的相对位置有关：重力势能与物体和地球的相对位置有关，弹性势能与发生弹性形变的物体各部分的相对位置有关。人们把这类由相对位置决定的能量称为势能（potential energy）。势能是存储于一个物体系统内的能量，不是物体单独具有的，而是相互作用的物体所共有的。例如，重力势能是物体与地球所组成的“系统”共有的，没有地球，就谈不上重力，也谈不上重力势能。关于势能，我们在后面还将进一步学习。



节练习

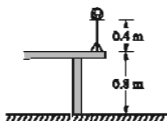
1. 如图所示，水平桌面距地面0.8 m，一质量为2 kg的小球放在距桌面0.4 m的支架上。小球可视为质点，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

(1) 以地面为零势能参考平面，计算小球具有的重力势能；若小球由支架落到桌面，重力势能减小多少？

(2) 以桌面为零势能参考平面，计算小球具有的重力势能；若小球由支架落到桌面，重力势能减小多少？

(3) 分析以上计算结果，你能得出什么结论？

2. 一举重运动员将质量为160 kg的杠铃从地面举到了1.8 m的高度。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。在此过程中，他对杠铃做了多少功？杠铃的重力势能改变了多少？



第1题

弹性势能与发生弹性形变的物体各部分之间的相对位置有关，这就像重力势能与重物和地球之间的相对位置有关一样，弹性势能变化的原因是弹簧弹力做了功，且弹性势能变化值与弹力做功的关系完全类似于重力势能变化与重力做功的关系。势能都是系统具有的。如果没有地球对物体的吸引，就不会有重力做功，也就不存在重力势能，平时所说物体的重力势能，只是一种简化的说法而已。在各种势能的学习和理解中，这种类比学习的思想非常重要。

教学建议：

这里可以让学生探讨重力势能与弹性势能概念的建立、势能变化与功之间的关系有何相似性，体会重力势能的学习对其他势能的学习有何借鉴意义。





三、课堂教学活动资源

(一) 迷你实验室

1. 准备两个大小相同、质量不同的光滑小球，在一盆中放入适量细沙。

在沙盆上方同一高度由静止释放两小球，小球落入细沙时会出现什么现象？是否质量大的小球陷得更深？让同一个小球分别从不同的高度由静止落下（图 1-18），又会出现什么现象？是否释放位置越高小球陷得越深？对比以上两种现象，你能得出什么结论？

解答：从同一高度释放，质量大的球陷入更深；同一个小球，从越高处摔下来陷入越深。这说明势能与质量和高度均有关，且质量越大，高度越大，重力势能越大。

2. 将圆珠笔里的弹簧取出，再用硬卡纸做个小纸帽，套在弹簧上（图 1-24）。用力把小纸帽往下压，使弹簧产生一定的弹性形变，然后迅速放开手，看看小纸帽能弹多高。

用大小不同的力使弹簧产生大小不同的弹性形变，重复做几次，看看小纸帽弹起的高度有什么不同。

换用不同劲度系数的弹簧做此实验，看看小纸帽弹起的高度又有什么不同。

解答：对同一弹簧，形变越大，小纸帽弹得越高，说明弹簧形变量越大，弹性势能越大；对不同弹簧，使其产生相同的弹性形变，劲度系数大的弹簧将小纸帽弹得高，说明弹性势能与劲度系数有关。

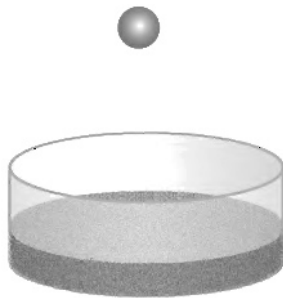


图 1-18

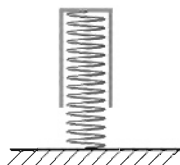


图 1-24

(二) 物理聊吧

滑雪者下滑过程中会受到阻力的影响，甚至会受到滑雪杆或滑雪板的影响。在这种情况下，重力做功的多少会受到影响吗？

解答：没有影响，重力做功的大小只与滑雪者所受到的重力大小以及下落的高度有关。

(三) 课堂练习或知识点的检测

1. 质量为 m 的物体，若从三楼楼顶运动至二楼楼顶，每层楼高 h ，分别以地面、二楼楼面、三楼楼面为参考平面，则该物体在三楼楼顶、二楼楼顶时势能分别为多大？势能的改变量又是多大？

解答：在三楼楼顶势能值分别为 $3mgh$ 、 $2mgh$ 、 mgh ，在二楼楼顶势能值分别为 $2mgh$ 、 mgh 、 0 ，势能改变量均为 $-mgh$ 。

选题意图：体会选取不同的零势能面对重力势能值和重力势能变化量的影响。

2. 讨论：为什么因为重力做功与路径无关才能定义重力势能？

解答：例如，质量为 m 的物体从 A 点运动到 B 点，若规定 B 点为零重力势能点，从 A 到 B ，重力的功 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB} = E_{pA}$ 。若 W_{AB} 与路径有关，重物在 A 处的重力势能值 E_{pA} 便有不同的值，重

物在A处的重力势能便不再有实际意义了。

选题意图：让学生体会定义势能的前提条件，加深对势能概念的理解。

3. 质量为 m 的均匀链条，长为 l ，开始时放在光滑的水平桌面上时，有 $\frac{l}{4}$ 的长度悬在桌子边缘，用手控制住链条上端，让链条缓缓滑离桌面，问从开始到链条刚好滑离桌面过程中，重力势能变化了多少？

解答：设桌面为参考平面，开始时重力势能

$$E_{p1} = -\frac{1}{4}mg \times \frac{1}{8}l = -\frac{mgl}{32}$$

$$\text{末态时 } E_{p2} = -mg \times \frac{1}{2}l = -\frac{mgl}{2}$$

$$\text{重力势能改变量 } \Delta E_p = E_{p2} - E_{p1} = -\frac{15}{32}mgl$$

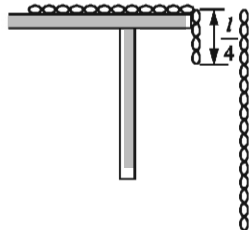


图 1-4-1

选题意图：解决形状不规则物体的重力势能的计算方法。通常有两种计算方法，一是找出总重心，重力乘以重心高度；二是各部分重力势能之和等于整个物体的重力势能。

四、作业解答

1. 如图所示，水平桌面距地面 0.8 m，一质量为 2 kg 的小球放在距桌面 0.4 m 的支架上。小球可视为质点，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

(1) 以地面为零势能参考平面，计算小球具有的重力势能；若小球由支架落到桌面，重力势能减小多少？

(2) 以桌面为零势能参考平面，计算小球具有的重力势能；若小球由支架落到桌面，重力势能减小多少？

(3) 分析以上计算结果，你能得出什么结论？

解答：(1) 以地面为零势能面，小球在支架上具有的重力势能为

$$E_{p1} = mgh_1 = [2 \times 10 \times (0.4 + 0.8)] \text{ J} = 24 \text{ J}$$

小球落到桌面上具有的重力势能为

$$E_{p2} = mgh_2 = (2 \times 10 \times 0.8) \text{ J} = 16 \text{ J}$$

故小球由支架落到桌面重力势能的减小量为

$$\Delta E_p = E_{p1} - E_{p2} = 24 \text{ J} - 16 \text{ J} = 8 \text{ J}$$

(2) 以桌面为零势能面，小球在支架上具有的重力势能为

$$E_{p3} = mgh_3 = (2 \times 10 \times 0.4) \text{ J} = 8 \text{ J}$$

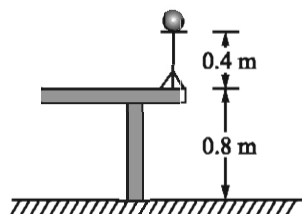
小球落到桌面上具有的重力势能为

$$E_{p4} = mgh_4 = (2 \times 10 \times 0) \text{ J} = 0 \text{ J}$$

故小球由支架落到桌面重力势能的减小量为

$$\Delta E_p = E_{p3} - E_{p4} = 8 \text{ J} - 0 \text{ J} = 8 \text{ J}$$

(3) 重力势能的大小与零势能面的选取有关，重力势能的改变量与零势能面的选取无关。



第 1 题



2. 一举重运动员将质量为 160 kg 的杠铃从地面举到了 1.8 m 的高度。取重力加速度 $g = 10\text{ m/s}^2$ 。在此过程中，他对杠铃做了多少功？杠铃的重力势能改变了多少？

解答：在此过程中，运动员对杠铃做功为 W ，由动能定理得

$$W - mgh = 0 - 0$$

$$\text{解得 } W = mgh = 2\,880\text{ J}$$

$$\text{杠铃的重力势能改变量 } \Delta E_p = -W_G = mgh = 2\,880\text{ J}$$

即重力势能增加 $2\,880\text{ J}$ 。

3. 质量为 m 的物体，在距地面高 h 处以 $\frac{2}{3}g$ 的加速度由静止竖直下落到地面。在此过程中，物体的重力势能和动能的变化量分别是多少？

解答：根据重力做功与重力势能变化的关系得

$$W_G = -\Delta E_p$$

由静止竖直下落到地面，在此过程中， $W_G = mgh$ ，所以重力势能减小了 mgh 。

在此过程中，根据牛顿第二定律得

$$F_{\text{合}} = ma = \frac{2}{3}mg$$

根据动能定理得

$$W_{\text{合}} = \Delta E_k = \frac{2}{3}mgh$$

所以，动能增加了 $\frac{2}{3}mgh$ 。

4. 以初速度 v_0 竖直向上抛出一质量为 m 的小球。假定小球所受的空气阻力 f 大小不变，已知重力加速度为 g ，求：

(1) 小球上升的最大高度；

(2) 小球返回原抛出点时的速率。

解答：(1) 由动能定理可知，对上升过程有

$$-mgh - fh = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

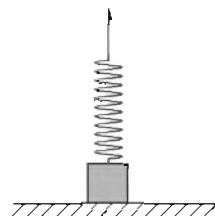
$$\text{解得 } h = \frac{mv_0^2}{2(mg + f)}$$

(2) 由动能定理可知，对全过程有

$$-2fh = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\text{解得 } v = \sqrt{v_0^2 - \frac{4fh}{m}} = \sqrt{\frac{mg - f}{mg + f}} v_0$$

5. 如图所示，质量为 M 的物体静止在地面上，物体上面连着一个轻弹簧。用手拉住弹簧上端将物体缓缓提升高度 H ，则人做的功



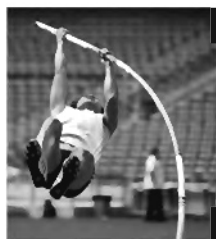
第5题

- A. 等于 MgH B. 小于 MgH C. 大于 MgH D. 无法确定

解答: C

拉力做功等于弹簧弹性势能变化量与物体重力势能变化量之和。

*6. 早期人们用不易弯曲的竹竿或金属杆进行撑竿跳高, 后来采用了有弹性的玻璃纤维杆, 如图所示, 撑竿跳高的世界纪录也因此有了很大的提高。请上网查询, 解释为何使用弹性玻璃纤维杆有助于撑竿跳高成绩的提高。



第6题

解答: 弹性玻璃纤维杆可承受的力大、弹性好, 在运动员助跑结束时, 这种杆能将运动员快速向前的动能很好地转化为杆的弹性势能, 杆被压弯到最大弧度后, 能将这部分弹性势能释放出来并更多地转化为运动员的重力势能, 帮助运动员跃过横杆。

五、课程资源

潮汐能

在海湾或赶潮河口, 可见到海水或江水每天两次涨落现象, 早上的称为潮, 晚上的称为汐。潮汐作为一种自然现象, 为人类的航海、捕捞和晒盐等活动提供了方便。这种现象是海面受太阳和月亮吸引所引发的周期性流动产生的水面升降, 它主要是由月球、太阳对地球不同质点的引力不同而引起的。潮汐可以用满潮、干潮、潮差、涨潮、退潮、潮汐周期等来描述。如图 1-4-2 所示, 满潮是指海面上升到最高, 干潮是指海面下降至最低, 潮差是指满潮与干潮二者间的水位差, 涨潮是指海水水位由干潮到满潮的过程, 退潮是指海水水位由满潮到干潮的过程, 潮汐周期是指潮汐循环一次所需的时间。

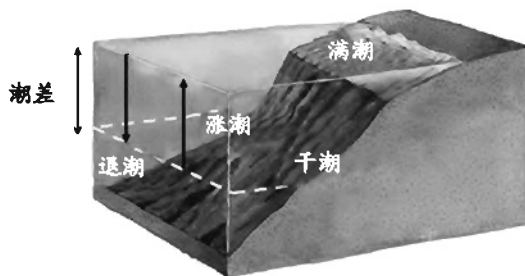


图 1-4-2

潮汐能是海水能量变化时出现的海洋能, 是涨和潮落时水的动能和势能。涨潮时, 大量海水汹涌而来, 具有很大的动能; 同时水位逐渐升高, 动能转化为势能。退潮时, 海水奔腾而归, 水位陆续下降, 势能又转化为动能。潮汐能是一种取之不尽、用之不竭、洁净无污染的可再生能源。

潮汐能的主要利用方式是潮汐发电。潮汐发电与普通水利发电原理类似, 海水进出水库时, 可推动发电机发电。建设潮汐电站, 不需要移民, 不淹没土地, 没有环境污染问题, 还可以结合潮汐发电发展围垦、水生养殖和海洋化工等综合利用项目。

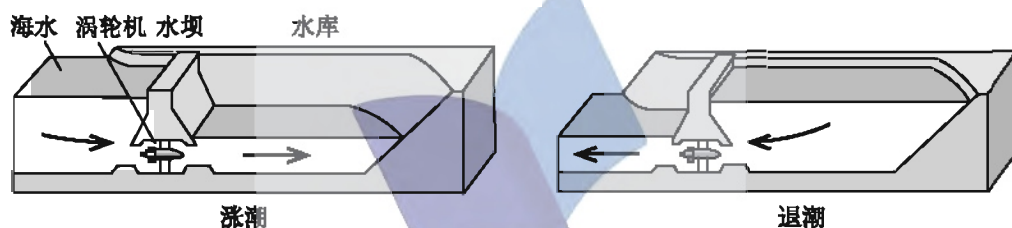


图 1-4-3

涨潮时海水涌入水库内，以势能的形式保存能量；退潮时海水涌出，利用水的高低落差推动水轮机旋转，带动发电机发电。潮汐发电和普通水力发电的区别在于海水和河水的不同，蓄积的海水落差不大，但是流量较大，并且呈间歇性，所以潮汐发电的水轮机结构要适合低水头、大流量的特点。潮汐发电站有三种类型：单库单向型、单库双向型、双库单向型。如图 1-4-4 所示，单库单向型的特点是只有一个水库，且只在落潮时发电，它的发电设备结构简单，投资少，但潮汐能利用率低，发电不连续；单库双向型的特点是只有一个水库，但在涨潮和退潮时均可发电，它能适应天然潮汐过程，潮汐能利用率高，但投资较大；双库单向型的特点是有两个相邻的水库，高水库在涨潮时进水，低水库在退潮时放水，它的优点是可实现连续发电，但投资大且工作水头降低。

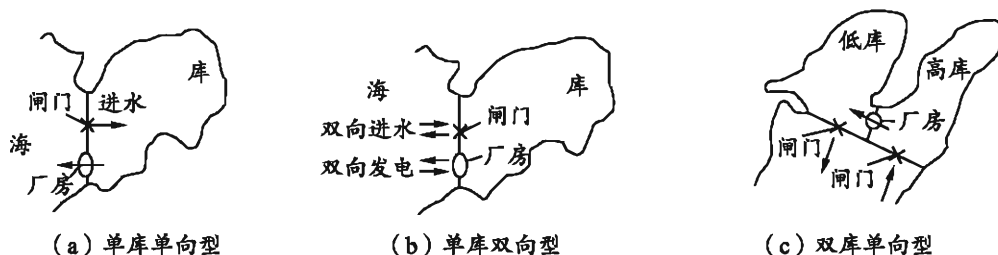


图 1-4-4

潮汐发电是水力发电的一种。在有条件的海湾或赶潮口建筑堤坝、闸门和厂房，围成水库，水库水位与外海潮位之间形成一定的潮差，从而可驱动水轮发电机组发电。

和潮汐发电相关的技术进步极为迅速，已开发多种将潮汐能转变为机械能的机械设备，如螺旋桨式水轮机、轴流式水轮机、开敞环式水轮机等，日本甚至开始利用人造卫星提供潮流信息资料，利用潮汐发电日趋成熟，已进入实用阶段。

江夏潮汐试验电站是我国最大的潮汐电站，是潮汐发电的试验基地。该电站位于浙江省温岭市西南的江夏港上，离城区 16 km。该电站于 1972 年经国家计委批准建设，列为“水利电力潮汐电站项目”，研究重点包括潮汐能特点研究、潮汐机组研制、海工建筑物技术问题和综合利用等。规模至今仍保持亚洲第一、世界第三。1984 年，加拿大在芬地湾建成的安那波利斯潮汐发电站，装机容量为 50 000 kW（其中装有一台容量为 20 000 kW 的单向全贯流式发电机组）。芬地湾是世界上潮汐能最大的地方，那里的海潮高达 18 m。



● ● 第5节 科学验证：机械能守恒定律 ● ●

一、教学要求与重难点

(一) 本节教学要求

1. 知道什么是机械能，知道动能和势能可以相互转化。
2. 能够推导出机械能守恒定律，理解机械能守恒定律的内容，知道它的含义和适用条件。
3. 能判断机械能是否守恒，并能列出机械能守恒的表达式。
4. 理解验证机械能守恒定律的实验原理、实验方案和设计思路。会完成实验并处理数据，归纳实验结论。
5. 能够撰写比较完整的实验报告，根据实验数据分析误差来源。
6. 能认识到自然界的能量在转化和转移中守恒。能认识到人类在保护环境和促进可持续发展方面的责任，有节约能源、保护环境意识。

(二) 重难点分析

本节重点是理解机械能守恒定律的内容，能判断机械能是否守恒，并能列出机械能守恒定律的数学表达式。理解验证机械能守恒定律的实验原理、实验方案，能进行数据处理和误差分析。

本节难点是机械能守恒的条件，科学验证机械能守恒定律的设计思路，数据处理和误差分析，以及机械能守恒定律的应用。机械能守恒定律是能量守恒定律的特例。应用它解题时，首先准确判断某一研究对象和物理过程是否满足机械能守恒的条件，列式求解时也需要强调表达式的规范性。学生常见的错误是在不符合机械能守恒的条件下误用机械能守恒定律求解，以及在列方程时常常漏掉某一项能量。





二、教材分析与教学建议

教材要点解读

守恒的思想是物理学中常见的思想,机械能守恒定律是能量守恒定律的特例,而能量守恒定律是自然界中最重要规律之一。能量守恒定律的发现不是偶然的,它是人类对自然的认识发展到一定阶段的产物。除了物理学外,其他学科也对能量守恒定律有重要贡献。

本节是物理规律教学,是对功能关系的进一步认识,是理解能量的转化和守恒的基础。本节内容可以分为三个板块:一是机械能守恒定律及其基本理解;二是实验验证机械能守恒定律,在学生机械能守恒定律有所了解的基础上,通过实验测量和数据处理,对机械能守恒定律及其条件有深刻的认识;三是通过例题学习如何运用机械能守恒定律规范解题。

教学建议:

本节内容分为两个课时完成,第一课时是机械能守恒定律的理解和基本运用,第二课时是实验验证机械能守恒定律。

机械能守恒定律的教学中,对机械能守恒条件的理解是关键和难点。可以通过简易实验或者逻辑分析让学生明白机械能守恒是有条件的。例如,起重机匀速吊物体上升,物体机械能增加了;沿粗糙碗滚动的小球越滚越低,最后停下,小球机械能减小了。让学生体会到只有重力做功,机械能才守恒。

教师可以引导学生推导机械能守恒定律,建议分组进行下述情形的推导,然后总结提炼机械能守恒的条件:①教材中自由落体过程,机械能守恒定律推导;②竖直上抛运动中,机械能守恒的推导;③小球沿光滑圆弧滑下过程中,机械能守恒的推导;④光滑水平面上小球撞击弹簧过程中,小球、弹簧系统机械能守恒的推导;⑤只有重力、弹簧弹力做功时,机械能守恒的推导。

第5节

科学验证:机械能守恒定律

过山车(图1-25)在最高点无动力释放后,会沿着轨道下滑、爬升、翻转,速度时快时慢,惊险刺激。过山车在运行过程中既有重力势能,又有动能。高度减小时,重力势能减小,动能增大;高度增大时,重力势能增大,动能减小。当重力势能与动能发生变化时,它们之间遵循着什么规律?本节我们将学习机械能,并研究动能与势能转化时遵循的规律。



图1-25 过山车

1.机械能守恒定律

运动的物体往往既有动能又有势能,物体的动能与重力势能(弹性势能)之和称为机械能(mechanical energy)。若用符号 E 表示机械能,则物体的机械能为

$$E = E_k + E_p$$

在物体运动过程中,不同形式的能量常会相互转化。例如,射箭时,弓的弹性势能减小,箭的动能增大;蹦极时,重力势能会转化为动能和弹性势能等。大量事实表明,物体的机械能可从一种形式转化为另一种形式。下面,我们先从理论上研究只有重力势能与动能发生转化时能量遵循的规律。

如图1-26所示,如果小球只在重力作用下自由下落,从A到B的过程中重力做功为 W_G ,根据动能定理可知,重力做的功等于小球下落过程中动能的增加量,即

$$W_G = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

由重力做功与重力势能改变的关系可知,重力做的功等于小球下落过程中重力势能的减少量,即

$$W_G = mgh_1 - mgh_2$$

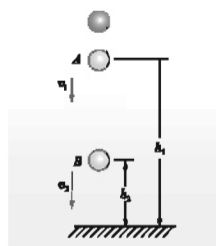


图1-26 小球下落示意图



教材要点解读

Physics

第1章 功和机械能

由以上两式可得

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_1 - mgh_2$$

即在小球自由下落的过程中,动能的增加量等于重力势能的减少量,说明重力对小球做了多少功,就有多少重力势能转化为等量的动能。上式移项后得

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1$$

即

$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1}$$

上式表明,在小球自由落体运动中,只有重力做功,小球在A点的动能与重力势能的总和等于在B点的动能与重力势能的总和。由于A、B两点是任意选定的,故在自由落体运动中,任何位置(时刻)物体的总机械能保持不变。

同样可以证明,在只有弹力做功的物体系统内,动能和弹性势能可相互转化,总的机械能保持不变。

大量研究结果表明,在只有重力或弹力这类力做功的情况下,物体系统的动能与势能相互转化,机械能的总量保持不变。这个结论称为机械能守恒定律(law of conservation of mechanical energy)。

事实上,并非只有动能和势能可以相互转化,任何形式的能量都可以相互转化,但总能量保持不变,这就是更普遍的能量守恒定律。

能在熟悉的问题情境中运用机械能守恒定律解决问题时建构物理模型,会分析机械能守恒的条件;能从机械能守恒的角度分析动力学问题,通过推理,获得结论;能用与机械能守恒定律等相关的证据说明结论;能从不同视角解决动力学问题。

——科学思维

素养提升

2. 验证机械能守恒定律

在只有重力或弹力做功的情况下,物体系统的机械能是守恒的。我们已经从理论上推导出了机械能守恒定律,现在用实验进行验证。

实验目的

- (1) 验证机械能守恒定律。
- (2) 进一步熟悉打点计时器的使用。

实验器材

铁架台、打点计时器、交流电源、纸带、重物、天平、砝码、刻度尺。

24

教学建议:

验证机械能守恒定律的实验是力学中很重要的实验。实验前可以用问题讨论的方式引导和启发学生一起解决实验中的相关问题,充分培养学生“设计实验→制订实验方案→获取和处理信息→得出结论→对实验结果进行交流评估、反思”,以及“优化实验方案→创新设计新实验方案”的科学探究能力。

例如,除了通过自由落体运动来验证的方案外,是否有其他验证方案?实验中需要测定哪些物理量,需要哪些器材?如何设计记录实验数据的表格?能否借助图像来进行数据处理?能否用两个物体构成的系统来验证机械能守恒?例如,气垫导轨上用一重物牵引滑块运动,以重物和滑块构成一个系统验证机械能守恒,这时需要测量哪些物理量来验证机械能是否守恒?

验证机械能守恒定律
实验的重点是实验设计思路、瞬时速度的测定及实验数据的处理,依据实验目的和实验原理选用相关器材。实验方案较多,教材选用物体做自由落体运动来验证机械能是否守恒,这个方案中速度的测定方法是高中物理实验中最常见的速度测定方法。



教材要点解读

本实验在选取零势能点的情况下通过计算打纸带上对应点时的机械能来验证机械能是否守恒。也可以不选取零势能点，分析在纸带上两点之间的重力势能变化量与动能变化量之间的关系来判断机械能是否守恒。

实验原理与设计

实验装置如图 1-27 所示。让带有纸带的重物自由下落，利用打点计时器记录重物下落过程中的运动情况。选取纸带上的某点作为高度的起点，量出纸带上其他点相对该点的距离作为高度。用天平称出重物的质量，算出重物经过这些点的重力势能。再计算重物经过这些点的瞬时速度，算出动能。最后，通过比较重物经过这些点的机械能，得出实验结论。

实验步骤

- (1) 使用天平称出重物质量。
- (2) 纸带一端吊重物，另一端穿过打点计时器。手提纸带，使重物靠近打点计时器并静止。接通电源，松开纸带，让重物自由落下。
- (3) 取下纸带并选其中一个点作为参考点，设打该点时重物的重力势能为 0，计算打该点时重物的动能，它就是重物下落过程中动能与重力势能的总和。
- (4) 分别计算纸带上其他各点对应的重物的动能和重力势能之和。

数据分析

请将测量的数据记入你设计的表格中，并分析数据，形成结论。

实验结论

请写出实验结论。

讨论

- (1) 引起实验误差的主要因素有哪些？如何减小实验误差？
- (2) 若实验中不测量重物质量，还能验证机械能守恒定律吗？
- (3) 你能设计其他实验方案验证机械能守恒定律吗？

例题

荡秋千是一种常见的娱乐休闲活动（图 1-28）。若秋千绳的长度 $l = 2 \text{ m}$ ，荡到最高点时秋千绳与竖直方向的夹角 $\theta = 60^\circ$ 。取重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ，求荡到最低点时秋千的速度大小。（忽略阻力及秋千绳的质量，且人在秋千上的姿势可视为不变）

第 5 节 科学验证：机械能守恒定律



图 1-27 实验装置

安全提示

使用打点计时器时注意用电安全。释放重物时不要让重物砸到人或实验台。

能提出实验中可能出现的物理问题；能在他人帮助下设计实验方案，获取数据；能分析数据、验证机械能守恒定律，能反思实验过程，尝试减小实验误差；能撰写比较完整的实验报告，在报告中能反思实验表格及数据分析过程，能尝试用证据进行交流。

注重提升提出问题、分析论证及反思评估的能力。

——科学探究

素养提升



图 1-28 荡秋千

教学建议：

经过前期学习，学生已经具备了基本实验素养。本实验的实验原理较简单，学生容易理解。所以，建议教师指导学生完成科学、规范的实验报告，以加强学生对验证性实验整体脉络的认识，提高学生的科学探究素养。



教材要点解读

Physics

第1章 功和机械能

分析

秋千绳拉力的大小和方向不断变化,难以直接用牛顿第二定律和运动学公式来求解。但在摆动过程中,秋千绳拉力不做功,只有重力做功,系统的机械能守恒,可用机械能守恒定律求解。

解

以人和秋千座椅组成的系统为研究对象并将其视为质点,受力分析如图1-29所示。选择秋千在最低位置时的水平面为零势能参考平面。设秋千荡到最高点A处为初状态,在最低点B处为末状态。已知 $l=2\text{ m}$, $\theta=60^\circ$ 。

初动能 $E_{k1}=0$,此时重力势能 $E_{p1}=mgl(1-\cos\theta)$ 。

末动能 $E_{k2}=\frac{1}{2}mv^2$,此时重力势能 $E_{p2}=0$ 。

根据机械能守恒定律有

$$E_{k2}+E_{p2}=E_{k1}+E_{p1}$$

$$\text{即 } \frac{1}{2}mv^2=mgl(1-\cos\theta)$$

$$\begin{aligned}\text{所以 } v &= \sqrt{2gl(1-\cos\theta)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.8 \times 2 \times (1-\cos 60^\circ)} \text{ m/s} \\ &= 4.4 \text{ m/s}\end{aligned}$$

讨论

在现实中,若人在荡秋千时姿势不变,秋千将逐渐停下来,这是有阻力的缘故。因此,人荡秋千时,只有在保持姿势不变且忽略阻力的情况下,其机械能才守恒。为什么有的人可以越荡越高,他是怎么做到的呢?请分析原因。

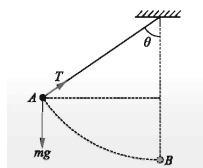


图1-29 荡秋千时的受力分析示意图



策略提炼

运用机械能守恒定律分析解决问题时,需要先分析研究对象在所研究的过程中是否满足机械能守恒条件,然后确定研究对象的初、末状态及其机械能,最后列式求解。

迁移

下列问题能否运用牛顿运动定律或机械能守恒定律解答?请试一试。

1924年,跳台滑雪被列为首届冬奥会比赛项目。如图1-30所示,假设运动员从雪道的最高点A由静止开始滑下,不借助其他器械,沿光滑的雪道到达跳台的B点时,速度为多少?

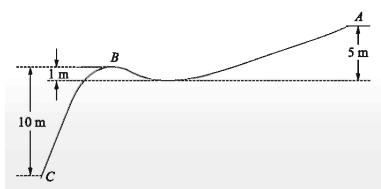


图1-30 跳台滑雪示意图

教学建议:

这部分内容要首先引导学生做好受力分析与运动分析,厘清物理情境;其次,找出机械能守恒的过程;最后,对守恒过程运用机械能守恒定律列式求解。通过本节的学习,要让学生意识到运用机械能守恒定律解题的优越性,知道运用机械能守恒定律解题时必须满足守恒条件。

通过例题,学习如何运用机械能守恒定律规范解题。例题为变力作用下的曲线运动,用牛顿运动定律较难处理。学生能充分意识到在变力作用下的运动可以考虑使用机械能守恒定律来解决问题。

下页的“物理聊吧”在学生掌握机械能守恒定律的基础上,引导学生在实际情境中对能量转化、转移过程进行分析,渗透能量守恒的思想。



三、课堂教学活动资源

(一) 例题迁移

下列问题能否运用牛顿运动定律或机械能守恒定律解答？请试一试。

1924年，跳台滑雪被列为首届冬奥会比赛项目。如图1-30所示，假设运动员从雪道的最高点A由静止开始滑下，不借助其他器械，沿光滑的雪道到达跳台的B点时，速度为多少？当他落到离B点竖直高度为10 m的雪地C点时，速度又是多少？（假设这一过程中运动员没有做其他动作，忽略摩擦力和空气阻力，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

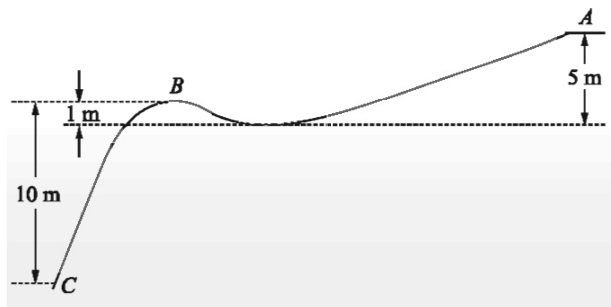


图 1-30

解答：因为在整个过程中只有重力做功，所以运动员的机械能是守恒的。

以B点所在的位置为零势能位置，根据机械能守恒定律得 $E_{pA} + E_{kA} = E_{pB} + E_{kB}$

可得 $mgh_A + 0 = mgh_B + \frac{1}{2}mv_B^2$ ，代入数据可得 $v_B = 4\sqrt{5} \text{ m/s}$ 。

同理 $mgh_A + 0 = mgh_C + \frac{1}{2}mv_C^2$ ，代入数据可得 $v_C = 2\sqrt{70} \text{ m/s}$ 。

(二) 物理聊吧

跳水运动员在弹离跳板后，先上升到一定的高度，在空中完成一系列复杂而优美的动作后入水。请你分析一下，从运动员起跳到入水的全过程中，有哪些能量发生了相互转化。说出你的判断依据，并与同学讨论交流。

解答：跳水运动员在走板和起跳时要先使跳板上下振动，此过程中运动员将身体储存的化学能转化为跳板的弹性势能，然后这一弹性势能转化为身体起跳的动能；运动员离开跳板上升的过程中，动能逐渐减小，重力势能逐渐增大，动能转化为重力势能；当运动员从最高点下降时，重力势能逐渐减小，动能逐渐增大；运动员入水后，受水的阻力作用，运动员的重力势能和动能都减小，这部分能量转化为内能。

(三) 实验结论及讨论

1. 引起实验误差的主要因素有哪些？如何减小实验误差？
2. 若实验中不测量重物质量，还能验证机械能守恒定律吗？
3. 你能设计其他实验方案验证机械能守恒定律吗？

解答：本实验会得出实验结论：在误差许可范围内，只有重力做功的情况下，物体机械能守恒。

(1) 引起误差的主要原因：重物下落过程受到各种阻力如空气阻力、纸带与打点计时器之间有摩擦等导致机械能有损失、测量误差等。可以选用质量大且体积小的重物为研究对象。



(2) 不测重物质量可以验证机械能是否守恒, 因为验证的是 $mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2$ 与 $mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$ 、 $mgh_3 + \frac{1}{2}mv_3^2$ 等是否相等, 重物质量 m 的具体数值对结论没有影响。

(3) 有其他方案。例如, 让滑块在倾斜气垫导轨上滑行, 由于阻力很小可近似认为满足机械能守恒条件, 利用光电计时器测出滑块通过两光电门时的瞬时速度, 再测出两光电门之间的高度差即可验证。

(四) 课堂练习或知识点的检测

1. 判断下列情形机械能是否守恒。

(1) 跳伞运动员带着张开的降落伞在空中下落。

(2) 抛出的铅球在空中运动, 不计空气阻力。

(3) 蹦极者从空中自由下落至最低点, 不计空气阻力。

解答: (1) 空气阻力做功, 机械能不守恒。

(2) 只有重力做功, 机械能守恒。

(3) 若以蹦极者和弹性绳为系统, 机械能守恒; 若以蹦极者为对象, 其机械能部分转化为弹性绳的弹性势能, 机械能不守恒。

选题意图: 训练学生熟练判断机械能是否守恒的方法。守恒条件的判定是能否正确运用机械能守恒定律解题的前提。合理选取研究对象或者研究过程有助于找出遵循机械能守恒定律的过程。

2. 我们常常看到轻轨站的站台与连接的轨道间有一个小的坡度, 列车进站时要上坡, 出站时要下坡。如果不考虑列车所受的阻力, 试分析这样设计站台的合理性。

解答: 进站时, 需要减速, 这时可将动能转化为高处的重力势能储存起来, 同时达到减速的目的。出站时, 需要加速, 重力势能转化为动能。

选题意图: 这种设计方案利用了自然界的能量转化规律, 充分体现了节约能源、保护环境意识, 以及促进可持续发展的责任感。

3. 一固定的斜面体, 斜面光滑, 倾角 $\theta = 30^\circ$, 另一边与地面垂直, 顶点处有一定滑轮, 一柔软的细线跨过定滑轮, 两端分别与物块 A 和 B 连接, A 的质量为 m , B 的质量为 $2m$ 。开始时, 用手托住 B , B 距离地面高度为 h , 求松手后 A 能上升的最大高度。

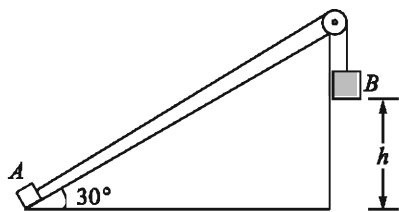


图 1-5-1

解答: h

当 B 坠地前, A 、 B 系统机械能守恒; 当 B 坠地后, A 在上滑过程机械能守恒, 至最高点时速度降为 0。设 A 上升的最大高度为 h_A 。

B 开始下落至坠地, 对 A 、 B 系统有

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \times 2mv^2 + mg \frac{h}{2} - 2mgh = 0$$

B 坠地后, 对 A 有



$$-\frac{1}{2}mv^2 + mg(h_A - h\sin 30^\circ) = 0$$

解得 $h_A = h$

选题意图：体会机械能守恒定律在处理运动情境较复杂、多个物体多阶段运动中的应用。

四、作业解答

1. 请撰写“验证机械能守恒定律”的实验报告，注意在报告中呈现设计的表格及数据分析过程。

解答：略

2. 下列说法正确的是

- A. 物体的机械能守恒时，一定只受重力作用
- B. 物体处于平衡状态时，机械能一定守恒
- C. 物体除受重力外，还受其他力时，机械能也可能守恒
- D. 物体的重力势能和动能之和增大时，必有重力以外的力对其做功

解答：CD

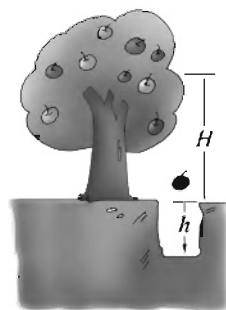
单个物体机械能守恒要求只有重力做功，但物体可以受其他力，其他力不做功或总功为 0 即可。例如，小球在竖直光滑圆轨道内做圆周运动，它时刻受到支持力，支持力不做功，小球机械能守恒。物体处于平衡状态说明动能不变，重力势能变化则机械能变化。例如，物体竖直向下做匀速直线运动，机械能减小。

3. 如图所示，质量为 m 的苹果从距地面高度为 H 的树上由静止开始下落，树下有一深度为 h 的坑。若以地面为零势能参考平面，则苹果刚要落到坑底时的机械能为

- A. $-mgh$
- B. mgH
- C. $mg(H+h)$
- D. $mg(H-h)$

解答：B

苹果下落过程机械能守恒，落到坑底时的机械能等于在树上时的机械能。



第 3 题

4. 在水平地面以 20 m/s 的速度将一物体竖直上抛。若以水平地面为零势能参考平面，忽略空气阻力，取重力加速度 $g=10 \text{ m/s}^2$ ，求：

- (1) 物体上升的最大高度；
- (2) 物体在上升过程中其重力势能和动能相等的位置距地面的高度。

解答：(1) 物体上升的最大高度 $H = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{20^2}{2 \times 10} \text{ m} = 20 \text{ m}$

(2) 设物体上升的高度为 h 时，重力势能和动能相等。

根据机械能守恒定律得

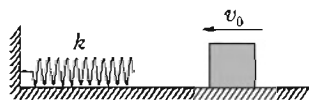
$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$



$$\text{又 } \frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$\text{联立解得 } h = \frac{v_0^2}{4g} = 10 \text{ m}$$

5. 如图所示, 轻弹簧 k 一端与墙相连, 质量 $m = 4 \text{ kg}$ 的木块沿光滑水平面以 $v_0 = 5 \text{ m/s}$ 的初速度向左运动。求:



第5题

- (1) 弹簧在被压缩过程中的最大弹性势能;
- (2) 木块压缩弹簧后速度减小到 3 m/s 时弹簧的弹性势能。

解答: (1) 在压缩过程中只有弹力做功, 所以满足机械能守恒定律。弹簧被压缩到最大时木块的速度变为 0 , 根据机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = E_{\text{弹max}}$$

$$\text{代入数据得 } E_{\text{弹max}} = 50 \text{ J}$$

(2) 设 $v_1 = 3 \text{ m/s}$, 根据机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + E_{\text{弹}}$$

$$\text{代入数据得 } E_{\text{弹}} = 32 \text{ J}$$

6. 某同学计划通过测量重物自由下落的瞬时速度 v 和下落高度 h 来验证机械能守恒定律。

(1) 以下四种测量方案中, 合理的是 _____ (填正确选项前的字母), 理由是 _____。

- A. 直接测量下落高度 h 和下落时间 t , 通过 $v = gt$ 算出瞬时速度 v
- B. 直接测量下落高度 h , 通过 $v^2 = 2gh$ 算出瞬时速度 v
- C. 根据纸带上某点的相邻两点间的平均速度, 得到该点的瞬时速度 v , 再由 $v^2 = 2gh$ 算出高度 h
- D. 直接测量下落高度 h , 根据纸带上某点的相邻两点间的平均速度, 得到该点的瞬时速度 v

(2) 实验中产生系统误差的主要原因是纸带通过打点计时器时存在摩擦阻力, 使重物获得的动能往往 _____ (选填“大于”“小于”或“等于”) 它所减小的重力势能。

(3) 如果以 $\frac{v^2}{2}$ 为纵轴、 h 为横轴, 根据实验数据绘出的 $\frac{v^2}{2} - h$ 图线是一条通过坐标原点的倾斜直线, 该直线的斜率是 _____。

解答: (1) D。该实验是验证机械能守恒定律的实验。做自由落体运动的物体只受重力, 机械能守恒, 自由落体中验证机械能守恒的实质是验证自由落体运动的加速度是否为 g , 不能用重力加速度 g 来计算速度。其中 A、B、C 三项都是运用自由落体的运动规律求解的, 故 A、B、C 错误, D 正确。

(2) 小于 (3) 实验所在地的重力加速度

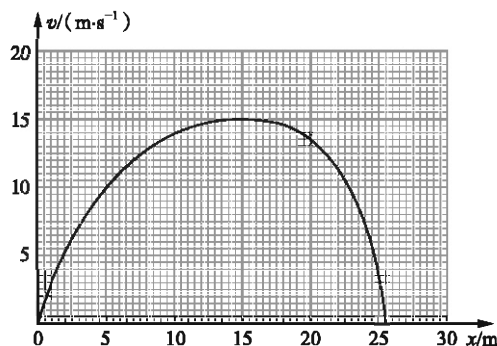
7. 研究蹦极运动时, 在运动员身上装好传感器, 用于测量他在不同时刻下落的高度及速度。已知运动员及其所携带的全部设备的总质量为 60 kg , 弹性绳原长为 10 m 。运动员从蹦极台无初速度下



落,根据传感器测到的数据,得到如图所示的速度—位移图像。不计空气阻力,取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。问:运动员下落过程中在什么位置动能最大?该位置受力有什么特点?运动员下落速度最大时和落到最低点时,绳的弹性势能分别为多大?请陈述运用相关定律解决问题的条件。

解答:由图可知,下落距离为 15 m 时,速度最大 $v_{\text{max}} = 15 \text{ m/s}$,此时动能最大,且在该位置弹性绳弹力大

小等于重力;下落速度最大时, $h_1 = 15 \text{ m}$, $v = 15 \text{ m/s}$,由能量守恒定律可得 $mgh_1 = \frac{1}{2}mv^2 + E_1$,解得此时绳的弹性势能 $E_1 = 2\,250 \text{ J}$;同理,下落至最低点时绳的弹性势能 $E_2 = mgh_2$,此时下落距离 $h_2 = 25.5 \text{ m}$ 可由图像读出,带入数据,解得 $E_2 = 15\,300 \text{ J}$ 。当运动员仅受重力和弹性绳弹力时,满足机械能守恒的条件。



第7题

五、课程资源

能量转化与守恒定律的确立

对能量转化与守恒定律作出明确叙述的,首先要提到三位科学家。他们分别是德国的迈尔(R. Mayer, 1814—1878)、赫姆霍兹(H. Helmholtz, 1821—1894)和英国的焦耳(J. Joule, 1818—1889)。

1. 迈尔的研究

在一次驶往印度尼西亚的航行中,迈尔作为随船医生,在给生病的船员放血时,发现他们的静脉血不像生活在温带国家中的人那样颜色暗淡,而是像动脉血那样颜色鲜红。当地医生告诉他,这种现象在辽阔的热带地区是到处可见的。他还听到海员们说,暴风雨时海水比较热。这些现象引起了迈尔的沉思。他想到,食物中含有化学能,它像机械能一样可以转化为热。在热带高温情况下,机体只需要吸收食物中较少的热量,所以机体中食物的燃烧过程减弱了,在静脉血中留下了较多的氧。他已认识到生物体内能量的输入和输出是平衡的。迈尔在1842年发表的题为“热的力学的几点说明”中,宣布了热和机械能的相当性和可转换性,他的推理如下:

“力是原因。因此,我们可以全面运用这样一条原则来看待它们,即‘因等于果’。设因 c 有果 e ,则 $c = e$;反之,设 e 为另一果 f 之因,则有 $e = f$,等等。 $c = e = f = \dots = c$,在一串因果之中,某一项或某一项的某一部分绝不会化为乌有,这从方程式的性质就可明显看出。这是所有原因的第一个特性,我们称之为不灭性。”

接着迈尔用反证法,证明不灭性:

“如果给定的原因 c 产生了等于其自身的结果 e ,则此行为必将停止; c 变为 e ;若在产生 e 后, c 仍保留全部或一部分,则必有进一步的结果,相当于留下的原因 c 的全部结果将大于 e ,于是就与前提 $c = e$ 矛盾。”“相应地,由于 c 变为 e , e 变为 f 等,我们必须把这些不同的值看成是同一客体



出现时所呈现的不同形式。这种呈现不同形式的能力是所有原因的第二种基本特性。把这两种特性放在一起我们可以说，原因在量上是不灭的，而在质上是可转化的客体。”

迈尔的结论是：“因此，力（即能量）是不灭的、可转化的、不可称量的客体。”

迈尔的这种推论方法显然过于笼统，难以令人信服，但他关于能量转化与守恒的叙述是最早的完整表达。

迈尔在1845年发表了第二篇论文《有机运动及其与新陈代谢的联系》，该文更系统地阐明能量的转化与守恒的思想。他明确指出：“无不能生有，有不能变无”“在死的和活的自然界中，这个力（即能量）永远处于循环转化的过程之中。任何地方，没有一个过程不是力的形式变化的！”他主张：“热是一种力，它可以转变为机械效应。”论文中还具体地论述了热和功的联系，推出了气体定压比热和定容比热之差 $C_p - C_v$ 等于定压膨胀功 R 的关系式。现在我们称 $C_p - C_v = R$ 为迈尔公式。

接着，迈尔又根据狄拉洛希（Delaroche）、贝拉尔德（Berard）和杜隆（Dulong）气体比热的实验数据 $C_p = 0.267$ 卡/克·度、 $C_v = 0.188$ 卡/克·度计算出热功。

计算过程如下：

在定压下加热 1cm^3 空气，使其温度升高 1°C 所需的热量 $Q_p = mC_p\Delta t = 0.000\ 347$ 卡（取空气密度 $\rho = 0.001\ 3\text{ g/cm}^3$ ）。相应地，在定容下加热同量空气温度升高 1°C 消耗的热量 $Q_v = 0.000\ 244$ 卡。

二者的热量差 $Q_p - Q_v = 0.000\ 103$ 卡。另一方面，温度升高 1°C 等压膨胀时体积增大了原体积的 $\frac{1}{274}$ ；气

体对外做的功，可以使 1.033 kg 的水银柱升高 $\frac{1}{274}\text{ cm}$ ，即 $W = 1.033 \times \frac{1}{27400} = 3.78 \times 10^{-5}$ 千克·米。

于是迈尔得出热功当量为 $J = \frac{A}{Q_p - Q_v} = \frac{3.78 \times 10^{-5}}{1.03 \times 10^{-7}} = 367$ 千克·米/千卡（或 $3\ 597$ 焦耳/千卡）。

21 世纪初的精确值为 $4\ 187$ 焦耳/千卡。

迈尔还具体地考察了另外几种不同形式的力。他以起电机为例说明了“机械效应向电的转化”。他认为“下落的力”（即重力势能）可以用“重量和（下落）高度的乘积来量度”，“与下落的力转变为运动或者运动转变为下落的力无关，这个力或机械效应始终是不变的常量”。

迈尔第一个在科学史中将热力学观点用于研究有机世界中的现象，他考察了有机物的生命活动过程中的物理化学转变，确信“生命力”理论是荒诞无稽的。他证明生命过程无所谓“生命力”，而是一种化学过程，是由于吸收了氧和食物，进而转化为热。这样，迈尔就将植物和动物的生命活动，从唯物主义的立场，看成是能的各种形式的转变。

1848 年迈尔发表了《天体力学》一书，书中解释陨石的发光是由于在大气中损失了动能。他还应用能量守恒原理解释了潮汐的涨落。迈尔虽然第一个完整地提出了能量转化与守恒原理，但是他的著作发表的几年内，不仅没有得到人们的重视，反而受到了一些著名物理学家的反对。

2. 赫姆霍兹的研究

从多方面论证能量转化与守恒定律的是赫姆霍兹。他曾在著名的生理学家缪勒（Johannes Müller）的实验室里工作多年，研究过“动物热”。他深信所有的生命现象都必得服从物理与化学规律。他早年在数学上有过良好的训练，同时又很熟悉力学的知识。他的父亲是一位哲学教授，和



著名哲学家费赫特 (Fichte) 是好朋友。赫姆霍兹受到了前辈的影响, 成了康德哲学的信徒, 把自然界大统一当作自己的信条。他认为如果自然界的“力”(即能量)是守恒的, 则所有的“力”都应和机械“力”具有相同的量纲, 并可还原为机械“力”。1847年, 26岁的赫姆霍兹完成了著名论文《力的守恒》, 充分论述了这一命题。这篇论文是1847年7月23日在柏林物理学会会议上的报告, 由于被认为是思辨性、缺乏实验研究成果的一般论文, 没有在当时具有国际声望的《物理学年鉴》上发表, 而是以小册子的形式单独印行的。

但是历史证明, 这篇论文在热力学的发展中占有重要地位, 因为赫姆霍兹总结了许多人的工作, 一举把能量概念从机械运动推广到了所有变化过程, 并证明了普遍的能量守恒原理。这是一个十分有力的理论武器, 从而可以更深入地理解自然界的统一性。

赫姆霍兹在这篇论文一开头就声称, 他的“论文主要是面对物理学家的”, 他的目的是“建立基本原理, 并由基本原理出发引出各种推论, 再与物理学不同分支的各种经验进行比较”。

在他的论述中有一明显的趋向, 就是企图把一切自然过程都归结于中心力的作用。我们都知道, 在只有中心力的作用下, 能量守恒是正确的, 但这只是能量守恒原理的一个特例, 把中心力看成是普遍能量守恒的条件就不正确了。

他的论文共分六节, 前两节主要是回顾力学的发展, 强调了活力守恒(即动能守恒), 进而分析了力的守恒原理(即机械能守恒原理); 第三节涉及守恒原理的各种应用; 第四节题为“热的力当量性”, 他明确地摒弃了热质说, 把热看成粒子(分子或原子)运动能量的一种形式; 第五节“电过程的力相当性”和第六节“磁和电磁现象的力相当性”讨论各种电磁现象和电化学过程, 特别是对电池中热现象的能量转化关系进行了详细研究。文章最后提到能量概念也有可能应用于有机体的生命过程, 他的论点和迈尔接近。不过, 看来他当时并不知道迈尔的工作。

赫姆霍兹在结束语中写道: “通过上面的叙述已经证明了我们所讨论的定律没有和任何一个迄今所知的自然科学事实相矛盾, 反而引人注目地为大多数事实所证实……这个定律的完全验证, 也许必须看成是物理学现在和将来的主要课题之一。”

实际上, 实验验证这一定律的工作早在赫姆霍兹论文之前就已经开始了。焦耳在这方面作出了巨大贡献。

3. 焦耳的研究

焦耳是英国著名实验物理学家。1818年, 他出生于英国曼彻斯特市近郊, 是富有的酿酒厂主的儿子。他从小在家由家庭教师教授, 16岁起与其兄弟一起到著名化学家道尔顿 (John Dalton, 1766—1844) 那里学习, 这在焦耳的一生中起了关键的指导作用, 使他对科学产生了浓厚的兴趣。后来他就在家做起各种实验, 成为一名业余科学家。

这时正值电磁力和电磁感应现象发现不久, 电机——当时叫磁电机 (electric-magnetic engine) 刚刚出现, 人们还不大了解电磁现象的内在规律, 也缺乏对电路的深刻认识, 只是感到磁电机非常新奇, 有可能代替蒸汽机成为效率更高、管理方便的新动力设备, 于是一股电气热潮席卷了欧洲, 甚至波及美国。焦耳当时刚20岁, 正处于敏感的年龄, 家中又有很好的实验条件, 对革新动力设备很感兴趣, 就投入电气热潮之中, 开始研究起磁电机来。



1838 ~ 1842 年, 焦耳一共写了八篇有关电机的通讯和论文, 以及一篇关于电池、三篇关于电磁铁的论文。他通过磁电机的各种实验注意到电机和电路中的发热现象, 他认为这和机件运转中的摩擦现象一样, 都是动力损失的根源。于是, 他开始进行电流的热效应的研究。

1841 年, 他在《哲学杂志》上发表文章《电的金属导体产生的热和电解时电池组中的热》, 叙述了他的实验: 为了确定金属导线的热功率, 让导线穿过一根玻璃管, 再将它密缠在管上, 每圈之间留有空隙, 线圈终端分开。然后将玻璃管放入盛水的容器中, 通电后用温度计测量水产生的温度变化。实验时, 他先用不同尺寸的导线, 继而又改变电流的强度, 结果判定“在一定时间内, 伏打电流通过金属导体产生的热与电流的平方及导体电阻的乘积成正比”。这就是著名的焦耳定律。

随后, 他又以电解质做了大量实验, 证明上述结论依然正确。

焦耳定律的发现使焦耳对电路中电流的作用有了明确的认识。他仿照动物体中血液的循环, 把电池比作心肺, 把电流比作血液, 指出“电可以看成是携带、安排和转变化学热的一种重要媒介”, 并且认为, 在电池中“燃烧”一定量的化学“燃料”, 在电路中(包括电池本身)就会发出相应大小的热, 和这些燃料在氧气中点火直接燃烧所得应是一样多。请注意, 这时焦耳已经用上了“转变化学热”一词, 说明他已建立了能量转化的普遍概念, 他对热、化学作用和电的等价性已有了明确的认识。

然而, 这种等价性的最有力证据, 莫过于热功当量的直接实验数据。正是由于探索磁电机中热的损耗, 促使焦耳进行了大量的热功当量实验。1843 年, 焦耳在《磁电的热效应和热的机械值》一文中叙述了他的目的, 文中写道:

“我相信理所当然的是, 磁电机的电力与其他来源产生的电流一样, 在整个电路中具有同样的热性质。当然, 如果我们认为热不是物质, 而是一种振动状态, 就似乎没有理由认为它不能由一种简单的机械性质的作用所引起, 如像线圈在永久磁铁的两极间旋转的那种作用。与此同时, 也必须承认, 迄今尚未有实验能对这个非常有趣的问题作出判决, 因为所有这些实验都只限于电路的局部。这就留下了疑问, 究竟热是生成的, 还是从感应出磁电流的线圈里转移出来的? 如果热是从线圈里转移出来的, 线圈本身就要变冷……所以, 我决定致力于清除磁电热的不确定性。”

焦耳把磁电机放在作为量热器的水桶里, 旋转磁电机, 并将线圈的电流引到电流计中进行测量, 同时测量水桶的水温变化。实验表明, 磁电机线圈产生的热也与电流的平方成正比。

焦耳又把磁电机作为负载接入电路, 电路中另接一电池, 以观察磁电机内部热的生成, 这时, 磁电机仍放在作为量热器的水桶里, 焦耳继续写道: “我将轮子转向一方, 就可使磁电机与电流反向而接; 转向另一方, 就可借磁电机增大电流。前一情况, 仪器具有磁电机的所有特性; 后一情况适得其反, 它消耗了机械力。”

比较磁电机正反接入电路的实验, 焦耳得出结论: “我们从磁电得到了一种媒介, 用它可以凭借简单的机械方法, 破坏热或产生热。”

至此, 焦耳已经从磁电机这个具体问题的研究中领悟到了一个具有普遍意义的规律, 这就是热和机械功可以互相转化, 在转化过程中一定有当量关系。他写道:

“在证明了热可以用磁电机生成, 用磁的感应力可以随意增减由于化学变化产生的热之后, 探



求热和得到或失去的机械功之间是否存在一个恒定的比值，就成了十分有趣的课题。为此目的，只需要重复以前的一些实验并同时确定转动仪器所需的机械力。”

焦耳在磁电机线圈的转轴上绕两条细线，相距约 27.4 m 处放置两个定滑轮，跨过滑轮挂有砝码，砝码约几磅重（1 磅 = 0.45359 千克），可随意调整。线圈浸在量热器的水中，从温度计的读数变化可算出热量，从砝码的质量及下落的距离可算出机械功。在 1843 年的论文中，焦耳根据 13 组实验数据取平均值得到如下结果：

“能使 1 磅的水温度升高 1 °F 的热量等于（可转化为）把 838 磅重物提升 1 英尺的机械功。”

838 磅·英尺相当于 1135 焦耳，这里得到的热功当量 838 磅·英尺 / 英热单位等于 4.511 焦耳 / 卡（现代公认值为 4.187 焦耳 / 卡）。

焦耳并没有忘记测定热功当量的实际意义，就在这篇论文中他指出，最重要的实际意义有两点：①可用于研究蒸汽机的出力；②可用于研究磁电机作为经济的动力的可行性。可见，焦耳研究这个问题始终没有离开他原先的目标。

焦耳还用多孔塞置于水的通道中，测量水通过多孔塞后的温升，得到热功当量为 770 磅·英尺 / 英热单位（4.145 焦耳 / 卡）。这是焦耳得到的与现代热功当量值最接近的数值。

1845 年，焦耳报道他在量热器中安装一带桨叶的转轮，如图 1-5-2，经滑轮吊两重物下滑，桨轮旋转，不断搅动水使水升温，测得热功当量为 890 磅·英尺 / 英热单位，相当于 4.782 焦耳 / 卡。

同年，焦耳写了论文《空气的稀释和浓缩所引起的温度变化》，记述了如下实验：把一个带有容器 *R* 的压气机 *C* 放在作为量热器的水桶 *A* 中，如图 1-5-3。压气机把经过干燥器 *G* 和蛇形管 *W* 的空气压缩到容器 *R* 中，然后测量空气在压缩后的温升，由温升可算出热量。气压从一个大气压变为 22 个大气压，压缩过程视为绝热过程，可计算压气机做的功。由此得到热功当量为 823、795 磅·英尺 / 英热单位。然后，经蛇形管释放压缩空气（图 1-5-4），量热器温度下降，又可算出热功当量为 820、814、760 磅·英尺 / 英热单位，从空气的压缩和膨胀得到的平均值为 798 磅·英尺 / 英热单位，相当于 4.312 焦耳 / 卡。

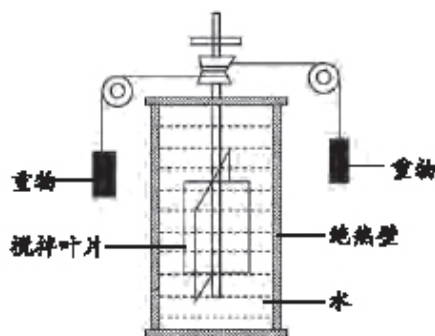


图 1-5-2 桨叶搅拌实验

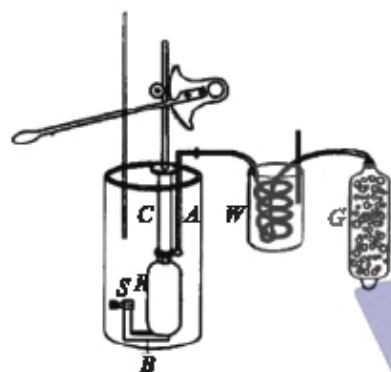


图 1-5-3 空气压缩实验

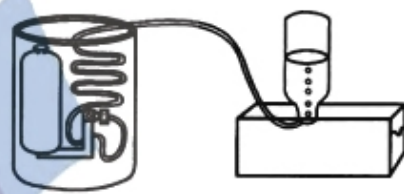


图 1-5-4 空气稀释实验

1849 年 6 月，焦耳作了一个《热功当量》的总结报告，全面整理了他几年来用桨叶搅拌法和铸铁摩擦法测热功当量的实验，给出如下结果（单位均以磅·英尺/英热单位表示）：

	空气中的当量值	真空中的当量值	平均值
水	773.640	772.692	772.692
汞	773.762	772.814	774.083
汞	776.303	775.352	774.083
铸铁	776.997	776.045	774.987
铸铁	774.888	773.930	774.987

焦耳的实验结果处理得相当严密，在计算中甚至考虑到将重量还原为真空中的值。对上述结果，焦耳作了分析，认为铸铁摩擦时会有微粒磨损，要消耗一定的功以克服其内聚力，因此所得结果可能偏大。汞和铸铁在实验中不可避免会有振动，产生微弱的声音，也会使结果偏大。

在这三种材料中，水的比热最大，所以比较起来，应该是用水做实验最准确。因此，在他的论文结束时，取 772 作为最后结果，这相当于 4.154 焦耳/卡。对此，他概括出两点：

“第一，由物体（不论是固体还是液体）摩擦产生的热量总是正比于消耗的力之量；第二，使 1 磅水（在真空中称量，温度为 55 ℉~ 60 ℉）的温度升高 1 ℉，所消耗的机械力相当于 772 磅下落 1 英尺。”

焦耳从 1843 年以磁电机为对象开始测量热功当量，直到 1878 年最后一次发表实验结果，先后做实验不下 400 余次，采用了原理不同的各种方法，他以日益精确的数据，为热和功的相当性提供了可靠的证据，使能量转化与守恒定律确立在牢固的实验基础之上。

能量转化与守恒定律是自然界基本规律之一。恩格斯对这一规律的发现给予崇高的评价，把它和达尔文进化论、细胞学说并列为三大自然发现。能量转化与守恒定律，这个全面的名称就是恩格斯首先提出来的。

能量转化与守恒定律的完整的数学形式，则是德国的克劳修斯（Ruddoff Julius Emanuel Clausius，1822—1888）在 1850 年首先提出来的。1852 年，汤姆生（William Thomson，1824—1907）进一步用动态能和静态能表示运动的能量和潜在的能量。1853 年，朗肯（W.J.M.Rankine，1820—1872）将其改为实际能和势能，他这样表述能量转化与守恒定律：“宇宙中所有能量，实际能和势能，它们的总和恒定不变。”

1867 年，在汤姆生和泰特（P.Tait，1831—1901）的《自然哲学论文》中，将上述实际能改为动能，一直沿用至今。





章末练习参考答案

科学认知

1. 竖直向上抛一小球, 小球又落回原处。假设空气阻力的大小不变, 小球在上升过程中克服重力做功的平均功率和下降过程中重力做功的平均功率哪个更大? 请说明理由。

解答: 上升过程中平均功率更大。因为上下位移大小相等, 所以上升过程克服重力做功和下降过程重力做功相等, 但由于空气阻力做负功, 小球开始上升至某位置时的速度大于落回该处的速度, 因此上升过程平均速度大、用时更短, 则小球在上升过程中克服重力做功的平均功率比下降过程中重力做功的平均功率大。

2. 拖着旧橡胶轮胎跑步是一种训练体能的常用方法。某消防队员在体能训练时拖着轮胎在操场上以恒定的速率跑了 80 m, 下列说法正确的是

- A. 摩擦力对轮胎做了负功 B. 合外力对轮胎做了正功
C. 拉力对轮胎所做的功等于轮胎动能的改变 D. 支持力对轮胎做了正功

解答: A

滑动摩擦力与轮胎运动方向相反, 做负功, A 正确; 轮胎速率不变, 动能不变, 合外力不做功, B 错误; 合外力做功即拉力做功与摩擦力做功之和等于轮胎动能的改变, C 错误; 支持力与轮胎运动方向垂直, 对轮胎不做功, D 错误。

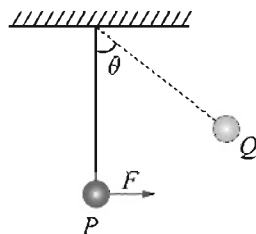
3. 如图所示, 质量为 m 的小球用长 l 的细线悬挂并静止在竖直位置 P 。用水平拉力 F 将小球缓慢地拉到 Q 点的过程中, 拉力 F 做功为

- A. $mg l \cos \theta$ B. $mg l (1 - \cos \theta)$ C. $F l \sin \theta$ D. $F l$

解答: B

水平拉力是变力, 不能直接用公式计算拉力的功, 拉力与重力的总功等于物体动能的变化, 物体缓慢运动, 则初末状态动能变化为 0, 所以由动能定理知, 拉力做功绝对值与重力做功绝对值相等。

4. 修建高层建筑常用的塔式起重机如图所示。在起重机将质量 $m = 5 \times 10^3 \text{ kg}$ 的重物竖直吊起的过程中, 重物由静止开始向上做匀加速直线运动, 加速度 $a = 0.2 \text{ m/s}^2$ 。当起重机的输出功率达到其允许的最大值时, 保持该功率不变直到重物做 $v_{\text{max}} = 1.02 \text{ m/s}$ 的匀速运动。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 不计额外功, 求:



第 3 题



第 4 题



- (1) 起重机允许输出的最大功率;
 (2) 重物做匀加速直线运动所经历的时间。

解答: (1) 设起重机允许输出的最大功率为 P_m , 重物达到最大速度时做匀速直线运动, 拉力 F_0 等于重力。

$$P_m = F_0 v_m \quad ①$$

$$F_0 = mg \quad ②$$

$$\text{代入数据得 } P_m = 5.1 \times 10^4 \text{ W} \quad ③$$

(2) 匀加速运动结束时, 起重机达到允许输出的最大功率, 设此时重物受到的拉力为 F , 速度为 v_1 , 匀加速运动的时间为 t_1 , 有

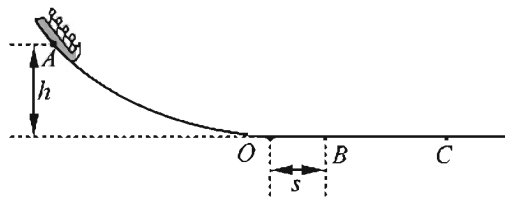
$$P_m = F v_1 \quad ④$$

$$F - mg = ma \quad ⑤$$

$$v_1 = at_1 \quad ⑥$$

$$\text{由③④⑤⑥, 代入数据得 } t_1 = 5 \text{ s} \quad ⑦$$

5. 雪车是冬季竞技运动项目之一。如图所示, 在一段赛道上, 运动员操控雪车无动力滑行, 沿斜坡赛道经 A 点至坡底 O 点, 再沿水平赛道经 B 点滑至 C 点。已知运动员与雪车的总质量为 m , A 点距水平赛道的高度为 h , OB 距离为 s , 雪车在 A 、 B 和 C 各点的速度分别为 v_A 、 v_B 和 v_C , 从 B 点滑至 C 点所用时间为 t_{BC} 。忽略空气阻力, 设雪车与赛道表面间的摩擦力大小恒定, 重力加速度大小为 g , 求:



第5题

- (1) 滑行过程中雪车所受摩擦力的大小;
 (2) 雪车与运动员从 A 点滑到 O 点的过程中

机械能的改变量。

解答: (1) 由题意可知, 雪车在 BC 段的加速度 $a = -\frac{f}{m}$, 则由 $v_C - v_B = at = -\frac{f \cdot t_{BC}}{m}$ 得, 滑行过程中摩擦力的大小 $f = \frac{mv_B - mv_C}{t_{BC}}$ 。

$$(2) \text{ 从 } O \text{ 点到 } B \text{ 点, 由动能定理 } -fs = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\text{解得 } v_0 = \sqrt{v_B^2 + \frac{2s(v_B - v_C)}{t_{BC}}}$$

雪车与运动员从 A 点滑到 O 点的过程中, 机械能的改变量为

$$\Delta E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 - mgh = \frac{1}{2}mv_B^2 + \frac{ms(v_B - v_C)}{t_{BC}} - \frac{1}{2}mv_A^2 - mgh$$

6. 某人将质量为 0.2 kg 的小球斜向上抛出, 抛出点距离地面 2.6 m , 抛出时速度大小为 12 m/s , 方向与水平方向之间的夹角为 30° 。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

- (1) 若不计空气阻力, 求小球落地时的速度大小。



(2) 若小球落地时的速度为 13 m/s , 求小球在空中运动过程中克服阻力做的功。

解答: (1) 在小球抛出后至落地前的整个运动过程中, 由动能定理得:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 $v = 14 \text{ m/s}$

(2) 在整个运动过程中, 由动能定理得

$$mgh - W_f = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 $W_f = 2.7 \text{ J}$

7. “辽宁号”航空母舰的质量为 m , 以速度 v 沿直线匀速驶向某训练海域, 此时多台蒸汽轮机发动机的输出总功率为 P . 若因需要临时关闭其中一半的发动机, 则

(1) 求发动机刚刚关闭时“辽宁号”航空母舰的加速度大小;

(2) 描述发动机关闭后一段时间内航空母舰的运动速度和加速度的变化情况。



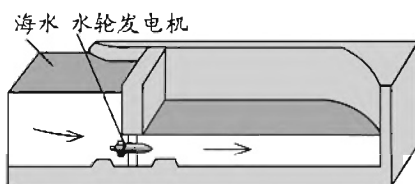
第 7 题

解答: (1) 由 $P = Fv$ 可知全部发动机工作, 航母匀速运动时牵引力 $F_1 = \frac{P}{v} = f$, 则此时加速度

$$a = \frac{F_2 - f}{m} = \frac{\frac{P}{2v} - f}{m} = -\frac{P}{2mv}。故加速度的大小为 \frac{P}{2mv}。$$

(2) 关闭后, 速度开始减小, 直至达到新平衡后再次保持匀速; 加速度逐渐减小直到变为 0, 航母做加速度减小的减速运动, 直至匀速, 最终匀速运动的速度为 $\frac{1}{2}v$ 。

8. 某海湾面积为 $1.0 \times 10^7 \text{ m}^2$, 涨潮时水深 20 m , 退潮时水深降至 18 m . 现利用此海湾筑水坝建潮汐水力发电站, 利用涨潮和落潮过程中进出海湾的潮水推动水轮发电机组发电, 如图所示。若重力势能转化为电能的效率是 10% , 每天有两次涨潮, 取海水密度 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 求该发电站一天能发出多少电能。



第 8 题

解答: 由题意知 $\Delta h = (20 - 18) \text{ m} = 2 \text{ m}$

每一次发电进出海湾的水的质量

$$M = \rho V = 1 \times 10^3 \times 1.0 \times 10^7 \times 2 \text{ kg} = 2 \times 10^{10} \text{ kg}$$

水的重力势能减少量

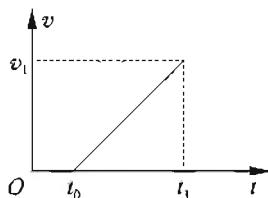
$$\Delta E_p = Mg \cdot \frac{\Delta h}{2} = 2 \times 10^{10} \times 10 \times 1 \text{ J} = 2 \times 10^{11} \text{ J}$$

一天两次涨潮两次退潮, 产生的电能

$$E = 4\Delta E_p \times 10\% = 4 \times 2 \times 10^{11} \times 10\% \text{ J} = 8 \times 10^{10} \text{ J}$$

科学探究

9. 某同学为了探究书本在下落过程中所受的空气阻力, 将一质量为 m 的书本放在运动传感器的正下方由静止释放, 得到书本落地前下落的速度—时间图像如图所示。求:



第9题

(1) 书本下落的距离;

(2) 书本在落地前损失的机械能以及在此下落过程中所受空气阻力的大小。

解答: (1) 由题可知, 加速度 $a = \frac{v_1}{t_1 - t_0}$, 所以下落距离为

$$h = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} a (t_1 - t_0)^2 = \frac{1}{2} v_1 (t_1 - t_0)$$

(2) 下落过程中 $mg - f = ma$,

$$\text{即 } f = mg - \frac{mv_1}{t_1 - t_0}$$

$$\text{损失的机械能 } \Delta E = mgh - \frac{1}{2} mv_1^2 = \frac{1}{2} mgv_1 (t_1 - t_0) - \frac{1}{2} mv_1^2$$

温故知新

10. 某航模兴趣小组设计出一架遥控飞行器, 质量 $m = 2 \text{ kg}$, 动力系统提供的恒定升力 $F = 28 \text{ N}$ 。试飞时, 飞行器从地面由静止开始竖直上升。假设飞行器飞行时所受阻力大小不变, 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

(1) 第一次试飞, 飞行器飞行 $t_1 = 8 \text{ s}$ 时到达的高度 $h = 64 \text{ m}$, 求飞行器所受阻力 f 。

(2) 第二次试飞, 飞行器飞行 $t_2 = 6 \text{ s}$ 时遥控器出现故障, 飞行器立即失去升力, 求飞行器能到达的最大高度 H 。

解答: (1) 飞行器从静止开始匀加速运动, $a_1 = \frac{2h}{t_1^2} = 2 \text{ m/s}^2$ 。此过程中, 飞行器受力如图1(a)所示, 则有 $F - f - mg = ma_1$, 得 $f = 4 \text{ N}$ 。

(2) 飞行器从静止开始匀加速运动, 6 s 内上升的高度为

$$h_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = 36 \text{ m}$$

飞行器失去动力后, 受力如图1(b)所示, 飞行器向上减速运动,

$$\text{则 } -(mg + f)(H - h_1) = 0 - \frac{1}{2} mv_1^2$$

解得 $H = 42 \text{ m}$

11. 如图所示, 可视为质点的两物块 A 、 B 的质量分别为 M 、 m 。 A 放在光滑水平桌面上, 一不可伸长的轻绳跨过光滑轻质定滑轮, 两端分别与 A 、 B 相连接, A 和滑轮间的轻绳与桌面平行。现将 A 从静止释放, 不

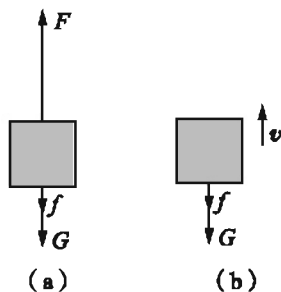
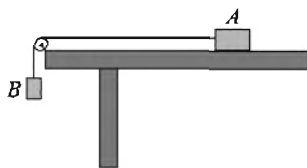


图1



第11题



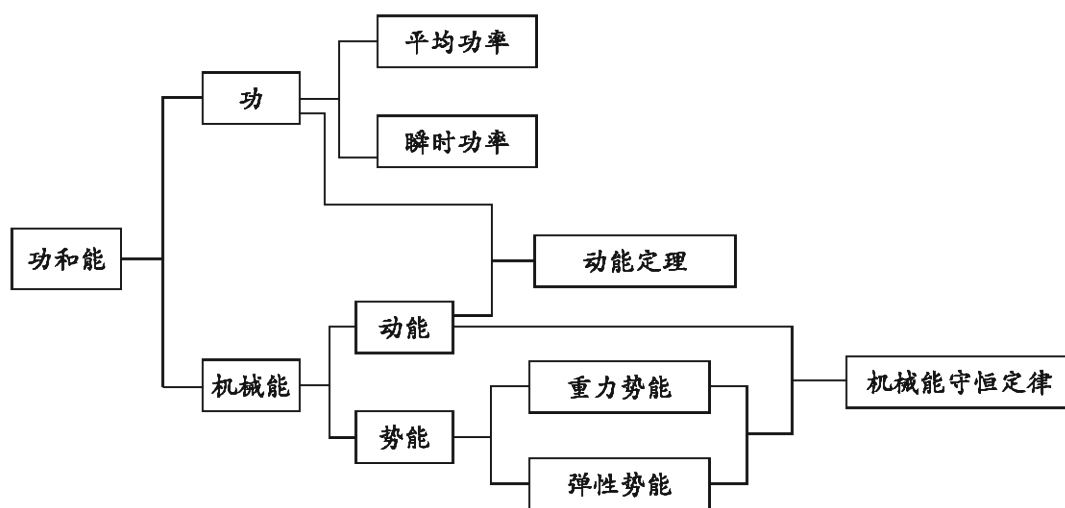
计空气阻力，重力加速度为 g 。请你设计两个问题，使其可应用下面的物理规律解决。

- (1) 牛顿第二运动定律。
- (2) 动能定理或机械能守恒定律。

解答：(1) 绳子张力多大，物块运动加速度多大？

(2) 物块 B 下落 h 时速度多大，绳子张力对 A 做多少功？

12. 请根据第 1 章（功和机械能）的内容，结合你的理解，画出概念图。





单元自我检测参考答案

一、选择题(本题共5小题。在每小题给出的四个选项中,第1~3题只有一项符合题目要求,第4、5题有多项符合题目要求)

1. 如图所示,某同学从一斜坡的顶端由静止开始下滑,然后沿水平面滑动了一段距离后停下来。在整个运动过程中

- A. 支持力对他做正功
B. 他的重力势能一直不变
C. 他的机械能守恒
D. 他的机械能减小



第1题

解答: D

人受到的支持力方向始终和速度方向垂直,支持力不做功,A错误;人的高度降低,重力势能变小,B错误;运动过程中摩擦力做负功,人的机械能变小,C错误,D正确。

2. 假设摩托艇受到的阻力的大小与它的速率成正比。如果摩托艇发动机的输出功率变为原来的2倍,则摩托艇的最大速率变为原来的

- A. 4倍
B. 2倍
C. $\sqrt{3}$ 倍
D. $\sqrt{2}$ 倍

解答: D

摩托艇的最大速率为匀速直线运动阶段的速率,此时牵引力等于阻力,有 $F=kv$ 。所以功率为 $P=kv^2$,功率与速率的平方成正比。

3. 某同学骑自行车下坡。已知坡长500 m、高8 m,人和车的总质量为100 kg。下坡时车的初速度为4 m/s,在人不蹬车的情况下,到达坡底时车速为10 m/s。取重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$,则下坡过程中阻力做的功为

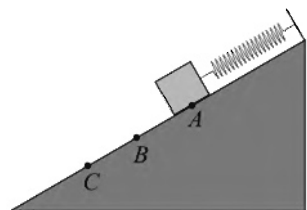
- A. -4 000 J
B. -3 800 J
C. -5 000 J
D. 200 J

解答: B

由 $W_G + W_f = \Delta E_k$,可得 $W_f = -3 800\text{ J}$ 。

4. 如图所示,在粗糙斜面顶端固定一弹簧,弹簧下端挂一物体,物体在A点处于平衡状态。现用平行于斜面向下的力拉物体,第一次直接拉到B点,第二次将物体先拉到C点,从静止释放后,再回到B点。在这两次到B点的过程中

- A. 物体重力势能的改变量相等
B. 弹簧的弹性势能的改变量相等
C. 摩擦力对物体做的功相等
D. 弹簧弹力对物体做的功相等



第4题



解答: ABD

两次运动初末位置相同, 重力势能改变量相同; 两次运动弹簧初末状态形变量相同, 弹性势能改变量相同, 弹簧弹力做功相同; 两次物体运动路程不同, 摩擦力做功不同。

5. 一物体静止在粗糙水平地面上。现用一大小为 F_1 的水平拉力拉动物体, 经过一段时间后其速度为 v 。若将水平拉力的大小改为 F_2 , 物体从静止开始经过同样的时间后其速度为 $2v$ 。对于上述两个过程, 用 W_{F1} 、 W_{F2} 分别表示拉力 F_1 、 F_2 所做的功, W_{f1} 、 W_{f2} 分别表示物体前、后两次克服摩擦力所做的功, 则

A. $W_{F2} > 4W_{F1}$

B. $W_{F2} < 4W_{F1}$

C. $W_{f2} = 2W_{f1}$

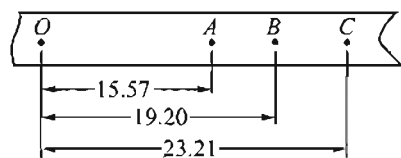
D. $W_{f2} < 2W_{f1}$

解答: BC

物体做匀加速运动, 两次运动时间相同, 则第二次运动位移为第一次运动位移的 2 倍, 又两次运动滑动摩擦力相同, 则 $W_{f2} = 2W_{f1}$; 由 $W_F - W_f = \Delta E_k$, $\Delta E_{k2} = 4\Delta E_{k1}$, $W_{F2} = \Delta E_{k2} + W_{f2} = 4\Delta E_{k1} + 2W_{f1}$, $W_{F1} = \Delta E_{k1} + W_{f1}$, 故 BC 正确。

二、非选择题

6. 在“验证机械能守恒定律”的实验中, 质量为 1 kg 的重物自由下落, 在纸带上打出一系列的点, 其中 O 为第一个点, A 、 B 、 C 为从合适位置开始选取的连续三个点, 如图所示。相邻计数点间隔的时间为 0.02 s , 测量点间距所用单位为 cm , 取重力加速度 $g = 9.8\text{ m/s}^2$ 。(计算结果均保留 3 位有效数字)



第 6 题

(1) 打点计时器打下计数点 B 时, 重物的速度是 _____ m/s 。

(2) 从起点 O 到打下计数点 B 的过程中, 重物重力势能的减少量 $\Delta E_p =$ _____ J , 动能的增加量 $\Delta E_k =$ _____ J 。

(3) 通过计算可知, 在数值上 ΔE_p _____ (选填“ $>$ ”“ $<$ ”或“ $=$ ”) ΔE_k 。这是因为 _____。

解答: (1) 1.91 (2) 1.88 1.82 (3) $>$ 阻力做负功使机械能损失

$$v_B = \bar{v}_{AC} = \frac{s_{AC}}{t_{AC}} = \frac{(23.21 - 15.57) \times 10^{-2}}{0.04} \text{ m/s} = 1.91 \text{ m/s}$$

$$\text{重力势能减少量 } \Delta E_p = mgh_B = 1 \times 9.8 \times 0.192 \text{ J} = 1.88 \text{ J}$$

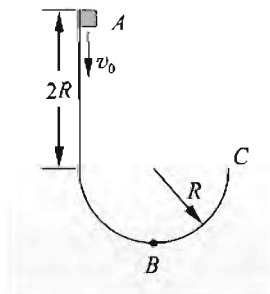
$$\text{动能增加量 } \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 1.91^2 \text{ J} = 1.82 \text{ J}$$

7. 如图所示, 质量为 m 的物体, 以某一初速度 v_0 从 A 点向下在光滑的轨道中运动。不计空气阻力, 若物体通过 B 点时的速度为 $3\sqrt{gR}$, 求:

(1) 物体在 A 点时的速度;

(2) 物体离开 C 点后还能上升的高度。

解答: (1) 以 B 点所在水平面为零重力势能面, 从 A 到 B 由机械能守



第 7 题

恒定律可得

$$mg(2R+R) + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_B^2$$

解得 $v_0 = \sqrt{3gR}$

(2) 从 A 到 C 由机械能守恒定律可知

$$mg(2R+R) + \frac{1}{2}mv_0^2 = mg(h+R)$$

解得 $h = 3.5R$

故物体离开 C 点后还能上升的高度为 $3.5R$ 。

8. 如图所示, 在某些少数民族地区, 溜索也是一种交通工具。溜索通常由铁索和滑轮组成, 某溜索的铁索长度为 l , 等高固定于两岸。若质量为 m 的滑行者滑到溜索中央最低点时高度下降了 h_0 , 且滑行者及滑轮在滑行过程中所受阻力大小恒为 f , 不计滑轮质量, 重力加速度为 g 。



第8题

(1) 若滑行者初速度为 0, 当其滑到最低点时, 滑行者的速度是多少?

(2) 若要到达对岸, 滑行者至少要做多少功?

(3) 若要架设的溜索在两岸的固定点不等高, 请从物理学角度回答架设溜索时应注意哪些问题。

解答: (1) 由题可知, $mgh_0 - f\frac{l}{2} = \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $v = \sqrt{2gh_0 - \frac{f}{m}l}$ 。

(2) 由题可知, 设滑行者至少要做功 W , 滑到对岸全程重力做的总功为 0, 由动能定理 $W - fl = 0 - 0$, 得 $W = fl$ 。

(3) 从高处滑至低处时, 要注意避免由于滑行者到达低处时速度过快而受伤; 若想从低处到达高处, 则需要滑行者全程做功, 故从低处滑至高处不太现实。

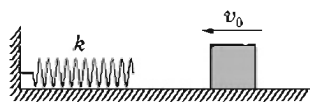




● ● 习题案例分析 ● ●

一、第5节节练习第5题

如图所示，轻弹簧 k 一端与墙相连，质量 $m = 4 \text{ kg}$ 的木块沿光滑水平面以 $v_0 = 5 \text{ m/s}$ 的初速度向左运动。求：



第5题

- (1) 弹簧在被压缩过程中的最大弹性势能；
- (2) 木块压缩弹簧后速度减小到 3 m/s 时弹簧的弹性势能。

【习题目标】

该题情境设置简单，主要从物理观念和科学思维两个方面提升学生的物理学科核心素养。从物理观念层面来看，主要强化学生对力与运动的关系、匀速直线运动、动能、机械能守恒等基本概念和规律的理解和应用，让学生清楚地认识到机械能守恒的条件，这些物理观念在整个高中物理体系中具有举足轻重的地位。

从科学思维层面来看，主要提升学生分析问题、解决问题的能力，把木块向左运动的过程分为两个阶段，接触弹簧之前做匀速直线运动，接触弹簧之后做减速运动。当木块速度减小为 0 时，弹簧的弹性势能最大，虽然该题对学生推理能力的要求并不高，但通过对该题的深入研究和拓展思考，对培养学生的科学思维能力会大有帮助。

【情境素材】

习题以常见的物块压缩弹簧为情境载体，以机械能守恒为线索，创设了实际生活常见的情境。需要学生准确理解机械能守恒的条件，并能够用机械能守恒定律列方程求解。木块沿光滑水平面向左运动，水平方向不受任何外力做匀速直线运动，刚接触弹簧时速度仍为 5 m/s ，之后挤压弹簧做减速运动，在弹簧被压缩过程中，只有系统内弹力做功，所以弹簧和木块构成的系统机械能守恒，木块减小的动能转化为弹簧增加的弹性势能。

【问题任务】

第(1)问求解弹簧在压缩过程中的最大弹性势能，需要学生判定弹簧和木块构成的系统机械能守恒，并认识到当弹簧的弹性势能最大时，木块动能最小。通过提升学生对机械能守恒条件的理解和分析能量转换的意识，促进学生综合分析能力。

第(2)问求压缩弹簧过程中速度为非特殊值时的弹性势能，进一步考查列出机械能守恒定律方程的能力，培养学生用守恒观念分析物理问题的能力。



【易错分析】

这道题较为简单，在第(2)问求解弹簧的弹性势能是根据木块与弹簧构成的系统机械能守恒来列表达式求解的，学生出错主要是不能灵活应用机械能守恒定律解决问题，要注意加强锻炼学生思维的活跃性，以及对概念和规律理解的深入性和应用的灵活性。除此之外，对临界情况的考查是培养学生分析能力和逻辑思维的重要方法，加强物理情境中临界情况的分析教学，可改善学生综合分析能力不足的问题。

【学科思维】

本题涉及弹簧弹力做功，通过机械能守恒定律分析能量的转换过程，可以使问题得以解决。在满足机械能守恒的条件下，利用机械能守恒定律可以分析匀变速问题，也可以分析一般变加速问题，机械能守恒定律适用范围较广。

【变式题例】

把质量为 m 的小球放在竖直的轻质弹簧上，并把球往下按至 A 的位置，如图 2(a) 所示。现将小球从 A 位置由静止释放，小球被弹簧弹起后升至最高位置 C ，如图 2(c) 所示。途中经过位置 B 时弹簧正好处于原长状态，如图 2(b) 所示。已知 A 、 C 两位置高度差为 h ，重力加速度为 g ，不计空气阻力，下列分析正确的是

- A. 小球从 A 运动到 C 的过程中，它的机械能守恒
- B. 小球从 B 运动到 C 的过程中，它的机械能守恒
- C. 小球在位置 B 时，它的动能最大
- D. 弹簧释放的弹性势能最大值为 mgh

解答：BD

小球从 A 运动到 B 过程中，小球与弹簧组成系统机械能守恒，弹性势能减小，小球机械能增大，A 错误；从 B 运动到 C 过程中，小球机械能守恒，B 正确；当弹簧弹力等于小球重力时，小球动能最大，位置在 B 点下方，C 错误；当弹簧恢复原长后，弹簧弹性势能全部释放，因此弹簧最大弹性势能等于小球从 A 到 C 增加的机械能，即从 A 到 C 小球重力势能增加量，D 正确。

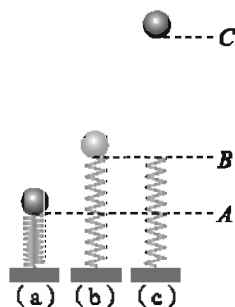
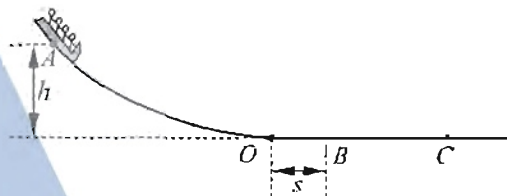


图 2

二、章末练习第 5 题

雪车是冬季竞技运动项目之一。如图所示，在一段赛道上，运动员操控雪车无动力滑行，沿斜坡赛道经 A 点至坡底 O 点，再沿水平赛道经 B 点滑至 C 点。已知运动员与雪车的总质量为 m ， A 点距水平赛道的高度为 h ， OB 距离为 s ，雪车在 A 、 B 和 C 各点的速度分别为 v_A 、 v_B 和 v_C ，从 B 点滑至 C 点所用时间为 t_{BC} 。忽略空气阻力，设雪车与赛道表面间的摩擦力大小恒定，重力加速度大小为 g ，求：

- (1) 滑行过程中雪车所受摩擦力的大小；
- (2) 雪车与运动员从 A 点滑到 O 点的过程中机械能的改变量。



第 5 题



【习题目标】

该题综合性强，对学生的能力要求高，通过该题可以实现强化学生的物理观念、提高学生的科学思维能力的目的。

从物理观念的角度，通过该题可以强化学生对于力的观点（以牛顿运动定律为核心）、运动的观点（以匀变速直线运动为核心）和能的观点（以动能定理和机械能为核心）的认识，这些物理观念在整个高中物理体系中具有举足轻重的地位。

从科学思维的角度看，这道题目对于学生的思维能力提出了很高的要求，整个问题情境分为两个过程：雪车在 AO 段的加速运动和 OC 段的匀减速直线运动，要解决好这道题目，既需要将两个过程独立出来进行分析，又需要将两个过程有机结合起来寻找其中的联系，特别是求解 O 点时的速度。因此，通过这道题目可以有效地培养学生的分析综合能力，这个过程中，学生的推理能力自然而然地也会随之得到提升。

【情境素材】

习题以雪车无动力滑行为情境载体，以几个特殊位置的速度为线索，创设了符合生活实际的情境。情境中已知物理量较多，需要用到的物理规律也较多，需要学生能分析运动过程，各阶段运用合适规律求解实际问题。

【问题任务】

第（1）问求滑车所受摩擦力大小，应分析运动过程，找出匀变速直线过程，并运用牛顿运动定律和匀变速直线运动规律联立求解，需要学生有一定的综合分析能力。

第（2）问求机械能的改变量，难点在于对 O 点速度的求解，其值需要根据 OB 段运动情况算出，这样便可算出从 A 到 O 点初末位置的机械能，并求解其改变量。

【易错分析】

本道题的易错点如下：

1. 求解 BC 段加速度时，列牛顿第二定律表达式及运动学公式时，矢量的方向容易写错，造成结果错误。出现这一问题主要是学生对矢量的理解不足，对矢量的方向把握不准。矢量的方向性是物理中很重要的知识点，在日常教学中要多加练习。

2. 物理中求解变化量时是用末状态量减去初状态量，若学生忽略这一点，用初状态机械能减去末状态机械能会造成结果错误。

3. 学生求解 O 点速度时，没有思路，不知道利用 OB 段求解 O 点的速度大小，无法进一步解题。出现这一问题主要是学生综合分析和逻辑推理的能力略有欠缺。要解决这一问题，教师在日常教学中要注重培养学生的科学思维。

【学科思维】

1. 本题情境下，摩擦力不能忽略，运动员与雪车在滑行过程中机械能不守恒，由于运动过程中摩擦力做负功，故机械能减小。本题可加深学生对除重力和系统内弹力之外的其他力做功引起机械能变化的认识。

2. 本题是多过程问题，运动可分为两个阶段：第一阶段是从 A 点到坡底 O 点做加速运动，由



于摩擦力的存在出现机械能的损失；第二阶段是从 O 点到 C 点，水平方向只受摩擦力，做匀减速直线运动。首先可由 B 到 C 过程，利用牛顿第二定律求出摩擦力；然后利用动能定理在 O 到 B 过程求出经过 O 点的速度，从而解得机械能的改变量。解决本题需要能分段分析清楚运动情形、选取恰当规律求解，需较强的综合分析能力。

【变式题例】

如图所示，一个质量为 m 的物体以某一速度从 A 点冲上倾角为 30° 的斜面，其运动的加速度大小为 $\frac{5}{6}g$ ，此物体在斜面上上升的最大高度为 h ，则

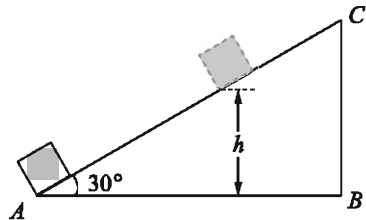


图3

- A. 物体上升过程动能减小了 $\frac{5}{3}mgh$
- B. 物体上升过程重力势能增加了 $\frac{5}{6}mgh$
- C. 物体在斜面上运动的整个过程机械能损失了 $\frac{4}{3}mgh$
- D. 物体沿斜面上升过程克服重力做功的平均功率小于下降过程重力做功的平均功率

解答：AC

上升过程中，物体所受合力 $F_{\text{合}} = ma = \frac{5}{6}mg$ ，由几何关系知，物体沿斜面运动的距离 $s = 2h$ ，由动能定理， $W_{\text{合}} = F_{\text{合}} s \cos 180^\circ = -\frac{5}{3}mgh = \Delta E_k$ ，上升过程动能减小了 $\frac{5}{3}mgh$ ，A 正确；上升过程重力势能增加量为 mgh ，B 错误；上升过程机械能损失 $\frac{2}{3}mgh$ ，下降过程滑动摩擦力大小、位移大小均与上升过程相同，所以下降过程机械能损失仍为 $\frac{2}{3}mgh$ ，整个过程机械能损失 $\frac{4}{3}mgh$ ，C 正确；上升与下降过程重力做功绝对值相等，位移相等，上升过程平均速度更大，时间更短，功率更大，D 错误。



第2章 抛体运动

【课时建议】

章节名称	建议课时数
导 入 更准、更远	
第1节 运动的合成与分解	2
第2节 平抛运动	2
第3节 科学探究：平抛运动的特点	1
第4节 生活中的抛体运动	1
机 动	1
总课时数	7

【学业要求】

(1) 能了解曲线运动的内涵，知道物体做曲线运动的条件，能从运动合成与分解角度认识抛体运动；能综合分析生产生活中的抛体运动问题，解决一些相关的实际问题。具有与抛体运动相关的初步的运动观念。——物理观念

(2) 能在熟悉情境中运用抛体运动模型解决问题；能对平抛运动等问题进行分析推理，能体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想；能用与抛体运动规律相关的证据说明结论并作出解释；能从不同角度分析解决抛体运动问题。——科学思维

(3) 能完成“探究平抛运动的特点”等物理实验。能有针对性地提出可探究的物理问题；能在他人帮助下制订相关的探究方案，有根据器材调整实验方案的意识，获取数据；能分析数据、提出猜想、形成与实验目的相关的结论；能撰写比较完整的实验报告，在报告中能呈现实验表格、数据分析过程及实验结论，能根据实验报告进行交流。——科学探究

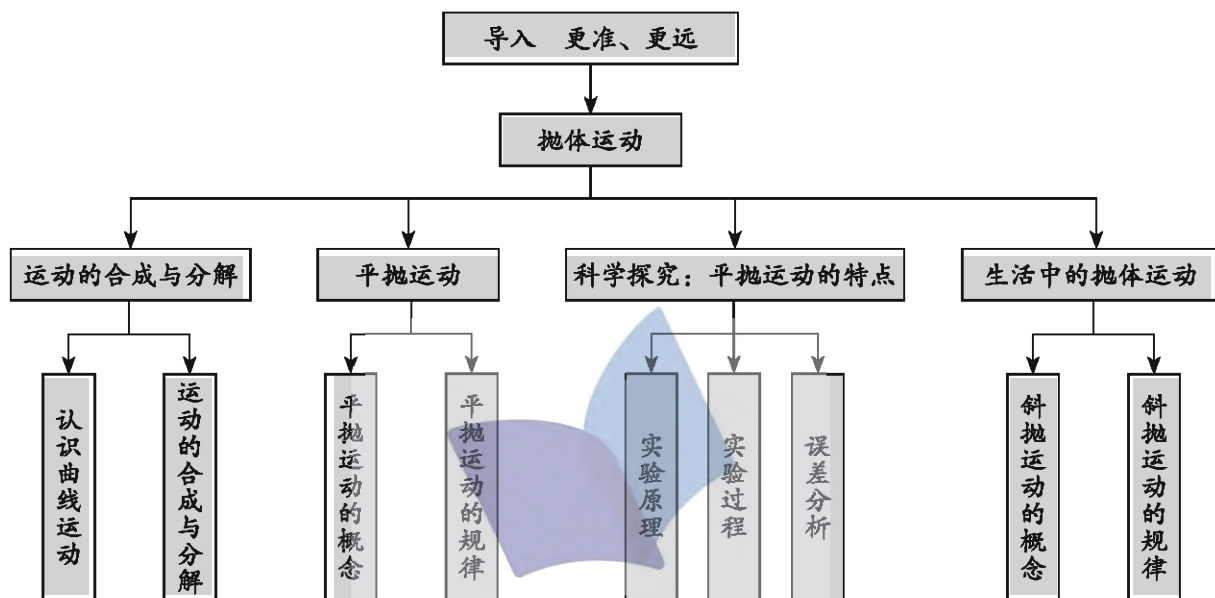
(4) 通过对平抛运动特点的探究，能认识物理学是人们有意识探究而形成的对自然现象的描述与解释；能主动参加科技活动，有学习物理的内在动力；能体会物理学的技术应用对日常生活的影响。——科学态度与责任

【编写思路】

自然界中的运动通常十分复杂，如扔出的飞镖、掷出的标枪等都不是简单的直线运动，而是一种较为复杂的曲线运动。这种运动该如何分析呢？教材第1节探讨了生活中运动的合成与分解，体现了化复杂为简单、变曲为直的研究思想，为学生理解和掌握抛体运动的特点和规律奠定了基础。第2节是平抛运动的内容，在教材中起到了承上启下的作用。第一次具体应用运动的合成与分解的知识来处理曲线问题，既巩固了前面所学的知识，又为后面的学习打下了基础。第3节的内容是第2节内容的深入与延续，这部分内容可充分锻炼学生的科学思维能力以及实验操作的动手能力，对培养学生学习物理的兴趣也有重要作用。我们可以把抛体运动分为平抛运动、竖直上抛运动、竖直下抛运动和斜抛运动。因此，本章第4节“生活中的抛体运动”的综合性比较强，通过这部分内容的学习，可以帮助学生巩固前面学过的知识与方法，有效提高综合问题的解决能力。

本章从整体编排体系来看，以曲线运动为基础，以运动的合成与分解为主线，以平抛运动为重点，以斜抛运动作为结束，一环紧扣一环，体现了教材的系统性和顺序性，突出了本章的主题。以上编写思路，不仅有利于教师的教学，而且有利于学生的学习。需要注意的是，学生第一次学习曲线运动，起点不要过高，要根据实际情况适当调整教学要求，注意训练的层次性。教师要指导学生建好坐标系，描绘好平抛运动的轨迹曲线，规范地作出位移和速度矢量的分解图，标注好角度关系，培养学生规范作图的能力。同时，抛体运动与体育运动有着广泛的联系，教师指导学生分析此类问题的基本思路是：抓住问题的主要因素，忽略次要因素，由实际问题构建出简化的物理模型，再根据抛体运动的规律进行求解。问题虽然以各项体育运动为背景，但解答所需的知识和方法仍以物理基础知识与方法为主，分析和解答这类问题就是将题目中所涉及的物体的实际运动与相应的物理运动模型建立链接，完成由实际问题到物理模型的过渡。

【本章结构】





● ● 第 1 节 运动的合成与分解 ● ●

一、教学要求与重难点

(一) 教学要求

1. 了解曲线运动的含义，知道曲线运动的位移和瞬时速度的方向，能在曲线运动的轨迹图上画出各点的速度方向。
2. 知道物体做曲线运动的条件，能运用牛顿第二定律分析曲线运动的条件。
3. 通过分析竹筏过小溪的运动，学会运动的合成与分解，掌握合运动与分运动的应用，初步体会等效替代的物理思想，从而处理复杂运动。
4. 认识到曲线运动是自然界的基本运动形式，能应用运动的合成与分解知识分析生活中有关的问题，有将物理知识应用于日常生活和生产实践的意识，体验学习物理的乐趣。

(二) 重难点分析

本节重点是理解曲线运动是变速运动，判定物体做曲线运动的方向以及明确物体做曲线运动的条件，并且掌握运动合成与分解的方法。此部分内容是研究曲线运动的基础，为以后的学习奠定基础。

本节难点是理解合运动和它的分运动是等效替代的关系。学生在学习中较难理解一个复杂的运动可以等效分解为几个简单的运动。



二、教材分析与教学建议

教材要点解读



飞镖运动是一项非常有趣的运动。在一次飞镖比赛中，一位同学沿水平方向正对飞镖盘的靶心投出飞镖，飞镖能命中靶心吗？从物理学的角度看，怎样才能投得更准？



如何投飞镖更准



如何掷标枪更远

在田径运动会上，运动员投掷标枪、铅球、铁饼，都会非常注意投掷的角度。如果要参加学校田径运动会的投掷比赛，你知道怎样才能投掷得更远吗？除了力度外，为何还与投掷角度有关？

投出的飞镖、掷出的标枪的运动均属于曲线运动。曲线运动有怎样的规律？如何探究曲线运动的特点？本章将从运动的合成与分解入手，学习平抛运动等内容。

前面的章节主要研究了直线运动，本章开始研究曲线运动。曲线运动是生活中常见的运动形式，导入利用两种曲线运动引出问题：飞镖怎样投更准，标枪怎样掷更远？从而启发学生思考曲线运动是有规律的，掌握它的相关规律可以解释常见现象，为我们生产生活实际服务。进一步提出关于曲线运动的规律特点的几个问题，可以激发学生对曲线运动及其规律的探究兴趣。

教学建议：

生活中丰富生动的曲线运动素材均可以作为引入，可选择恰当例子让学生认识到掌握曲线运动特点及其规律的重要性。例如，宇宙飞船和空间站在太空中的运动、导弹在空中的飞行、驾车飞越黄河壶口瀑布等均为曲线运动，我们要实现飞船和空间站的对接，成功拦截飞行中的导弹，驾车成功飞越黄河必须要准确测量曲线运动物体已经发生的轨迹和预测其将要发生的轨迹，也就是必须深刻掌握曲线运动的规律方能实现精准对接、拦截和成功飞跃黄河。



教材要点解读

本节是整章教学的知识基础。曲线运动的知识对于高中学生是比较新的内容，学生掌握这部分知识具有一定的难度。教材从生活中的实际例子出发，让学生建立起曲线运动的概念，并且让学生了解它与直线运动的显著区别是速度的方向在变化。

“迷你实验室”中钢珠在磁铁吸引下的运动可以说明物体做曲线运动的条件。实验可按以下步骤进行：①推动钢珠，让钢珠在水平桌面上做直线运动，观察其运动轨迹；②在其运动轨迹旁边放一块磁铁，再次推动钢珠，观察它的运动轨迹。通过此实验，可总结物体做曲线运动的条件是，物体所受合力的方向跟它的速度方向不在同一直线上。

教学建议：

教学时，教师在做好教材提供的实验的基础上，还要从理论层面作深层次的分析，从而加深学生的理解。钢珠开始在水平桌面上做直线运动，旁边放一块磁铁之后，钢珠受到了磁场的作用力。当速度方向与受力方向不在同一条直线时，可以将力分解为平行于速度方向和垂直于速度方向的两个分力。根据牛顿第二定律，垂直于速度方向的分力不改变速度的大小，而改变速度的方向，从而使物体做曲线运动。

同时，教师要帮助学生理解、体会做曲线运动的物体，其速度方向与运动轨迹的关系。例如，可以让学生观察斜向上抛出的石子的运动、节日里烟花在空中爆炸后的轨迹和田径场上投出的标枪在空中划出的优美弧线等。

第1节

运动的合成与分解

我们已经学习了研究某些直线运动的方法，如果物体的运动是较为复杂的曲线运动，该如何分析呢？本节将学习利用运动的合成与分解的思想，分析和解决曲线运动的相关问题。

1. 认识曲线运动

自然界中物体的运动通常十分复杂。为了便于研究，可根据研究的问题，将运动简化为直线运动和曲线运动。

下落的苹果、竖直向上抛出的石子、沿平直公路行驶的汽车，其运动轨迹都可视为直线，这种轨迹为直线的运动称为直线运动。水平扔出的飞镖、绕地球运动的卫星（图 2-1），其运动轨迹都是曲线，这种轨迹为曲线的运动称为曲线运动（curvilinear motion）。



图 2-1 绕地球运动卫星的示意图

物体在什么情况下做曲线运动呢？让我们一起来观察下面的实验。



迷你实验室

钢珠在磁铁吸引下的运动

首先推动钢珠，让钢珠在水平桌面上做直线运动，观察其运动轨迹。然后在其运动轨迹旁边放一块磁铁（图 2-2），再次推动钢珠，观察其运动轨迹。解释观察到的现象。

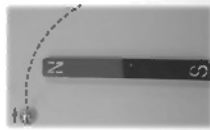


图 2-2 钢珠在磁铁吸引下的运动轨迹



教材要点解读

由牛顿第二定律可知,物体加速度方向与所受合力方向一致。当物体所受合力与速度方向在同一直线上时,加速度方向与速度方向共线,物体将做直线运动。当合力与速度方向不在一条直线上时,物体做曲线运动,曲线运动的方向时刻变化。

对于曲线运动速度的方向是研究曲线运动的一个重点内容。

“迷你实验室”中探究了直线运动与曲线运动的速度方向,讨论发现笔尖画直线时,其运动方向与其速度方向一致并保持不变;再用笔画一条曲线,观察笔尖运动,发现笔尖运动方向不断改变。进一步分析得出结论,即曲线运动的速度方向总是沿轨迹的切线方向。

Physics

第2章 抛体运动

当物体所受合力的方向跟它的速度方向在同一直线上时,由牛顿第二定律可知,加速度方向与速度方向在一条直线上,物体做直线运动。当物体所受合力的方向跟它的速度方向不在同一直线上时,物体做曲线运动。钢珠第一次滚动时受到的阻力与速度方向相反,做减速直线运动。钢珠第二次滚动时受到阻力和磁铁的吸引力,所受合力的方向与速度方向不在同一直线上,做曲线运动。水平扔出的飞镖、喷泉口倾斜喷出的水柱,因为所受重力的方向与速度的方向不在同一直线上,所以都做曲线运动。

速度是矢量,它既有大小,又有方向。做曲线运动的物体在某一点的速度方向,为沿曲线在该点的切线方向。曲线运动中速度的方向时刻在变化,因此曲线运动是变速运动。

迷你实验室

曲线运动的速度方向

用笔画一条直线,你会发现,笔尖运动方向保持不变(图2-3);再用笔画一条曲线,观察笔尖运动,你会发现,笔尖运动方向不断改变(图2-4)。在图2-4中,根据平均速度的定义,笔尖经时间 t 沿曲线从A点运动到B点,平均速度的方向与位移 AB 的方向相同。 t 趋短,平均速度趋近A点的瞬时速度,其方向趋近A点的切线方向。因此,物体在某点的速度方向,就是沿曲线在该点的切线方向。

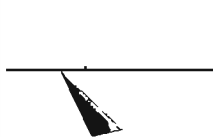


图 2-3 画直线时,笔尖运动的方向不变

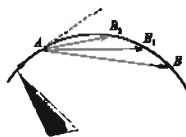


图 2-4 画曲线时,笔尖运动的方向不断改变

2. 生活中运动的合成与分解

运动的合成与分解是处理复杂运动的基本方法。如果一个物体同时参与了几个运动,那么物体实际发生的运动就是这几个运动的合运动,这几个运动就是物体实际运动的分运动。对于复杂运动,可将其分解为几个简单的直线运动,再运用直线运动规律分别进行研究。下面我们通过竹筏过小河的运动,来具体探讨运动的合成与分解问题。

教学建议:

此部分的教学可以按如下几个方面依次展开。①猜想与假设:一般的曲线运动速度方向可能沿切线方向。②实验与探究:结合教材得出结论。③理论探究:明确切线的概念,从理论上说明曲线运动的速度方向。

首先,要让学生观察有关现象,如用砂轮打磨工件时,火星沿砂轮的切线飞出;撑开的带有水的伞绕着伞柄旋转等。同时提出问题:水滴沿着伞边飞出的运动方向是怎样的?在观察现象的基础上,引导学生结合教材进行分析。接下来,引导学生从极限思维的角度出发,理论上说明曲线运动的速度方向是沿着切线方向。

由于学生已经具有了极限思想,接受起来并不是很难,如果让学生想象从割线到切线的动态过程,对于理解曲线运动的速度方向是有益处的。在教学中,如果教师准备了可以演示从割线到切线动态过程的课件,建议还是先让学生想象,再演示。



教材要点解读

运动的合成与分解是处理复杂运动的基本方法。

教材通过竹筏过小河的运动，来具体探讨运动的合成与分解问题。分析可发现，竹筏过河时，设竹筏在 AB' 方向是匀速划动的，河水在 AA' 方向是匀速流动的，竹筏的两个分运动的速度都是恒定的，所以合运动也是匀速直线运动。

由此可见，进行运动的合成与分解时，描述运动的位移、速度、加速度等矢量，其合成与分解遵循矢量运算的法则。

同时，教材通过生活中的实例引入了合运动与分运动的概念，以及等效替代的物理思想。教学中应该通过多个实例表明一个事实：如果一个物体同时参与了几个运动，那么物体实际发生的运动等效于物体同时参与的几个分运动的矢量和。

教学建议：

在教学过程中可以用互动的方式进行课堂导入，让学生理解其在生活中的实际应用。同时，教师可以利用多媒体视频演示竹筏过小河的运动过程，有利于学生的理解。

等效替代是物理学中常用的方法，因此在教学过程中要让学生体会这个方法，同时让学生领悟物理方法在建立概念、解决问题中的作用。教师要引导学生认识并体会运动的合成是矢量合成。描述运动的物理量，如位移、速度、加速度都是矢量，因此运动的合成是这些矢量的合成，合位移是分位移的矢量和，合速度是分速度的矢量和，合加速度是分加速度的矢量和，满足矢量相加的平行四边形定则。

第1节 运动的合成与分解



如图 2-5 所示，假设当竹筏始终垂直于河对岸匀速划动时，它从小河 A 处匀速运动到河对岸的 B 处，位移为 s ，速度为 v 。若河水不流动，竹筏在静水中沿 AB' 方向划动，经过时间 t ，竹筏从 A 点匀速运动到 B' 点，这个分运动的位移为 s_1 ，速度为 v_1 。若竹筏没有划动，河水使竹筏从 A 点匀速运动到 A' 点，这个分运动的位移为 s_2 ，速度为 v_2 ，时间仍为 t 。竹筏在流动的河中划动时，经过相同时间 t ，竹筏从 A 点运动到 B 点，这就是上述两个分运动的合运动。

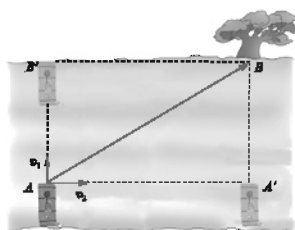


图 2-5 竹筏过小河的运动分解示意图

运动的合成与分解实质上是对描述运动的物理量如位移、速度、加速度的合成与分解，遵从矢量运算法则。如上所述，竹筏过小河时，设竹筏在 AB' 方向是匀速划动的，河水在 AA' 方向是匀速流动的，竹筏的两个分运动的速度都是恒定的，所以合运动也是匀速直线运动，其位移、速度的矢量合成图，分别如图 2-6、图 2-7 所示。由于两分运动的方向相互垂直，对应的位移大小和速度大小为

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2}$$

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$$

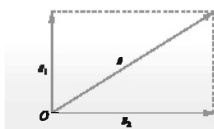


图 2-6 位移的合成与分解

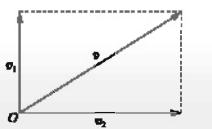


图 2-7 速度的合成与分解



物理问题

在图 2-5 所示竹筏过小河的运动中，如果河水的流动保持匀速直线运动，但竹筏在静水中的运动为匀加速直线运动，请尝试在图中用粗略描点的方法，画出这种情况下竹筏的实际运动轨迹，看看其合运动是否为直线运动，并与同学交流。

例题

跳伞员打开降落伞下落一段时间后的运动可近似视为匀速下落。若无风，跳伞员着地的速度约为 5 m/s ，方向竖直向下；若有风，且风速大小为 4 m/s ，方向水平向东，假设跳伞员在水平方向的速度与风速相等，落地时在竖直方向的速度与水平风速无关，则跳伞员着地的速度将是多大？速度的方向怎样？

分析

有风时跳伞员实际的运动是竖直下落的运动和水平方向的运动的合运动。可通过平行四边形定则求解。

解

跳伞员在有风时着地的速度 $v_{\text{合}}$ ，为降落伞无风时匀速下降的速度 $v_{\text{竖}}$ 和风速 $v_{\text{风}}$ 的合速度，如图 2-8 所示。由勾股定理求得

$$v_{\text{合}} = \sqrt{v_{\text{风}}^2 + v_{\text{竖}}^2} = \sqrt{4^2 + 5^2} \text{ m/s} = 6.4 \text{ m/s}$$

设着地速度 $v_{\text{合}}$ 与竖直方向的夹角为 θ ，则

$$\tan \theta = \frac{v_{\text{风}}}{v_{\text{竖}}} = \frac{4}{5} = 0.8$$

解得 $\theta = 38.7^\circ$

讨论

风变大时，跳伞员水平方向的速度将变大，那么其落地的速度将会怎样改变？

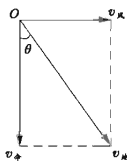


图 2-8 速度的合成

策略提炼

求解运动的合成与分解问题，首先要分清合运动与分运动，然后根据矢量运算法则进行合成或分解。

迁移

如图 2-9 所示，一条小船位于宽 200 m 的河的正中间 A 点处，下游 150 m 处有一危险区，已知小船在静水中的最大速度为 3 m/s ，水流速度为 4 m/s 。为了使小船避开危险区安全到达河岸，船员立刻使船头正对河岸奋力划船，小船能安全到达河岸吗？

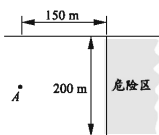


图 2-9 小船过河示意图

教学建议：

曲线运动是因物体所受的力与运动方向不一致而形成的。当学生理解了曲线运动的形成原因之后，因为之前已经学习过利用平行四边形定则来进行力的合成，所以此时教师引入平行四边形定则来对曲线运动的轨迹进行分解，学生较容易接受。

教材中的“迁移”部分需要让学生认识到分运动与合运动的时间相同，教师可以从这个出发点来引导学生进行思考。

例题涉及的知识点是速度的合成。教材通过探讨在有风与无风两种情况下，对运动员的运动速度进行合成。

在无风时，跳伞员竖直向下做匀速运动；在有风时，跳伞员水平方向的速度与风速一致。所以在有风时跳伞员的着地速度是这两个方向速度的合成，利用平行四边形定则，可解得其合速度的大小和方向。

通过此题需要让学生掌握：如果一个物体同时参与了几个运动，那么物体实际发生的运动等效于物体同时参与的几个分运动的矢量和。



三、课堂教学活动资源

(一) 迷你实验室

1. 钢珠在磁铁吸引下的运动

首先推动钢珠，让钢珠在水平桌面上做直线运动，观察其运动轨迹。然后在其运动轨迹旁放一块磁铁（图 2-2），再次推动钢珠，观察其运动轨迹。解释观察到的现象。

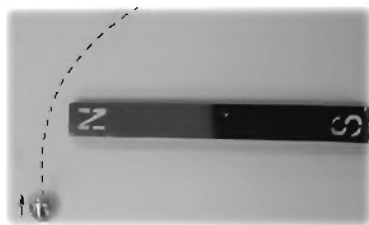


图 2-2

分析：推动钢珠后，钢珠的速度方向与所受阻力方向在同一直线上，钢珠做直线运动。在其运动轨迹旁边放一块磁铁，钢珠受到了磁力的作用，速度方向与所受合力方向不在同一直线上，钢珠运动方向发生改变做曲线运动。从而可总结出物体做曲线运动的条件是，物体所受合力的方向跟它的速度方向不在同一直线上。

2. 曲线运动的速度方向

分析：此实验是关于曲线运动方向的讨论。教师在教学中可以引导学生亲自动手，感受笔尖运动方向的变化。之后进行理论分析，明确切线的概念，总结出曲线运动的速度方向总是沿切线方向。

(二) 物理聊吧

在图 2-5 所示竹筏过小河的运动中，如果河水的流动保持匀速直线运动，但竹筏在静水中的运动为匀加速直线运动，请尝试在图中用粗略描点的方法，画出这种情况下竹筏的实际运动轨迹，看看其合运动是否为直线运动，并与同学交流。

分析：其运动不是直线运动。因为如果两个分运动都是匀速直线运动，由于分速度矢量是恒定的，合速度矢量也是恒定的，所以合运动也应该是匀速直线运动。但如果某一方向做匀加速运动，此方向上速度矢量不再恒定，合速度矢量也不再恒定，其大小和方向均在变化，竹筏不能做直线运动。

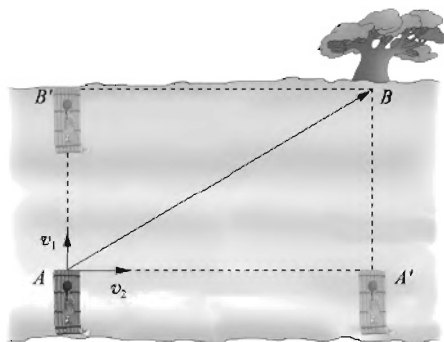


图 2-5

(三) 例题迁移

如图 2-9 所示，一条小船位于宽 200 m 的河的正中间 A 点处，下游 150 m 处有一危险区，已知小船在静水中的最大速度为 3 m/s，水流速度为 4 m/s。为了使小船避开危险区安全到达河岸，船员立刻使船头正对河岸奋力划船，小船能安全到达河岸吗？

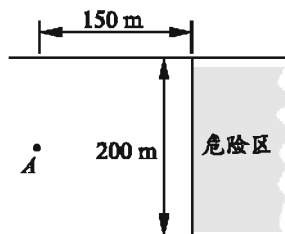


图 2-9

解答：设水速与合速度的夹角为 θ ，则 $\tan\theta = \frac{3}{4}$ 。当船在垂直于河

岸方向上的位移为 100 m 时，设沿水流方向的位移为 x ，则 $\frac{3}{4} = \frac{100}{x}$ ，解得 $x = 133.3$ m。

因为 $133.3 \text{ m} < 150 \text{ m}$ ，所以当船到达对岸时，还未到危险区域，能安全到达对岸。



选题意图：此题是关于生活中运动的合成与分解的题目，运动的合成与分解是本节的一个重难点，学生要理解一个复杂的运动可以等效为两个简单的运动，并且学会利用运动的合成与分解解决实际问题。

（四）课堂练习或知识点的检测

关于物体做曲线运动，下列说法正确的是

- A. 物体所受合力方向与速度方向相同时，可以做曲线运动
- B. 物体所受合力方向与速度方向相反时，可以做曲线运动
- C. 物体所受合力方向与速度方向垂直时，一定做曲线运动
- D. 无论物体所受合力方向与速度方向有何关系，物体均可以做曲线运动

解答：C

选题意图：此题是物体做曲线运动条件的题目。学生在学习曲线运动过程中，明确曲线运动的速度方向和做曲线运动的条件是教学过程中的重点，当物体所受合力的方向跟它的速度方向不在同一直线上时，物体做曲线运动。

四、作业解答

1. 设空中的雨滴从静止开始下落，遇到水平方向吹来的风。请分析风速对雨滴下落时间和着地速度的影响。

解答：因为雨滴下落的时间只与竖直方向的分速度有关，所以水平方向吹来的风对雨滴下落的时间没有影响。但雨滴着地速度是指其合速度，其大小和方向由水平方向的速度和竖直方向的速度共同决定，因此水平方向吹来的风会对雨滴的着地速度有影响：风速越大，雨滴着地速度越大，其方向与竖直方向的夹角也越大。

2. 下列说法正确的是

- A. 物体在恒力作用下不可能做曲线运动
- B. 物体在变力作用下一定做曲线运动
- C. 物体的速度方向与合力方向不在同一条直线上时，物体一定做曲线运动
- D. 做曲线运动的物体所受合力的方向一定是变化的

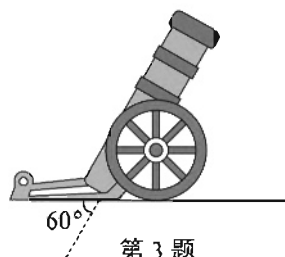
解答：C

物体做曲线运动的条件是合力与速度不在同一条直线上，合外力大小和方向可以不变，如平抛运动，只受重力，合力方向不变，故 A 错误、C 正确、D 错误；物体在变力作用下也不一定做曲线运动，如弹簧振子的振动过程中弹簧弹力的大小与方向都是不断变化的，振子做直线运动，故 B 错误。

3. 如图所示，炮筒与水平方向的夹角为 60° ，炮弹从炮筒射出时速度的大小为 800 m/s 。求炮弹射出时在竖直方向和水平方向的分速度大小。

解答：在竖直方向上 $v_y = v_0 \sin 60^\circ = 693 \text{ m/s}$

在水平方向上 $v_x = v_0 \cos 60^\circ = 400 \text{ m/s}$





4. 如图所示, 汽艇在静水中的航行速度是 12 km/h 。若它在流速为 3 km/h 的河水中航行, 当船头与河岸垂直时, 求合速度的大小和方向。

解答: 速度的合成如图 2-1-1 所示。

$$v_{\text{合}} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \sqrt{12^2 + 3^2} \text{ km/h} = 3\sqrt{17} \text{ km/h}$$

$$\tan\theta = \frac{12}{3} = 4$$

$$\theta = \arctan 4$$

因此, 合速度的大小 $v_{\text{合}} = 3\sqrt{17} \text{ km/h}$, 合速度的方向与河岸之间的夹角 $\theta = \arctan 4$ 。

5. 在雪地军事演习中, 已知子弹射出时的速度是 500 m/s , 射击者坐在以 10 m/s 的速度向正东方向行驶的雪橇上, 要射中位于他正北方的靶子, 必须向什么方向射击? (结果可用三角函数表示)

解答: 如图 2-1-2 所示, $\sin\theta = \frac{v_2}{v_1} = \frac{10}{500} = 0.02$, 则有 $\theta = \arcsin 0.02$ 。

因此, 要射中位于正北方的一个靶子, 必须向北偏西 $\arcsin 0.02$ 的角度射出。

6. 某趣味物理实验中, 在水平桌面上从桌子的一个角 A 向 B 发射一个乒乓球, 一同学在桌边试着用一支吹管将球由 B 处吹进球门 C , 如图所示。该同学将吹管对准 C 用力吹, 但球总是进不了球门。请帮他分析失败的原因。

解答: 由于乒乓球开始是沿水平方向运动, 而吹管位于 CB 直线上, 只能使乒乓球获得 CB 方向的分速度, 但由于乒乓球已经具有 AB 方向的分速度, 所以无法进入 C 点处的球门。若想将乒乓球吹进球门, 吹管吹气方向应介于 BA 方向和 BC 方向之间。



第 4 题

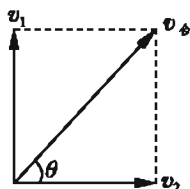


图 2-1-1

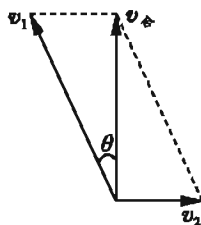
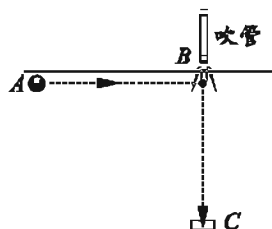


图 2-1-2



第 6 题

五、课程资源

(一) 足球运动

足球运动是一项古老的体育活动, 源远流长。据说, 希腊人和罗马人在中世纪以前就已经从事一种足球游戏了。他们在一个长方形场地上, 将球放在中间的白线上, 用脚把球踢滚到对方场地, 当时称这种游戏为“哈巴斯托姆”。

到 19 世纪初叶, 足球运动在当时欧洲及拉美一些国家, 特别是在资本主义的英国已经相当盛行。直到 1848 年, 足球运动的第一个文字形式的规则《剑桥规则》诞生了。然而众多的资料表明, 中国古代足球的出现比欧洲更早, 历史更为悠久。我国古代足球称为“蹴鞠”或“蹋鞠”, “蹴”和“蹋”都是踢的意思, “鞠”是球名。“蹴鞠”一词最早见于《史记·扁鹊仓公列传》, 到了唐宋时期, 蹴鞠活动已十分盛行, 成为宫廷之中的高雅活动。

1958年7月,第七任国际足联主席阿维兰热博士来中国时表示,足球起源于中国。当然,由于封建社会的局限,中国古代的蹴鞠活动最终没有发展成为以“公平竞争”为原则的现代足球运动。这个质的飞跃是在资本主义的英国完成的。17世纪中后期开始,现代足球运动逐步从欧美传入世界各国,尤其是在一些文化发达的国家更为盛行。越来越多的人走向球场,投身到这一富有刺激性和畅快感运动中,以至于一度将足球运动开展得好坏作为衡量一个国家文化发达与否的标志。英国人率先为足球运动的发展作出了重要贡献。

1863年10月26日,英国人在伦敦皇后大街弗里马森旅馆成立了世界第一个足球协会——英格兰足球协会。会上除了宣布英格兰足球协会正式成立之外,还制定和通过了世界第一部较为统一的足球竞赛规则,并以文字形式记载下来。英格兰足球协会的诞生,标志着足球运动的发展进入了一个崭新的阶段。人们公认1863年10月26日,即英格兰足球协会成立之日,为现代足球的誕生日。

(二) 蹴鞠

蹴鞠,是风靡我国数个朝代的民族传统体育运动。那么,有“古代足球”之称的蹴鞠,究竟盛行于哪个朝代呢?让我们一起来了解一下。

蹴鞠在我国拥有相当悠久的历史,传说它始于黄帝,最开始是用于军事训练。鞠是用皮子做成圆形,里面装满毛发。战国帛书中,有黄帝杀死蚩尤以后,“充其胃以鞠,使人执之,多中者赏”的记载。

《战国策·齐策》和《史记·苏秦列传》等史料表明,战国时期的齐国都城临淄,蹴鞠已发展成一种在民间广为盛行的娱乐方式。而蹴鞠真正迎来快速发展并广为流行的朝代,在两汉三国和唐宋时期。

1. 两汉三国蹴鞠

两汉三国时期,蹴鞠发展较快。首先,娱乐性蹴鞠得以继承。有“康庄驰逐,穷巷踏鞠”“上以弓马为务,家以蹴鞠为学”的记载。

其次,出现了表演性蹴鞠。表演性蹴鞠是在鼓乐伴奏下进行,以脚、膝、肩、头等部位控球技能的表演。从汉画像石上所描绘的蹴鞠表演看,有单人蹴1鞠、单人蹴2鞠、双人边击鼓边蹴鞠等形式;有足踢、膝顶、双腿齐飞、单足停鞠、跃起后勾等技术动作。有人称之为“蹴鞠舞”,是百戏中的重要节目。

第三,出现了竞赛性蹴鞠。这种蹴鞠一般设有鞠场,鞠场呈长方形,一般为东西向,设有坐南面北供观赏的大殿,四周有围墙,称为“鞠城”。

第四,蹴鞠开始用于军中练兵。蹴鞠除象征“兵势”、有训练武士的作用外,也用于丰富军中生活,使战士保持良好的体力和情绪。汉代班固把古代足球列入兵家技巧类,并称“以立攻守之胜者也”。唐朝颜师古注云“蹴鞠,陈力之事,故附于兵法焉”。

2. 唐宋蹴鞠

如果说汉代是蹴鞠文化发展的一个高潮的话,唐宋则是蹴鞠文化发展的第二个高潮。唐宋时期,蹴鞠的主要方式为由双球门竞赛演变而来的单球门比赛,在专门的竞赛场地——鞠城,两边队



员相对进攻，进球多者为胜。

这种比赛主要用于为朝廷宴乐和外交礼仪竞赛表演。进行间接对抗比赛时中间隔着球门，球门中间有两尺多的“风流眼”，双方各在一侧，在球不落地的情况下，能使之穿过风流眼多者胜。

唐宋时期，蹴鞠活动更为普及。宋代从皇宫内院到平民家庭，都以蹴鞠为乐。元代钱选所绘《宋太祖蹴鞠图》，便是描绘宋太祖赵匡胤与赵炅、赵普等人蹴鞠的场面。百姓也常常在御街和横街蹴鞠，女子中也有蹴鞠活动，不少宋代铜镜中有男女相对踢球的纹饰，宋代陶枕也描绘了民间少女踢球的情景。

另外，不用球门的踢法逐渐规范。这种踢法叫作白打，从一人场到十人场。“一人场”由参加者逐一轮流表演，称为“井轮”。除用足踢外，头、肩、臀、胸、腹、膝等部位均可接球。使球高起落下称为“飞弄”，使球起伏于身上称为“滚弄”。

“白打”以表演花样多少和技艺高低决定胜负。2人以上直至十人依次称为二人场、转花枝、流星赶月、小出尖、大出尖、落花流水、八仙过海、踢花心和全场，各有规定的踢球路线。用上身触球称为上截解数，膝以上部位触球称为中截解数，用小腿和脚踢称为下截解数。踢法繁多，所以《蹴鞠谱》上说“脚头十万踢，解数百千般”。

为了维护自身利益和发扬互助精神，至少在南宋时期，蹴鞠艺人组织了自己的团体，叫作“齐云社”，又称“圆社”。这是专门的蹴鞠组织，专事负责蹴鞠活动的比赛组织和宣传推广。

宋人谈到蹴鞠的价值时，称赞“蹴鞠成功难尽言，消食健体得安眠。本来遵演神仙法，此妙千金不易传”，又说“巧匠圆缝异样花，智轻体健实堪夸。能令公子精神爽，善诱王孙礼义加”。两汉三国和唐宋时期，是我国古代蹴鞠发展快、流行广的时期，民众争相参与，认为它不但能令人身强力壮、心情愉悦，还有助于领悟礼义。人们对蹴鞠的态度，也体现了蹴鞠观念的发展与变化。





● ● 第2节 平抛运动 ● ●

一、教学要求与重难点

(一) 教学要求

1. 知道什么是平抛运动及其条件，知道平抛运动是一种匀变速曲线运动。
2. 通过实验探究和对频闪照片分析，知道平抛运动的特点和规律，提高观察分析能力。
3. 能应用运动的合成与分解的方法研究和分析平抛运动，能应用平抛运动规律解决相关的实际问题。

(二) 重难点分析

本节重点是用运动的合成与分解的方法分析平抛运动。

本节难点是判定合速度的方向。学生容易将合速度的方向与位移的方向混淆，在教学时一定要在同一图中突出速度的合成情况及位移的合成情况，以便使学生区分二者的差异。





二、教材分析与教学建议

教材要点解读

自然界中抛体运动随处可见。物理学中的抛体运动区别于实际运动，是理想化、只受重力作用的运动。在教学中需引导学生从大量例子中归纳、抽象，把生活概念提升到物理概念。建立了抛体运动的概念后，即可很容易引入平抛运动的概念。

教材中，用桌面上的小球以一定速度沿水平方向飞出为例，引入了平抛运动。在讨论抛体的位置、抛体的轨迹和抛体的速度等问题时，应用运动的合成与分解方法和牛顿第二定律确定抛体运动的位置和速度，并用数学方法得到轨迹方程。这是一种重视理论分析与演绎的思维方式，有利于培养学生用所学知识和方法解决实际问题的能力。

平抛运动是高中阶段研究的一种典型曲线运动，它是学生第一次利用所学知识来处理曲线运动，可以巩固前面所学的知识，深化运动的合成与分解知识的应用。同时，这节内容在教材中起到了承上启下的作用。

教学建议：

因抛体运动在物理中是一个理想化的概念，在教学中需要教师引导学生把生活概念提升到物理概念。建议提出下面的问题：水平抛出的小钢球做什么运动？水平扔出的纸飞机又做什么运动？然后从受力特点、运动情况方面对二者进行分析比较，建立抛体运动的概念，进而通过初速度特殊化引出平抛运动的概念。



多数情况下，抛出去的物体做曲线运动。在射箭运动中，若运动员将箭头正对靶心水平射出，这支箭在离弦后做直线运动还是曲线运动？最终能否射中靶心？要分析解决这个问题，需要用到平抛运动的相关知识。

1. 什么是平抛运动

物体以一定的初速度沿水平方向抛出，只在重力作用下所做的运动，称为平抛运动（horizontal projectile motion）。比如，用力推一下水平桌面上的小球，小球在桌面上运动，直至以一定的初速度沿水平方向飞出。不考虑空气阻力的作用，小球飞出后所做的运动就是平抛运动（图 2-10）。平抛运动在体育运动项目中很常见。比如，网球运动员举拍沿水平方向用力击球，球离开球拍后在重力的作用下划出一条抛物线，向对方场地飞去，这时球的运动可近似视为平抛运动（图 2-11）。

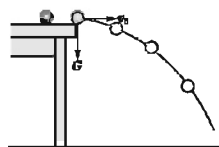


图 2-10 小球做平抛运动的示意图

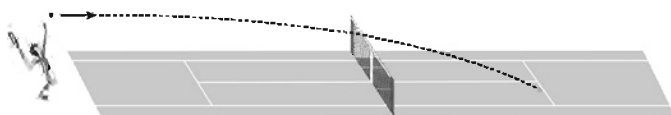


图 2-11 网球做平抛运动的示意图

2. 平抛运动的规律

下面，我们来进一步认识平抛运动。





研究平抛运动

(1) 通过如图 2-12 (a) 所示的平抛运动演示器来研究平抛运动。用小锤击打弹性金属片 C , 球 A 沿水平方向飞出, 做平抛运动。与此同时, 与球 A 相同的球 B 被松开做自由落体运动。改变实验装置离地面的高度, 多次实验, 两球总是同时落地。在同一高度改变小锤击打的力度, 使球 A 的平抛初速度大小不同, 多次实验, 两球也总是同时落地。这说明做平抛运动的球 A 在竖直方向上的运动情况与球 B 相同, 为自由落体运动。

(2) 在如图 2-12 (b) 所示的装置中, M 、 N 是两个完全相同的轨道, 轨道末端都与水平方向相切。其中, 轨道 N 的末端与光滑水平面相切, 轨道 M 通过支架固定在轨道 N 的正上方。将小铁球 P 、 Q 分别吸在电磁铁 C 、 D 上, 然后切断电源, 使两球以相同的初速度 v_0 同时通过轨道 M 、 N 的末端, 发现两球同时到达 E 处, 发生碰撞。改变轨道 M 在轨道 N 上方的高度, 再进行实验, 结果两球也总是发生碰撞。这说明做平抛运动的 P 球在水平方向上的运动情况与 Q 球相同, 为匀速直线运动。

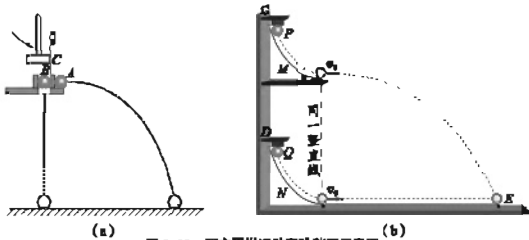


图 2-12 研究平抛运动实验装置示意图

为了对平抛运动有更深入的认识, 可用频闪照相拍摄小球的运动。图 2-13 是两个小球同时开始分别做自由落体运动和平抛运动的频闪照片。从照片上可以看出, 两个小球在同一时刻的高度相同, 表明做平抛运动的小球在竖直方向上的运动规律与自由落体运动相同。进一步分析表明, 小球在水平方向上的运动是匀速直线运动。因此, 平抛运动可以分解为沿水平方向的匀速直线运动和沿竖直方向的自由落体运动。

既然平抛运动可视为水平方向的匀速直线运动与竖直方向的自由落体运动的合运动, 我们就可以运用运动的合成与分解, 确定平抛物体在任一时刻的位置和速度。



图 2-13 平抛运动和自由落体运动的频闪照片

“实验与探究”中, 第一部分的实验分析平抛运动在竖直方向上的分运动的规律, 第二部分的实验探究平抛运动在水平方向上的分运动的规律。

对于频闪照片的实验, 目前高中阶段很难在课堂上实现。可以通过动画模拟将其展示给学生, 帮助学生从感性认识上升到理性认识。

通过对以上内容的分析, 说明了小球在水平方向做匀速直线运动, 竖直方向做自由落体运动, 即平抛运动的物体同时参与这两种运动。所以, 平抛运动可以视为水平方向匀速直线运动和竖直方向自由落体运动的合成。

教学建议:

学生第一次接触曲线运动, 对曲线运动不知道如何分析, 建议学生要认真分析教材中的“实验与探究”, 引导学生仔细观察演示实验。为什么把小球的运动方向分解在水平方向和竖直方向, 学生并不一定理解, 需要教师进一步说明解释, 教师可以引导学生思考: 分解的目的是什么? 这样分解的依据是什么?



教材要点解读

平抛运动的规律比较复杂，理解难度大。用运动的合成与分解方法分析平抛运动是本节课的重点。建议用坐标法描绘平抛运动的轨迹进行研究（参考教材 P42 图 2-14），让学生求出它在 t 时刻的速度的大小和方向，并求出 t 时刻的 x 、 y 坐标值，画出 t 时刻对应的物体位置，再推导出 x 、 y 之间的函数关系式。使学生进一步体会运动的合成与分解方法，理解平抛运动的基本规律。

Physics

第2章 抛体运动

以抛出点为坐标原点，初速度方向为 x 轴正方向，重力方向为 y 轴的正方向，建立直角坐标系（图 2-14）。在这个坐标系中，加速度方向与 y 轴正方向相同。根据匀速直线运动和自由落体运动的规律，可以得到物体在任意时刻的位置坐标，即

$$x = v_0 t$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$

还可得到物体在任意时刻的分速度和速度，即

$$v_x = v_0$$

$$v_y = g t$$

由此可得 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$

设速度的方向与水平分速度 v_x 的方向成 θ 角，则

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{g t}{v_0}$$

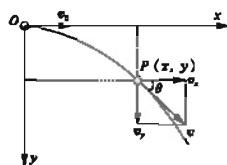


图 2-14 在直角坐标系中分析平抛运动的示意图

能在熟悉情境中运用抛体运动模型解决问题；能对平抛运动等问题进行分析推理；能体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想；能与抛体运动规律相关的证据说明结论并作出解释；能从不同角度分析解决抛体运动问题。

——科学思维



物理问题

图 2-15 为一探究小组成员探究平抛运动的情景。他在同一位置以不同的初速度先后水平抛出三个小球。

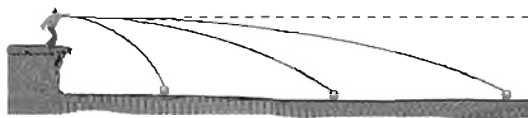


图 2-15 投出的小球做平抛运动的示意图

请讨论：根据上述探究活动能否得出下列结论？

- (1) 在相同的高度，以大小不同的初速度水平抛出的小球，初速度越大，抛出点到落地点的水平距离越远；
- (2) 在高度不变的情况下，水平初速度的大小并不影响平抛物体在竖直方向上的运动；
- (3) 平抛运动过程经历的时间完全由抛出点到落地点的竖直高度决定，与抛出时初速度的大小无关。

教学建议：

在应用运动的合成与分解的方法解决问题时，应引导学生习得合理的解决步骤：①建立坐标系和坐标原点。②对物体进行受力分析。③分析物体在不同方向的加速度和速度的变化情况。④得到不同方向的运动规律。解决问题的方法与步骤有很大的关联，好的解决步骤隐含着正确的思维方式。



教材要点解读

通过前面的例题，学生已经对平抛运动速度的合成与分解有了一定的认识，本题主要帮助学生理解平抛运动位移的合成与分解。

分析可知，从飞机上投放的军用物资在空中做平抛运动。平抛运动在竖直方向上的运动为自由落体运动，物资下落时间仅由高度决定。由自由落体运动的位移公式，可求得物资下落时间。而平抛运动在水平方向上的运动为匀速直线运动，已知初速度和下落时间，便能求出投放物资的水平位置。

例题逆向考查平抛运动位移的分解。对于初次接触此题的学生可能略有困难，这里需要让学生掌握并独立完成推导过程，以便在解题时有清晰的思路。

第2节 平抛运动

例题

在一次军事演习中，一架装载军用物资的飞机，在距地面 500 m 的高处以 50 m/s 的水平速度飞行。为了把军用物资准确地投到地面目标位置，飞行员应在距目标水平距离多远处投放物资？（取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，不计空气阻力）

分析

如图 2-16 所示，从飞机上投放的物资在离开飞机瞬间具有与飞机相同的水平速度。因为其在下落过程中只受重力作用，所以离开飞机后的物资做平抛运动。题目中已知水平速度，求水平距离，需要确定物资在水平方向的运动时间，该时间与竖直方向的运动时间相同，可根据题目中给出的高度求出。



图 2-16 投放的物资做平抛运动的示意图

解

物资在空中飞行的时间 t 取决于竖直高度。

由自由落体的位移公式 $H = \frac{1}{2}gt^2$

$$\text{得 } t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 500}{10}} \text{ s} = 10 \text{ s}$$

设投放物资处到地面目标位置的水平距离为 x ，由于物资在水平方向做匀速运动，则

$$x = v_0 t = 50 \times 10 \text{ m} = 500 \text{ m}$$

即飞行员应在距地面目标位置水平距离为 500 m 远的地方投放物资。

讨论

要使军用物资准确地落到目标位置，需在飞机到达目标位置上空前投放。提前的时间和水平距离分别由哪些因素决定？

若将飞镖或箭正对靶心水平射出，能够命中靶心吗？



对于平抛运动问题，一般可从位移关系和速度关系求解。抓住平抛运动（合运动）与水平分运动、竖直分运动经过的时间相等这一点，往往是解决问题的关键。

迁移

平抛运动的问题中不仅会涉及位移关系，有时还会涉及速度关系。如图 2-17 所示，在摩托车赛道上，水平路面的前方有一个壕沟，壕沟两侧高度差为 0.8 m，水平间距为 5 m。若忽略空气阻力，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，摩托车水平飞出的速度至少要多大才能越过这个壕沟？摩托车刚好越过壕沟时速度方向与水平方向的夹角是多大？

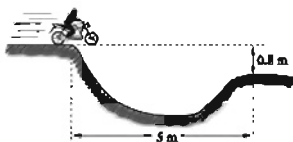


图 2-17 摩托车的速度多大才能越过壕沟

教学建议：

平抛运动速度与位移的分析通常需要用到运动的合成与分解，要求学生熟练掌握平抛运动的分解方法，理解平抛运动为何在竖直方向做自由落体运动，在水平方向做匀速直线运动。除此之外，教师还应在课堂上引导学生思考，做平抛运动物体的落地时间和运动的水平距离与哪些物理量有关。



三、课堂教学活动资源

(一) 物理聊吧

图 2-15 为一探究小组成员探究平抛运动的情景。他在同一位置以不同的初速度先后水平抛出三个小球。

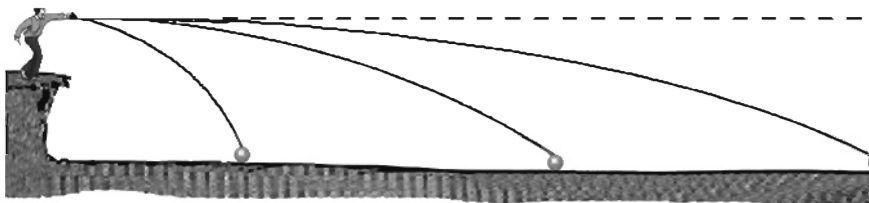


图 2-15

根据上述探究活动可以得出下列结论：

1. 在相同的高度，以大小不同的初速度水平抛出的小球，初速度越大，抛出点到落地点的水平距离越远。
2. 在高度不变的情况下，水平初速度的大小并不影响平抛物体在竖直方向上的运动。
3. 平抛运动过程经历的时间完全由抛出点到落地点的竖直高度决定，与抛出时初速度的大小无关。

(二) 例题迁移

平抛运动的问题中不仅会涉及位移关系，有时还会涉及速度关系。如图 2-17 所示，在摩托车赛道上，水平路面的前方有一个壕沟，壕沟两侧高度差为 0.8 m，水平间距为 5 m。若忽略空气阻力，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，摩托车水平飞出的速度至少要多大才能越过这个壕沟？摩托车刚好越过壕沟时速度方向与水平方向的夹角是多大？

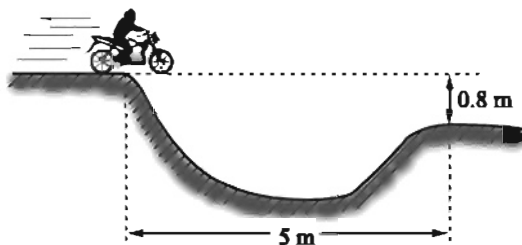


图 2-17

解答：竖直方向上满足 $H = \frac{1}{2}gt^2$ ，

水平方向上满足 $x = v_0 t$ ，

要想安全飞过壕沟，水平方向至少应飞过 5 m，因此可解得 $v_0 = 12.5 \text{ m/s}$ 。

刚好越过壕沟时速度的竖直分量 $v_y = gt = 4 \text{ m/s}$ ，

设此时速度与水平方向的夹角为 θ ，则 $\tan \theta = \frac{gt}{v_0} = \frac{4}{12.5} = 0.32$ ，

故落地时它的速度方向与地面的夹角为 $\arctan 0.32$ 。

(三) 课堂练习或知识点的检测

1. 做平抛运动的物体，在水平方向通过的最大距离取决于
 - A. 物体所受的重力和抛出点的高度
 - B. 物体所受的重力和初速度
 - C. 物体的初速度和抛出的高度
 - D. 物体所受的重力、高度和初速度



解答: C

选意图: 此题是关于平抛运动规律的问题。要求学生明确, 物体抛出的高度决定了平抛运动发生的时间, 所以平抛运动在水平方向通过的最大距离与物体的初速度和抛出的高度有关。

2. 试定量归纳平抛运动的规律。

解答: 如图 2-2-1 所示, 平抛运动有以下规律:

(1) 水平方向: 做匀速直线运动, 速度 $v_x = v_0$, 位移 $x = v_0 t$ 。

(2) 竖直方向: 做自由落体运动, 速度 $v_y = gt$, 位移 $y = \frac{1}{2} gt^2$ 。

(3) 合速度: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$, 方向与水平方向的夹角为 θ , 则

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}。$$

(4) 合位移: $s = \sqrt{x^2 + y^2}$, 方向与水平方向的夹角为 α , 则 $\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{gt}{2v_0}$ 。

(5) 速度方向与水平方向夹角和位移方向与水平方向夹角间的关系: $\tan \theta = 2 \tan \alpha$ 。

选意图: 总结归纳平抛运动的相关规律。

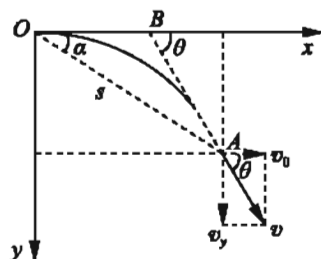
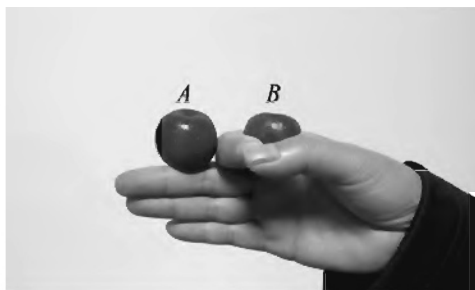


图 2-2-1

四、作业解答

1. 取两个形状、大小尽量相同的山楂 A、B, 将山楂 B 夹在拇指与弯曲的食指之间, 山楂 A 放在中指上, 使两山楂尽量处于同一高度, 如图所示。用食指弹击放在中指上的山楂 A, 山楂 A 沿水平方向抛出, 山楂 B 同时被释放, 自由下落。它们是否会同时落地? 动手做一做, 看看与你的判断是否相同, 并说明其中的道理。



第 1 题

解答: 会同时落地。

山楂 A 做平抛运动, 山楂 B 做自由落体运动。两个山楂下落的高度一样, 因此用时相同。

2. 一架飞机沿水平方向匀速飞行, 从飞机上每隔 1 s 投放一件物品, 先后共投放四件相同的物品。如果不计空气阻力, 这四件物品在空中任何时刻总在飞机正下方的竖直线上, 且落地点是等间距的。请判断这种说法是否正确, 并说明理由。

解答: 正确。

因为投放物在水平方向具有相同的速度, 任意相等时间内 (未落地), 其水平位移相等。

3. 关于平抛物体的运动, 下列说法正确的是

A. 平抛运动是物体只在重力作用下的运动

B. 平抛运动是物体不受任何外力作用的运动

C. 做平抛运动的物体在水平方向初速度为 0

D. 做平抛运动的物体在竖直方向初速度为 0

解答: AD

平抛运动受外力的作用, 该外力是重力, 故 A 正确、B 错误; 做平抛运动的物体水平方向的初



速度不为 0，水平方向有一定的初速度，且不变，故 C 错误；做平抛运动的物体在竖直方向的初速度为 0，故 D 正确。

4. 某实验小组成员站在高处沿水平方向抛出一物体。已知抛出时物体距地面 5 m，物体落到地面时的水平位移为 9 m。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，不计空气阻力，求物体抛出时水平速度的大小。

解答：根据题意知，竖直方向满足 $H = \frac{1}{2}gt^2$ ①

水平方向满足 $x = v_0t$ ②

代入数据，两式联立解得 $v_0 = 9 \text{ m/s}$

5. 以 30 m/s 的初速度水平抛出一个物体，经过一段时间后，物体的速度方向与水平方向成 30° 角。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，不计空气阻力，求此时物体相对于抛出点的水平位移和竖直位移。

解答：物体运动情况如图 2-2-2 所示，已知 $\theta = 30^\circ$ ，由几何关系可知

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{v_y}{v_0}, \text{ 又 } v_y = gt,$$

联立可得 $t = \sqrt{3} \text{ s}$ 。

因此，竖直方向的位移 $H = \frac{1}{2}gt^2 = 15 \text{ m}$ ，

水平方向的位移 $x = v_0t = 30\sqrt{3} \text{ m}$ 。

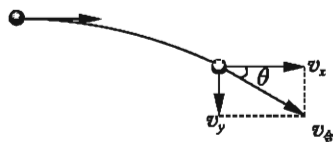
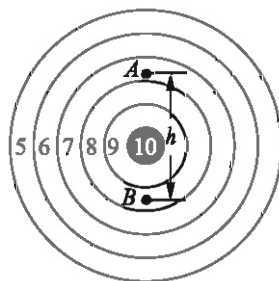


图 2-2-2

6. 如图所示，两支步枪先后在同一位置沿水平方向各射出一颗子弹，打在 100 m 远处的靶子上，两弹孔在竖直方向相距 5 cm，其中 A 为甲枪的子弹孔，B 为乙枪的子弹孔。



第 6 题

(1) 哪支枪射出的子弹速度较大？为什么？

(2) 若甲枪子弹射出时的速度为 500 m/s ，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，不计空气阻力，求乙枪子弹射出时的速度。

解答：(1) 甲枪射出的子弹速度较大，因为甲的弹孔 A 的位置较高，说明甲的运动时间较小，而水平距离相同，说明甲的平抛初速度较大。

(2) 根据 $x_{\text{甲}} = v_{\text{甲}}t_{\text{甲}}$ 可知， $t_{\text{甲}} = \frac{x_{\text{甲}}}{v_{\text{甲}}} = 0.2 \text{ s}$ ，

根据 $h_{\text{甲}} = \frac{1}{2}gt_{\text{甲}}^2$ 可知， $h_{\text{甲}} = 0.2 \text{ m}$ ，

因此， $h_{\text{乙}} = (h_{\text{甲}} + 0.05) \text{ m} = 0.25 \text{ m}$ 。

根据 $h_{\text{乙}} = \frac{1}{2}gt_{\text{乙}}^2$ 可知， $t_{\text{乙}} = \sqrt{\frac{2h_{\text{乙}}}{g}} = \frac{\sqrt{5}}{10} \text{ s}$ 。

根据 $x_{\text{乙}} = v_{\text{乙}}t_{\text{乙}}$ ，可解得 $v_{\text{乙}} = 200\sqrt{5} \text{ m/s} \approx 447 \text{ m/s}$ 。

五、课程资源

喷灌设备

喷灌设备是指将有压水流通过喷头喷射到空中，呈雨滴状散落在田间及农作物上的农田灌溉

设备。灌溉用水可经水泵增压,也可利用高水位水源的自然落差。用水泵增压的喷灌设备包括动力机、水泵、输水管道和喷头等部门;利用自然落差的喷灌设备可不用动力机和水泵。

1. 发展过程

喷灌技术创始于19世纪末,在美国和俄国首先使用了固定式的自压管道喷灌系统。

1913 ~ 1920年,出现了简易的喷灌车,用于草地、菜园、苗圃和果园等。

苏联于1922年研制出自动旋转喷头和远射程喷灌装置,20世纪30年代制成了双悬臂式喷灌机和塑料管道。

20世纪40年代,摇臂式喷头、快速接头以及铝合金管开始出现,端拖式和滚移式喷灌机在美国得到应用。

20世纪50年代,美国又研制和生产了水力驱动型圆形喷灌机。

20世纪60年代研制成电力驱动型圆形喷灌机,同时出现了聚乙烯半软管和钢索绞盘式喷灌机;20世纪60年代末研制成平移式喷灌机。

20世纪70年代初研制成同步脉冲固定式喷灌系统;20世纪70年代末美国已生产电力驱动的全自动化平移式喷灌机,并发展耗能少的低压喷灌机。

中国于20世纪50年代初开始,在一些大城市郊区的蔬菜地发展固定式喷灌系统。20世纪70年代初研制了小型喷灌机(人工降雨机)和旋转式喷头。1978年完成了摇臂式喷头和喷灌泵两个系列产品的研制和生产,还先后研制成轻型、小型、中型和大型喷灌机。此后,全射流喷头和时针式(圆形)、平移式、绞盘式、滚移式喷灌机又研制成功,同时低压喷头和微型喷头也相继出现。

2. 组成结构

主要由水源动力机、水泵、管道系统和喷头等部门组成。水源动力机、水泵辅以调压和安全设备构成喷灌泵站。与泵站连接的各级管道和闸阀、安全阀、排气阀等构成输水系统。喷洒设备包括末级管道上的喷头或行走装置等。

3. 分类

喷灌系统按照喷灌作业过程中可移动的程度分为3类。

(1) 固定式喷灌系统

除喷头外,各组成部分在长年或灌溉季节均固定不动。干管和支管多埋设在地下,喷头装在由支管接出的竖管上。操作方便,效率高,占地少,也便于综合利用(如结合施肥、喷农药等)和实现灌溉的自动控制。但需要大量管材,单位面积投资高。适用于灌溉频繁的经济作物区(如蔬菜种植区)和高产作物地区。

(2) 半固定式喷灌系统

喷灌机、水泵和干管固定,支管和喷头可以移动。移动的方式有人力搬移、滚移式,由拖拉机或绞车牵引的端拖式,由小发动机驱动做间歇移动的动力滚移式、绞盘式以及自走的圆形、平移式等。其投资比固定式喷灌系统少,喷灌效率较移动式喷灌系统高。常用于大田作物。

①绞盘式喷灌机。由于干管上的给水栓通过软管供水。有3种类型:一种是将钢索绞盘连同驱动绞盘用的动力机、喷头等装在喷灌车上,钢索的一端固定在地头牵引喷灌车前进;一种是将钢索绞



盘及其动力机置于地头，通过钢索牵引装有喷头的喷灌车前进；还有一种是将作为供水支管的软管卷绕在绞盘上，绞盘及喷头装在喷灌车或滑橇上，由软管牵引前进。水力驱动的绞盘式喷灌机是利用干管引来的高压水，通过水涡轮驱动绞盘作业，免去了动力机。

②圆形喷灌机和平移式喷灌机。均为多塔车自走式，即将装有许多喷头的薄壁金属支管支承在若干个可以自动行走的塔车上。各塔车都有一套调速、同步、安全控制和驱动系统，使整个支管系统在电力或水力驱动下，自动协调地做缓慢直线运动或绕其一端做回转运动。圆形喷灌机（图 2-2-3）由中心枢轴处供水，支管长 60 ~ 800 m，转一圈的时间为 8 小时至 7 天，控制面积 150 ~ 3 000 亩，自动化程度很



图 2-2-3

高。但喷洒面积为圆形，为解决方形地块上四个边角地带的灌溉问题，有的装有角喷装置，即在支管的末端装设伸出喷杆或远射程喷头，当转到边角地带时自动接通。平移式喷灌机是通过软管由渠道或固定干管上的给水栓供水。由干管供水时，喷灌机行走一定距离后要移动软管，改接在下一个水栓上，因而自动化程度较低，但喷灌后不会留下边角。

（3）移动式喷灌系统

除水源外，动力机、水泵、干管、支管和喷头等都是可以移动的，因而可在一个灌溉季节里在不同地块轮流使用，提高了设备利用率，并可节省单位面积投资，但工作效率和自动化程度低。常用的类型中，有的是将动力机和水泵装在手推车或手架上的轻、小型喷灌机，其喷头装在轻便三角架上，通过软管同水泵连接；有的是将水泵同喷头装在手扶拖拉机上的小型喷灌机，由手扶拖拉机的动力输出装置驱动水泵作业；有的是装在大、中型拖拉机上的双悬臂式喷灌机。移动式喷灌系统适用于灌溉次数较少的大田作物和小块地段。

此外，在有条件的地区，还可发展自压喷灌。其优点是可以利用水的自然落差，不需动力机和水泵，设备简单，操作方便，使用成本低。





●● 第3节 科学探究：平抛运动的特点 ●●

一、教学要求与重难点

（一）教学要求

1. 知道平抛运动的条件及在实验中控制物体做平抛运动的方法，能通过实验描绘出物体做平抛运动的轨迹。
2. 会判断运动轨迹是否为抛物线，会利用平抛运动的轨迹测量平抛运动的初速度。
3. 经历平抛运动规律的探究过程，体会科学探究的过程，感受发现规律的乐趣，增强团队意识，培养动手能力和语言表达能力。

（二）重难点分析

本节重点是描绘平抛运动的轨迹，测量平抛运动的初速度。

本节难点是控制平抛运动的实验条件，描绘平抛运动的轨迹。在实验中，学生若不能很好地控制实验条件，进行规范的实验操作，就不能获得正确的平抛运动轨迹，从而造成较大的实验误差。





二、教材分析与教学建议

教材要点解读

本节是一个重要的学生实验，既是牛顿运动定律第一次在曲线运动中的应用，也是运动的合成与分解方法的延续。本节主要采用实验探究的教学模式，逐步引导学生认识事物的本质。学生通过对实验中相关问题的探究，掌握科学认识物理规律的方法。

平抛运动的知识是本节实验探究的理论基础，包括：什么是平抛运动，平抛运动的轨迹以及规律是什么。在此基础上思考平抛运动的轨迹是怎样通过实验来得到的。

教材给出了一种实践中比较成熟的描绘小球平抛运动轨迹的实验装置。

教学建议：

要引导学生思考如下问题：如何建立坐标轴？如何选取坐标原点？如何判断运动轨迹是否是抛物线？测量初速度时需测量哪些物理量？怎样推导出平抛运动初速度的表达式，并计算出实验中平抛物体的初速度？这些问题的解决应让学生在自主、合作、交流的基础上自行完成。

第3节

科学探究：平抛运动的特点

我们经常能够观察到做平抛运动的物体在空中划过一条曲线，这条曲线有什么特点？本节我们将用实验的方法记录下做平抛运动物体的运动轨迹，然后根据记录的轨迹对平抛运动的特点做进一步的探究。

实验目的

- (1) 描绘物体做平抛运动的轨迹并分析其特点。
- (2) 根据平抛运动的轨迹求平抛初速度。

实验器材

斜槽、小球、木板、铅垂线、坐标纸、图钉、刻度尺、铅笔（或卡孔）等。

实验原理与设计

将斜槽等器材安装起来，实验装置如图 2-18 所示。小球从斜槽上滚下，通过水平槽飞出后做平抛运动。使小球每次都从斜槽上同一位置由静止释放，小球在空中做平抛运动的轨迹相同。设法用铅笔描出小球经过的位置。通过多次实验，在坐标纸上记录小球所经过的多个位置，用平滑的曲线将各点连起来，从而得到小球做平抛运动的轨迹。

根据平抛运动的公式 $x = v_0 t$ 和 $y = \frac{1}{2} g t^2$ ，可求出小球做平抛运动的初速度。

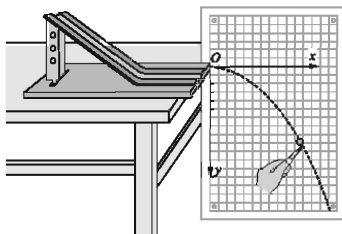


图 2-18 实验装置示意图



安全警示

不随意扔小球并注意小球落地过程，避免小球伤人或损坏实验室物品。



教材要点解读

教材中具体向学生介绍了实验目的、实验器材、实验原理与设计、实验步骤、数据分析、实验结论以及讨论几个模块的内容,引导学生顺利完成实验,得出结论。

“判断平抛运动的轨迹是不是抛物线”“计算平抛运动的初速度”是 본实验要解决的任务,即实验目的。

Physics

第2章 抛体运动

实验步骤

(1) 用图钉把坐标纸钉在竖直木板上,在木板的左上角固定斜槽,并使其末端保持水平。

(2) 用悬挂在槽口的铅垂线把木板调整到竖直方向,并使木板平面与小球下落的竖直面平行且靠近,固定好木板。

(3) 把小球放在槽口处,用铅笔记下小球在槽口时球心在木板上的水平投影点 O ,再利用铅垂线在纸上画出通过 O 点的竖直线。

(4) 将小球从斜槽上合适的位置由静止释放,使小球的运动轨迹大致经过坐标纸的右下角。

(5) 把笔尖放在小球可能经过的位置,如果小球运动中碰到笔尖,用铅笔在坐标纸该位置画一点。用同样的方法,从同一位置释放小球,在小球运动路线上描下若干点。

数据分析

(1) 根据实验记录,在坐标纸上描绘小球平抛运动的轨迹。

(2) 在平抛运动轨迹上选取几个水平间距相等的测量点,测出并计算相应物理量填入你设计的表格中。

(3) 观察描出的轨迹,与你熟悉的曲线进行比较,猜想 y 与 x 的关系,作出 $y-x^2$ 图像,验证你的猜想。

实验结论

请写出实验结论。

讨论

在平抛轨迹上依次选取水平方向等间距的 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 几个点,在竖直方向上测量并计算 y_{AB} 、 y_{BC} 、 y_{CD} 、 y_{DE} 、 y_{EF} ,在误差允许的范围内,它们有怎样的特点?由此你能得出小球在竖直方向上的运动性质吗?

能有针对性地提出可探究的物理问题;能在他人帮助下制订相关的探究方案,有根据器材调整实验方案的意识,获取数据;能分析数据、提出猜想、形成与实验目的相关的结论;能撰写比较完整的实验报告,在报告中能呈现实验表格、数据分析过程及实验结论,能根据实验报告进行交流。

注意提升实验操作能力及猜想验证能力。

——科学探究

素养提升



节练习

- 请撰写“探究平抛运动的特点”的实验报告,注意在报告中呈现设计的实验表格以及数据分析过程和实验结论。
- 在“探究平抛运动的特点”实验中,下列做法可以减小实验误差的是
 - 使用体积更小的球
 - 尽量减小球与斜槽间的摩擦
 - 使斜槽末端的切线保持水平
 - 使小球每次都从同一高度由静止开始滚下

教学建议:

可引导学生思考实验目的以及如何在实验中完成,可组织实验小组讨论实验的焦点问题:如何设法描绘某物体做平抛运动的轨迹?这样,既训练了学生的实验设计能力,又能在师生互动中评价、在论证中提升学生多角度分析问题的能力,同时还能把实验中可能出现的错误操作、注意事项等呈现在学生面前,起到强调的目的,对实验的顺利展开具有特别的意义。

从平抛运动的条件上控制研究对象初速度的大小和方向是实验成功的前提条件。在教学时,应该特别强调在实验时保证:平抛物体的初速度水平且物体每次抛出的速度相等。具体操作前要引导学生调节斜槽末端水平,小球每次从斜槽上滚下应从同一位置无初速度释放。教师可根据学生的认知层次,引导学生思考:如果物体抛出的位置不在坐标原点,又如何根据描绘的轨迹求解平抛物体的初速度?



三、课堂教学活动资源

课堂练习或知识点的检测

1. 实验探究过程

(1) 在做“探究平抛运动的特点”实验时，除了木板、小球、斜槽、铅笔、图钉之外，下列器材还需要的是

A. 游标卡尺 B. 秒表 C. 坐标纸 D. 天平 E. 弹簧测力计 F. 重垂线

(2) 实验中，下列说法正确的是

- A. 应使小球每次从斜槽上相同的位置自由滑下
B. 斜槽轨道必须光滑
C. 要使描出的轨迹更好地反映真实运动，记录的点应适当多一些
D. 斜槽轨道末端可以不水平

解答：(1) CF (2) AC

选题意图：本题是关于“探究平抛运动的特点”实验探究过程的题目，要求学生明确实验所需的器材以及实验操作过程中需要注意的问题。

2. 实验数据处理

在做“探究平抛运动的特点”实验时，某同学用横坐标 x 表示水平位移，纵坐标 y 表示下落高度，作出抛物线如图 2-3-1 所示，但他忘记了抛出点是否在坐标原点。在图线上有 A 、 B 、 C 三点，其中点 A 坐标为 (x_1, y_1) ，根据相关信息计算该物体从抛出到 A 点时的运动时间为 _____，抛出时的水平初速度为 _____。

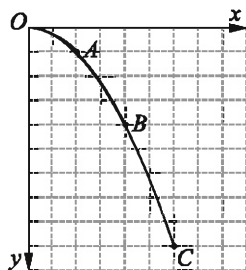


图 2-3-1

解答： $\sqrt{\frac{2y_1}{g}}$ $x_1 \frac{\sqrt{2gy_1}}{2y_1}$

水平方向做匀速运动，由图显然有 $x_{AB} = x_{BC}$ ，必有 $t_{AB} = t_{BC}$ ，竖直方向上 $y_{AB} : y_{BC} = 3 : 5$ ，由竖直方向匀变速直线运动规律可分析出竖直速度为 0 的点在坐标原点，所以可推理出物体抛出点恰好在图 2-3-1 中坐标原点。物体抛出后，竖直方向做自由落体运动，所以 $t = \sqrt{\frac{2y_1}{g}}$ ；物体在水平方向做匀速直线运动， $x = vt$ ，所以水平初速度 $v = \frac{x_1}{t} = x_1 \frac{\sqrt{2gy_1}}{2y_1}$ 。

选题意图：本题是有关实验数据处理的问题，要求学生通过运动学公式处理数据，会计算抛体运动物体抛出的水平初速度以及通过某一点时所需要的时间。

四、作业解答

1. 请撰写“探究平抛运动的特点”的实验报告，注意在报告中呈现设计的实验表格以及数据分析过程和实验结论。

解答：略。



2. 在“探究平抛运动的特点”实验中，下列做法可以减小实验误差的是

- A. 使用体积更小的球 B. 尽量减小球与斜槽间的摩擦
C. 使斜槽末端的切线保持水平 D. 使小球每次都从同一高度由静止开始滚下

解答：ACD

使用体积小的钢球可以减小做平抛运动时的空气阻力，故 A 正确；该实验要求小球每次抛出的初速度要相同而且水平，因此要求小球从同一位置由静止释放，至于钢球与斜槽间的摩擦，对实验没有影响，故 B 错误；实验中必须保证小球做平抛运动，而平抛运动要求有水平初速度且只受重力作用，所以斜槽轨道必须要水平，故 C 正确；为确保有相同的水平初速度，所以要求从同一位置无初速度释放，故 D 正确。

3. 在“探究平抛运动的特点”的实验中，某同学记录了运动轨迹上的三个点 A、B、C，如图所示。以 A 点为坐标原点建立坐标系，各点的坐标值已在图中标出。求：

- (1) 小球做平抛运动的初速度大小；
(2) 小球做平抛运动的初始位置坐标。

解答：(1) AB 段和 BC 段水平方向位移相等，故运动时间也相等。设 AB 段运动时间为 T ，竖直方向上根据 $\Delta y = gT^2$ ，得 $T = 0.1 \text{ s}$ 。

对 BC 段，根据 $v_0 T = x$ ，得 $v_0 = \frac{x}{T} = 1 \text{ m/s}$ 。

(2) 因为小球在竖直方向上做匀加速直线运动，小球在 B 点的竖直分速度大小等于在 AC 段竖直方向平均速度的大小， $v_{By} = \frac{y_{AC}}{t_{AC}} = 2 \text{ m/s}$ 。

设小球从抛出点 O 到 B 历时 t_{OB} ，有 $t_{OB} = \frac{v_{By}}{g} = 0.2 \text{ s}$

设小球从抛出点 O 到 A 历时 t_{OA} ，有 $t_{OA} = t_{OB} - T = 0.1 \text{ s}$

因此 $x_{OA} = v_0 t_{OA} = 10 \text{ cm}$ ， $y_{OA} = \frac{1}{2} g t_{OA}^2 = 5 \text{ cm}$

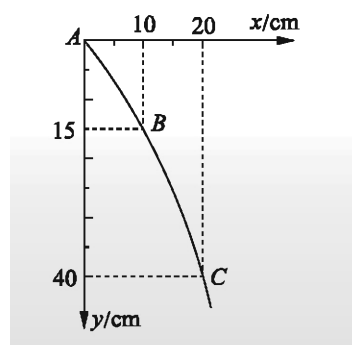
故 O 点坐标为 $(-10 \text{ cm}, -5 \text{ cm})$ 。

4. 一农用水泵的出水管是水平的。当水泵工作时，水流从整个水管中流出。若用平抛运动的知识测量水的流量（此处指单位时间内流经水管横截面的水的体积），你需要测量哪些物理量？根据这些物理量推导出计算流量的表达式。

解答：需测量水管管口的直径 D 、水柱的水平位移 x 和水柱的竖直位移 y 。

设水管距离地面的高度为 y ，可以知道水流喷射的时间 $y = \frac{1}{2} g t^2$ ，则 $t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$ 。

设水在水平方向的位移为 x ，水的初速度 $v = \frac{x}{t} = \frac{x}{\sqrt{\frac{2y}{g}}}$ 。



第3题



水流的横截面积 $S = \pi r^2 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$ ，则流量表达式： $Q = Sv = \frac{\pi D^2 x \sqrt{2gy}}{8y}$ 。

五、课程资源

为了获得平抛运动的轨迹，提供几种方法可供学生学习。

方法一：用水流研究平抛物体的运动。

如图 2-3-2，倒置的饮料瓶内装着水，瓶塞内插着两根两端开口的细管，其中一根弯成水平，且水平端加接一段更细的硬管作为喷嘴。水从喷嘴中射出，在空中形成弯曲的细水柱，它显示了平抛运动的轨迹。设法把它描在背后的纸上就能进行分析处理了。

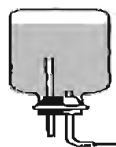


图 2-3-2

方法二：用数码相机记录平抛运动的轨迹。

数码相机大多具有摄像功能，每秒钟拍摄约 15 张照片。可以用它拍摄小球从水平桌面飞出后做平抛运动的几张连续照片。用方格纸做背景，就可以根据照片上小球的位置在方格纸上画出小球的轨迹。

方法三：利用斜面、小槽、小球等实验仪器获得平抛运动的轨迹。

实验装置如图 2-3-3 所示。

(1) 将平抛运动实验器置于桌面，装好平抛轨道，使轨道的抛射端处于水平位置。调节调平螺丝，观察重垂线或气泡水准，使面板处于竖直平面内，卡好定位板。

(2) 将描迹记录纸衬垫一张复写纸或打字蜡纸，紧贴记录面板用压纸板固定在面板上，使横坐标 x 轴在水平方向上，纵坐标 y 轴沿竖直方向向下（若用白纸，可事先用铅笔在纸上画出 x 、 y 坐标轴线），并注意使坐标原点的位置在平抛物体（钢球）的质心（即球心）离开轨道处。

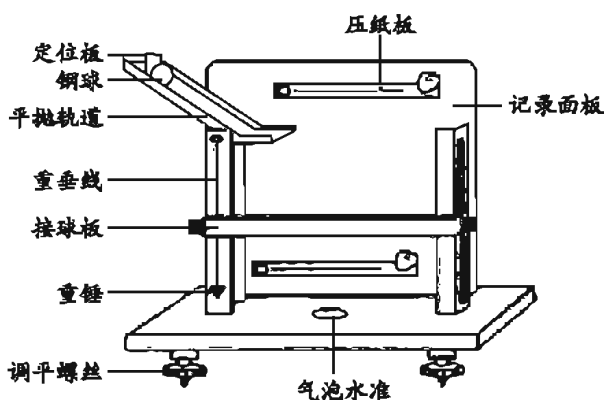


图 2-3-3

(3) 把接球板拉到最上方一格的位置。

(4) 将定位板定在某一位置固定好。钢球紧靠定位板释放，球沿轨道向下运动，以一定的初速度由轨道的平直部分水平抛出。

(5) 下落的钢球打在向面板倾斜的接球板上，在面板上留下一个印迹点。

(6) 再将接球板向下拉一格，重复上述操作方法，打出第二个印迹点，如此继续下拉接球板，直至最低点，即可得到平抛的钢球下落时的一系列迹点。

(7) 变更定位板的位置，即可改变钢球平抛的初速度，按上述实验操作方法，便可打出另一系列迹点。

(8) 取下记录纸，将各次实验所记录的点分别用平滑曲线连接起来，即可得到以不同的初速度

做平抛运动的轨迹图线。如图 2-3-4 所示。

实验注意事项：

- ①必须保证记录面板处于竖直平面内，使平抛轨道的平面靠近板面。
- ②调节斜槽末端水平，使小球飞出时的速度是水平方向。可将小球放于此处调节到小球不会左右滚动即可。
- ③贴坐标纸时，可以用重垂线帮助完成，使重垂线与坐标纸的一条线重合，则这条线就是纵坐标。
- ④坐标原点是斜槽末端处小球球心的位置。
- ⑤每次从同一高度无初速释放小球。
- ⑥选取轨迹上离原点较远的点来测量 x 、 y 的值可减小误差。描点时，应使视线与所描的点齐平。

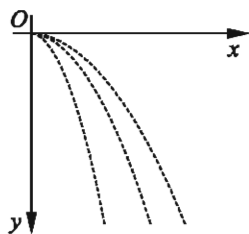


图 2-3-4





● ● 第 4 节 生活中的抛体运动 ● ●

一、教学要求与重难点

(一) 教学要求

1. 掌握抛体运动的概念，知道斜抛运动的特点是初速度方向斜向上，只受重力作用，它的运动轨迹是抛物线。
2. 知道斜抛运动可以看成是水平方向的匀速直线运动和竖直方向的匀变速直线运动的合成，同时向学生渗透等效替代的思想。
3. 探究理想情况下斜抛物体的射程问题，定性地了解初速度和抛射角的改变对射程的影响。
4. 了解日常生活和生产实践中的斜抛运动。能用运动合成与分解的方法处理实际问题，有在生活中应用物理知识的意识。

(二) 重难点分析

本节重点是学会用运动合成与分解的方法处理斜抛运动以及掌握斜抛运动规律的初步应用。

本节难点是斜抛运动的规律推导及探究射程、射高的影响因素。学生已学过用运动的合成与分解来研究平抛运动，知道在研究曲线运动时可采用化曲为直的方法，但并不熟悉。



二、教材分析与教学建议

教材要点解读

在日常生活或体育运动中，学生都有抛掷物体的经历，大概知道抛体运动的轨迹。教材从学生熟悉而有趣的抛体运动出发，总结得出以一定的初速度将物体抛出，物体仅在重力作用下所做的运动，称为抛体运动。根据抛出物体的初速度方向不同，我们把抛体运动分为平抛运动、竖直上抛运动、竖直下抛运动和斜抛运动（斜上抛运动和斜下抛运动）。

教材引导学生用前面学过的运动合成与分解的知识解决抛体运动问题，并以斜上抛运动为例，引导学生应用分运动的独立性、等时性和等效性，将斜上抛运动分解为水平方向的匀速直线运动，以及竖直方向的竖直上抛运动，进一步体现了化曲为直的曲线运动问题解决方法。

第4节

生活中的抛体运动

田径场上投掷出的铅球、标枪以及杂技表演中抛出球的在空中运动（图 2-19）都可视为抛体运动。以一定的初速度将物体抛出，物体仅在重力作用下所做的运动，称为抛体运动（projectile motion）。根据抛出物体的初速度方向，我们可把抛体运动分为平抛运动、竖直上抛运动、竖直下抛运动和斜抛运动（斜上抛运动和斜下抛运动）。

对于抛体运动，我们可用运动的合成与分解的方法进行分析和研究。以斜抛（斜上抛）运动为例，我们可建立一个直角坐标系，将坐标系的原点选择在物体的抛出点，物体运动的水平方向为 x 轴正方向，竖直向上为 y 轴正方向，如图 2-20 所示。物体抛出方向与 x 轴正方向之间的夹角称为抛射角，用 θ 表示。在这个坐标系中，物体被抛出的初速度 v_0 可分解为水平方向的 v_{0x} 、竖直方向的 v_{0y} 。物体在水平方向没有受到外力的作用，在竖直方向上只受到竖直向下的重力作用。因此，斜上抛运动可看成水平方向初速度为 v_{0x} 的匀速直线运动和竖直方向初速度为 v_{0y} 的竖直上抛运动的合运动。图 2-21 是做斜抛（斜上抛）运动小球的频闪照片。分析可知，小球运动的轨迹是抛物线。

在图 2-20 中，物体能到达的最大高度称为射高，物体从抛出点到落地点的水平距离称为射程。研究表明：抛射角一定，初速度增大，射高和射程都增大。初速度大小一定，当抛射角为 45° 时，射



图 2-19 空中抛球表演

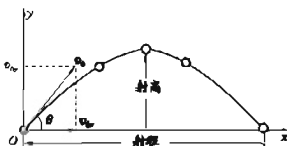


图 2-20 分析斜抛运动的示意图



图 2-21 做斜抛运动的小球的频闪照片

教学建议：

因抛体运动在物理中是一个理想化的概念，在教学中教师需要引导学生把生活概念提升到物理概念。建议提出下面的问题：礼花刚在空中散开时，铅球、篮球等刚要在空中运动时，是否具有一定的初速度？这个初速度是沿什么方向？它们在空中运动的轨迹是怎样的？这些物体在空中运动的过程中受到什么力？然后从受力与运动分析的角度比较二者的区别，在此基础上建立抛体运动的概念。



教材要点解读

教材中引入了射高、射程、抛射角的概念，简要分析了抛射角、初速度与射高、射程之间的关系，并以可近似视为斜抛运动的喷泉为例，说明可以通过控制喷水的初速度，使喷水的射程和射高不同而形成美景，从而使学生对生活中的抛体运动有更深入的认识。

从核心素养提升的角度，本节是对前面所学知识的补充和丰富。由于学生已经掌握了解决平抛运动问题的方法，因而本节可以在复习平抛运动相关问题解决方法的基础上，引导学生借鉴前面的方法，从运动合成与分解的角度分析解决生产生活中的抛体运动问题，初步形成与抛体运动相关的运动观念。

程最大；当抛射角为 90° 时，射高最大。斜抛运动的射高和射程是实际生产生活中所关注的问题。

投掷出的链球、铁饼、标枪所做的运动都可视为斜抛运动，考虑到抛出点离地面有一段高度，为使它们的射程最大，抛射角通常可略小于 45° （请分析为什么）。有些喷泉喷射出的水的运动也可视为斜抛运动，控制喷水的喷射初速度，可使水的射程和射高不同而形成美景（图 2-22）。以上是忽略空气阻力的情况，若考虑空气阻力，情况会有所不同。

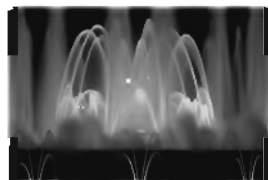


图 2-22 美丽的喷泉

能了解抛体运动的内涵，知道物体做曲线运动的条件，能从运动合成与分解角度认识抛体运动；能综合分析生产生活中的抛体运动问题，解决一些相关的实际问题。具有与抛体运动相关的初步的运动观念。
——物理观念

素养提升



节练习

1. 抛体运动是匀变速运动吗？请说明理由。
2. 如果把物体斜向下抛出，请还用运动合成与分解的方法，说明斜向下的抛体运动可视为哪两个运动的合运动。



请提问

教学建议：

本节重点研究斜抛运动。教材通过列举生活中的斜抛运动，如投掷出的链球、铁饼、标枪以及公园里常见的喷泉等，让学生对斜抛运动有形象直观的理解。在讲解斜抛运动时，教师应利用运动合成与分解的方法，将斜抛运动的速度和位移进行分析讲解，进而使学生认识到平抛运动是一种特殊的斜抛运动，同时体会解决抛体运动的一般方法。



三、课堂教学活动资源

课堂练习或知识点的检测

1. 做斜抛运动的物体

- A. 水平分速度不变 B. 加速度不变
C. 在相同的高度处有相同的速度 D. 经过最高点时瞬时速度为 0

解答: AB

选题意图: 此题是有关斜抛运动的题目, 考查了学生对斜抛运动的特点的基本认识。

2. 消防队员站立在距离建筑物 12 m 处, 水龙头出口处水流速度为 18 m/s, 其方向与水平方向的夹角为 60° 。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 水流达到建筑物处时距水龙头的高度是多少?

解答: 水流的运动可视为水平方向的匀速直线运动和竖直方向向上的匀减速直线运动。水平方向位移 $s = 12 \text{ m}$, 水平分速度 $v_x = v_0 \cos \theta = 9 \text{ m/s}$, 空中运动时间 $t = 1.33 \text{ s}$, 竖直高度 $h = v_y t - \frac{gt^2}{2} = 11.9 \text{ m}$ 。

选题意图: 此题目是关于斜抛运动规律的具体应用, 要求学生利用运动的合成与分解的思想, 分析斜抛运动在生活中的实际应用。

3. 试定量归纳斜抛运动的规律。

解答: (1) 水平方向的速度: $v_1 = v_0 \cos \theta$ 。

(2) 竖直方向的速度: $v_2 = v_0 \sin \theta - gt$ 。

(3) 水平方向的位移方程: $x = v_0 t \cos \theta$ 。

(4) 竖直方向的位移方程: $y = v_0 t \sin \theta - \frac{1}{2} gt^2$ 。

(5) 物体的运动时间: $-v_0 \sin \theta = v_0 \sin \theta - gt$, $t = \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$ 。

(6) 物体的水平射程: $s = v_1 t = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$, 从此式可以看出, 当 $\theta = 45^\circ$ 时, 射程最远。

选题意图: 分析归纳斜抛运动的规律, 本题定量研究斜抛规律属于较高要求。

四、作业解答

1. 抛体运动是匀变速运动吗? 请说明理由。

解答: 抛体运动有一定的初速度且只受重力作用, 具有恒定的加速度, 是匀变速运动。

2. 如果把物体斜向下抛出, 请运用运动合成与分解的方法, 说明斜向下的抛体运动可视为哪两个运动的合运动。

解答: 可视为水平方向的匀速直线运动和竖直向下的匀加速直线运动的合运动。



五、课程资源

(一) 标枪

1. 现代标枪运动的由来

标枪运动起源于古代人类用长矛猎取野兽的活动，后来长矛发展成为作战的兵器。公元前 708 年，标枪被列为第 18 届古代奥运会“五项全能”之一。现代标枪运动（图 2-4-1）始于 19 世纪的瑞典、希腊、匈牙利和芬兰等欧洲国家。1792 年，瑞典的法隆开始举行标枪比赛。最初运动员使用的木制标枪前后一样粗，20 世纪 50 年代初，美国标枪运动员赫尔德研究出两端细、中间粗的木制标枪，延长了标枪在空中飞行的时间，因而被称为“滑翔标枪”。

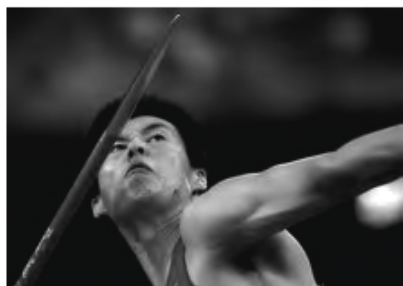


图 2-4-1

20 世纪 60 年代，瑞典制造出金属标枪，使标枪的滑翔性能更强，大幅度提高了运动员成绩。1984 年，德国运动员霍恩以 104.80 m 的成绩打破世界纪录。国际田联为保证看台观众的安全，于 1986 年将男子标枪重心向枪尖方向前移 4 cm，以降低飞行性能，1999 年又将女子标枪重心向枪尖方向前移 3 cm。比赛时，运动员必须单手将标枪从肩上方掷出，枪尖必须落在投掷区角度线内方为有效。

2. 发展历史

标枪是一种带铤的短投掷梭标，又称“投枪”“投矛”“短矛”“鏃枪”等。巧铤和骨标枪在旧石器时代（石器时代晚期）为狩猎武器。铁铤标枪在古希腊和古罗马军队中曾装备过。希腊斯巴达人的轻装步兵可将标枪投掷 20 ~ 60 m 远。古罗马重装步兵的投矛长 1.5 ~ 2 m，重 4 ~ 5 kg，其投矛有很长的铁尖安在木柄上，可投掷 30 m 远。为使标枪投掷得更远（达 70 ~ 80 m），有的标枪上装有皮带环，以使投掷力增加。罗马步兵多在冲锋前投掷标枪，在扎入对方盾牌后，标枪上的倒钩使得标枪极难拔出从而影响敌人盾牌的防御效果，若要拔出标枪则会毁坏盾牌，在尚不懂使用弓箭的部落和不使用弓箭的部落，标枪是一种基本的投掷武器。在西欧，标枪一直流传至中世纪。在俄罗斯，标枪即为短投枪。在 12 世纪《柳戈尔远征记》一书中首次提到标枪。中国原始社会已有标枪，但到宋代才成为军队常规武器，又称“梭枪”。元朝蒙古军善用标枪，枪有四角形、三角形、圆形数种，多数两端有刃，既可以马上刺敌，又可以抛掷杀敌。明代军队中有一种两头带刃的标枪，长 68 cm，枪刃长 23 cm，尖尾长 7 cm，两头尖，中间粗，两端都可以刺人，便于投掷。清代的标枪多用木竹为柄上加铁铤。还有一种卫体用的标枪，枪杆较短，铤长 6 寸，木柄杆长 1.8 ~ 1.9 尺，重不到 2 kg。纯铁打造的标枪更短，全长不到 2 尺，重不过 2 kg，技艺精熟者可于 50 步内投中敌人。

标枪是人类历史上有据可靠的最早的远程兵器之一。从原始社会开始，它就被用作重要的狩猎工具。标枪一般由铤头和枪杆组成，有些装有起平衡作用的尾翼。铤头由金属打制而成，一般有锥形和长水滴形等形式，套装在枪杆上。枪杆通常用硬木、竹竿或金属制成。在战场上，标枪常常与盾牌配合使用，以弥补近身武器的不足。随着弓箭的出现，标枪的使用开始减少，但是直到 13 世

纪,标枪仍然是许多国家军队的制式装备。

古希腊时代,在古代奥林匹克运动中,人们就已经开始将标枪助跑投远和原地投准作为竞技项目。在完全退出军事舞台之后,标枪成为一个纯粹的田径运动项目。1792年,瑞典举行了世界上第一次现代标枪比赛。男子标枪和女子标枪分别于1908年和1932年被列为现代奥运会比赛项目。体育运动中的标枪一般用金属材料或碳素纤维制成,两端尖利,男子标枪重800 g,长260 ~ 270 cm;女子标枪重600 g,长220 ~ 230 cm。

3. 经典动作

握法:握枪方法是將标枪斜放在掌心上,大拇指和中指握在标枪把手末端第一圈上沿,食指自然弯曲斜握在标枪上,无名指和小指握在把手上。也可将拇指和食指握在标枪把手末端第一圈上沿,其余手指按顺序握在把手上。

持枪:持枪方法是屈臂举枪于肩上,大小臂夹角约为 90° ,稍高于头,枪尖稍低于枪尾。

助跑:助跑距离应根据投掷者发挥速度的快慢而定,一般在25 ~ 35 m,助跑分为两个阶段。

预跑阶段:预跑阶段主要是加速,在跑进中上体稍前倾,用前脚掌着地,大腿抬得较高,后蹬力量强,动作轻快而富有弹性,持枪臂随着跑的节奏与左臂配合,自然前后摆动,并与下肢动作协调一致,在加速中进入投掷步。

投掷步阶段:五步投掷步的一般步骤是第一步大,第二步小,第三步大,第四步小。

(二) 铅球

1. 发展历史

铅球运动起源于古代人类用石块猎取禽兽或防御攻击的活动。现代推铅球运动始于14世纪40年代欧洲炮兵闲暇期间推掷炮弹的游戏和比赛,后逐渐形成体育运动项目。

在远古时期,面对严酷的自然环境和水平原始低下的生产力,人类要在地球上生存延续下去,不仅要跑得快,以迅速跳越障碍去追捕各种动物或逃避猛兽的伤害,还要学会利用工具把石头、梭标、鱼叉等投得又远又准,以便击中猎物而获得食物。奴隶制时期,随着人类的进化、社会的进步,掷重石已成为重要的作战方法。为了提高各自的战斗力,掷重石就被当作重要的训练手段。古希腊时期,曾一度流传着投掷石块的比赛,并将此作为选拔大力士的重要标准。

相传在1150年左右,希腊雅典举行过一次规模宏大、声势浩大的掷重圆石比赛。根据规定,大力士们把圆石高高举起投向远方,以投掷距离的远近来决定优劣胜负。这可以说是铅球运动的前身。大约在1340年,希腊开始出现了火炮,炮弹是用圆形铅制成的。为了使炮手作战时装填炮弹熟练、迅速、敏捷,以提高军队的战斗能力,希腊人就在日常训练中让士兵用同炮弹质量大小相当的石头练习,并进行比赛,后来又用废弃的铅制炮弹代替石头进行模拟训练。这就是现代铅球的直接起源。

再之后,这一训练从部队流入民间,慢慢地变成了投掷铅球的游戏,并很快得以传播,成为广受群众欢迎的体育竞赛项目。男、女铅球分别于1896年和1948年被列为奥运会比赛项目。

铅球的制作经历了用铁、铅以及外铁内铅的过程。正式比赛男子铅球的质量为7.26 kg,直径



11 ~ 13 cm；女子铅球的质量为 4 kg，直径为 9.5 ~ 11 cm。早期推铅球没有固定的方式，可以原地推，也可以助跑推；可以单手推，也可以双手推；还出现过按体重分级别的比赛。

最初采用原地推铅球技术，后逐渐发展到侧向推、上步侧向推。20 世纪 50 年代，美国运动员奥布赖恩发明背向滑步推铅球技术，该技术被称为“铅球运动史上的一场革命”。20 世纪 70 年代，苏联运动员巴雷什尼科夫发明旋转推铅球技术，由于旋转后难以控制身体平衡，至今只有极少数运动员使用。比赛时，运动员应在直径 2.135 m 的圈内，用单手将球从肩上推出，铅球必须落在落地区角度线以内方为有效。

2. 比赛标准

在男子比赛中，铅球直径必须在 110 ~ 130 mm，女子则在 95 ~ 110 mm。

铅球比赛中，运动员都是站立在投掷圈内开始投掷的。投掷圈外围是铁镶的边，有 6 mm 厚，顶端涂白。在投掷时，运动员不能接触铁边的顶端或者投掷圈以外的地面。铅球的投掷圈直径为 2.135 m。铅球投掷圈的正前方放着一个木质的挡板，有 1.21 ~ 1.23 m 长，它是用来防止运动员滑出圈外的。运动员可以碰挡板的内侧，但不能碰挡板的顶部。

在比赛中，着陆区都是由煤渣、草坪或者其他能留下印记的物质构成的平坦区域。每一个扇区由 5 cm 宽的白线分开。在铅球比赛中，着陆区的扇面角度在 2003 年由以前的 40° 改为了 34.92°。

3. 姿势分类

(1) 原地背向

背对投掷方向，躯干和肩带向右转，上体前倾（根据腿部力量而定），重心在右腿上，左臂和左肩前伸并稍向内扣。推球动作同技术部分。

滑步前要做预备姿势，即先做一两次预摆，预摆时左腿自然弯曲，大腿用力平稳向上摆起，右腿伸直，上体前屈。左臂微屈前伸或下垂并稍向内，头与背保持一条直线。

(2) 高姿势

持球后，背对投掷方向，站在圈内靠近后沿处，两脚前后站立，相距 20 ~ 30 cm，右脚尖靠近投掷圈内沿（脚也可稍向内转），左腿在后并自然弯曲以前脚掌或脚尖着地，上体正直放松，左臂自然上举，体重落在伸直的右腿上。

(3) 低姿势

持球后背对投掷方向，站在圈内靠近后沿处，两脚前后站立，相距 50 ~ 60 cm（根据身高和下蹲的程度而定）。左脚在后，以前脚掌或脚尖着地，右脚尖贴近圆圈指向投掷的相反方向（脚也可稍内转）。左臂自然下垂，左肩稍向内扣，两腿弯曲，上体前屈。



● ● 章末练习参考答案 ● ●

科学认知

1. 如图所示, 在研究平抛运动时, 小球 A 沿轨道滑下, 离开轨道末端 (末端水平) 时撞开轻质接触式开关 S , 被电磁铁吸住的小球 B 同时自由下落。改变整个装置的高度, 多次实验, 发现 A 、 B 两球总是同时落地。该实验现象说明, A 球在离开轨道后, 竖直方向的运动有何特点?

解答: 该实验现象说明, A 球在离开轨道后, 竖直方向做自由落体运动。

2. 如图所示, 在同一竖直面内, 小球 a 、 b 从高度不同的两点分别以初速度 v_a 和 v_b 沿水平方向抛出, 若不计空气阻力, 经过时间 t_a 和 t_b 后落到与两抛出点水平距离相等的 P 点。请比较 v_a 和 v_b 、 t_a 和 t_b 的大小。

解答: 竖直方向做自由落体运动, 根据 $h = \frac{1}{2}gt^2$, 解得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 因为 $h_a > h_b$, 则有 $t_a > t_b$; 根据 $x = v_0t$, 因为水平位移大小相等, 且 $t_a > t_b$, 因此 $v_a < v_b$ 。

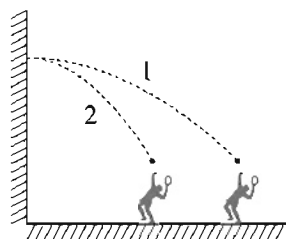
3. 关于平抛运动, 下列说法正确的是

- A. 做平抛运动的物体不受任何外力的作用
- B. 平抛运动是曲线运动, 不可能是匀变速运动
- C. 做平抛运动的物体在竖直方向做自由落体运动
- D. 物体做平抛运动的落地时间与初速度的大小无关

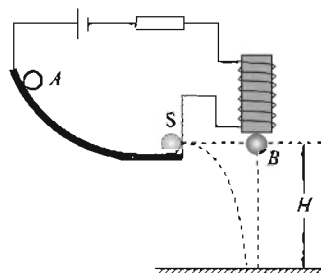
解答: CD

做平抛运动的物体受重力作用, 加速度为重力加速度, 是匀变速曲线运动。由于竖直方向为自由落体运动, 所以运动时间由高度决定, 与水平初速度无关。

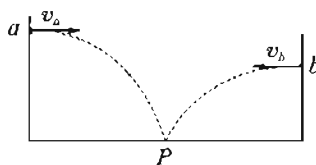
4. 网球运动员训练时, 将球从某一点斜向上打出, 若不计空气阻力, 网球恰好能垂直撞在竖直墙上的某一固定点, 等速反弹后又恰好沿抛出轨迹返回击出点。如图所示, 运动员在同一高度的前后两个不同位置将网球击出后, 垂直击中竖直墙上的同一固定点。下列判断正确的是



第4题



第1题



第2题

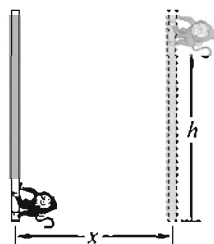


- A. 沿轨迹 1 运动的网球击出时的初速度大
 B. 两轨迹中网球撞墙前的速度可能相等
 C. 从击出到撞墙, 沿轨迹 2 运动的网球在空中运动的时间短
 D. 沿轨迹 1 运动的网球刚要撞墙时的速度小

解答: A

网球被击出后, 在竖直方向做竖直上抛运动, 两球上抛高度相同, 故上升时间相同。抛出时竖直方向的初速度一样大, 水平位移越大, 水平初速度越大, 所以沿轨迹 1 运动的网球的初速度大, 刚要撞墙时其速度也更大。

5. 在马戏表演中, 猴子沿竖直杆向上做初速度为 0、加速度为 a 的匀加速运动, 同时人顶着直杆以速度 v_0 水平匀速移动, 经过时间 t , 猴子沿杆向上移动的高度为 h , 人顶杆沿水平地面移动的距离为 x , 如图所示。关于猴子的运动情况, 下列说法正确的是



第 5 题

- A. 相对地面的运动轨迹为直线
 B. 相对地面做匀变速曲线运动
 C. t 时刻猴子对地速度的大小为 $v_0 + at$
 D. t 时间内猴子对地的位移大小为 $\sqrt{x^2 + h^2}$

解答: BD

猴子在水平方向上做匀速运动, 在竖直方向上做加速运动, 其轨迹为抛物线, 是匀变速曲线运动。水平方向运动和竖直方向运动的合成遵循矢量合成法则, t 时刻猴子对地速度的大小为 $\sqrt{v_0^2 + (at)^2}$ 。

6. 从离地面高 h 处以水平速度 v_0 抛出一物体。不计空气阻力, 重力加速度为 g , 求物体落地时的速度大小及速度方向与竖直方向所成的夹角的正切值。

解答: 根据 $h = \frac{1}{2}gt^2$, 可得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 所以 $v_y = gt = \sqrt{2gh}$, $v_{\text{合}} = \sqrt{v_y^2 + v_0^2} = \sqrt{2gh + v_0^2}$,

$$\tan \theta = \frac{v_0}{v_y} = \frac{v_0}{\sqrt{2gh}}.$$

7. 船在宽 400 m 的河中横渡, 河水的流速是 2 m/s, 船在静水中的航速是 4 m/s。

- (1) 要使船到达对岸的时间最短, 船头应指向何处? 最短时间是多少?
 (2) 要使船航程最短, 船头应指向何处? 到达对岸用时多少?

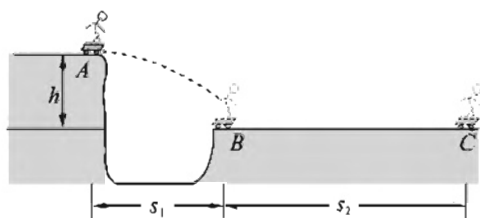
解答: (1) 过河时间最短, 即船头指向沿着垂直于河岸的方向, 此时的时间 $t_{\text{min}} = \frac{d}{v_{\text{船}}} = 100 \text{ s}$ 。

(2) 要使航程最短, 因为 $v_{\text{船}} > v_{\text{水}}$, 因此船头指向与水流速度方向可形成一定的夹角使得合速度的方向垂直于河岸, 可满足航程最短。

此时 $v_{\text{合}} = \sqrt{v_{\text{船}}^2 - v_{\text{水}}^2} = \sqrt{12} \text{ m/s} = 2\sqrt{3} \text{ m/s}$, 且合速度方向与船速之间夹角的余弦值 $\cos \theta = \frac{v_{\text{合}}}{v_{\text{船}}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$,

则有 $\theta = 30^\circ$, 因此船头指向为与上游成 60° 角。此时用时 $t = \frac{d}{v_{\text{合}}} = 200 \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ s} = 115.5 \text{ s}$ 。

8. 如图所示, 某滑板爱好者在距地面高度 $h = 1.8 \text{ m}$ 的平台上滑行, 水平离开 A 点后落在水平地面的 B 点, 其水平位移 $s_1 = 3 \text{ m}$ 。由于着地时存在能量损失, 着地后速度变为 $v = 4 \text{ m/s}$, 并以此为初速度沿水平地面滑行 $s_2 = 8 \text{ m}$ 后停止。已知人与滑板的总质量 $m = 60 \text{ kg}$, 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 不计空气阻力, 求:



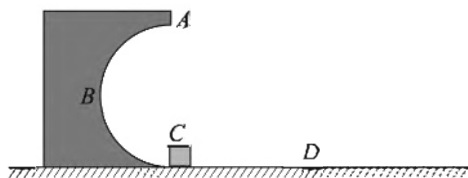
第8题

- (1) 人与滑板在水平地面滑行时受到的平均阻力大小;
- (2) 人与滑板离开平台时的水平初速度。

解答: (1) 根据 $v^2 = 2as_2$, 有 $a = \frac{v^2}{2s_2} = 1 \text{ m/s}^2$, 因此受到的平均阻力大小 $f = ma = 60 \text{ N}$ 。

(2) 竖直方向上满足: $h = \frac{1}{2}gt^2$, 水平方向上满足: $s_1 = v_0t$, 由此可得 $v_0 = 5 \text{ m/s}$ 。

9. 如图所示, 一半径 $R = 0.5 \text{ m}$ 的光滑半圆形轨道 ABC 固定在竖直平面内, 轨道在 C 处与水平地面相切。在 C 处放一小物块, 给它一个水平向左的初速度 $v_0 = 5 \text{ m/s}$, 结果它沿 CBA 运动, 通过 A 点, 最后落在水平地面上的 D 点。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 不计空气阻力, 求 C 、 D 间的距离 s 。



第9题

解答: 设物块的质量为 m 。从 $C \rightarrow A$ 过程:

$$\text{根据动能定理} \quad -2mgR = \frac{1}{2}mv_A^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\text{平抛过程竖直方向有} \quad 2R = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\text{平抛过程水平方向有} \quad s = v_A t$$

$$\text{解得} \quad s = 1 \text{ m}$$

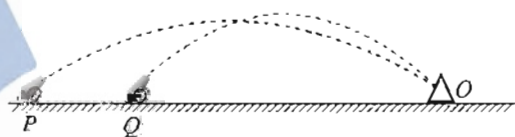
科学辨析

*10. 如图所示, 夜空中绽放的烟花绚丽多彩, 璀璨夺目。你在欣赏这一美景的时候, 有没有注意过它们的形状? 有没有思考过它们为什么呈现这样的形状? 请从抛体运动的视角写一篇小短文, 阐述你的看法。



第10题

11. 某次军事演习中, 在 P 、 Q 两处的炮兵向正前方同一目标 O 发射炮弹, 要求同时击中目标。若忽略空气阻力, 炮弹轨迹如图所示, 你认为哪一处的炮兵先发射炮弹? 请简述理由。



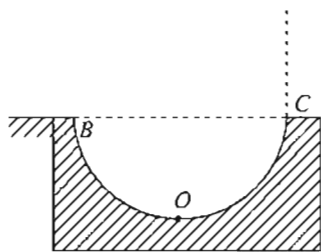
第11题



解答: Q 处炮弹应该先发射。因为炮弹在空中做的是斜抛运动, Q 处发射的炮弹最大高度更高, 在空中运动的时间更长, 应该先发射。

温故知新

12. 如图所示, 自行车特技运动员从 B 点由静止出发, 经圆弧 BOC , 从 C 点竖直冲出后完成空翻。已知完成空翻的时间为 t , 由 B 点到 C 点的过程中克服摩擦力做功为 W_f , 自行车运动员和自行车的总质量为 m , 重力加速度为 g , 空气阻力忽略不计, 求运动员从 B 点到 C 点至少做了多少功。



第 12 题

解答: 运动员完成空翻的时间应小于或等于其从 C 点冲出到再次落到 C 点的时间。由题意知, 此过程可看成是初速度为 v 的竖直

上抛运动, 根据题意有 $v = gt_{\frac{1}{2}} \geq \frac{gt}{2}$, 设运动员从 B 点到 C 点做功为 W , 由动能定理 $W - W_f = \frac{1}{2}mv^2$,

可得 $W = W_f + \frac{1}{2}mv^2 \geq W_f + \frac{1}{8}mg^2t^2$, 即至少做功 $W_f + \frac{1}{8}mg^2t^2$ 。

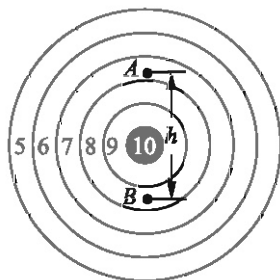




● ● 习题案例分析 ● ●

一、第2节节练习第6题

如图所示，两支步枪先后在同一位置沿水平方向各射出一颗子弹，打在100 m远处的靶子上，两弹孔在竖直方向相距5 cm，其中A为甲枪的子弹孔，B为乙枪的子弹孔。



第6题

(1) 哪支枪射出的子弹速度较大？为什么？

(2) 若甲枪子弹射出时的速度为500 m/s，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，不计空气阻力，求乙枪子弹射出时的速度。

【习题目标】

这道题旨在从物理观念和科学思维两个方面提升学生的物理学科核心素养。从物理观念的角度来看，该题强化学生对于匀速直线运动及自由落体运动等基本规律的认识，利用其基本规律解决平抛运动的问题，锻炼学生用物理规律解决实际问题的能力，提升学生的物理观念。对子弹速度大小的比较锻炼学生的观察能力和分析能力，加强其对平抛运动规律的理解和应用；计算子弹射出速度的具体数值，锻炼学生的计算能力，这些都有益于提升学生的科学思维能力。

【情境素材】

习题以射击比赛时子弹打在竖直方向不同位置为情境载体，以子弹水平方向、竖直方向距离关系为线索，创设了真实、有意义的情景。该情景是学生在比赛直播中常常看到的情境，但在具体应用两子弹在水平、竖直方向位移关系来分析子弹运动情况时感到抽象，需要学生提取试题信息，运用平抛运动等相关知识，化抽象的立体问题为直观的平面平抛运动，再进行分析、综合及推理，对科学思维能力要求较高。

【问题任务】

第(1)问要求学生判断哪颗子弹速度大，需要将水平和竖直运动结合，利用两个方向运动的独立性和等时性特点，判定子弹速度大小关系。

第(2)问要求学生求解乙枪子弹的初速度，需要学生由甲枪射出的子弹定量计算水平位移对应时间，再计算出其竖直位移，进而计算乙枪射出子弹的竖直位移和飞行时间，从而求得乙枪射出子弹的初速度。本问求解过程进一步强化两个方向分运动的独立性和等时性。

【易错分析】

本题的易错点有两个，一是在比较子弹速度大小时，学生不知道通过运动时间关系来比较速



度,导致没有思路,出现此问题是由于学生不能把规律、概念等融会贯通,在日常教学中,教师要注重培养学生综合分析的素养。二是本题有一定的计算量,且数据不易计算,要想培养学生的计算能力,平时需加强练习,养成规范答题、认真计算的习惯。

【学科思维】

子弹做平抛运动,可利用运动的合成与分解原理将这类复杂曲线运动分解为两方向上的直线运动,运用两个分运动的独立性和等时性特点以及两颗子弹运动时间、位移的关系来解决问题,本题巧妙地设置了一个难点:即没有直接给出两子弹水平位移与竖直位移的关系,而是给出了靶子上的弹孔,让学生通过靶子上的子弹孔观察判断,这个过程可锻炼学生的建立物理模型、分析、推理的科学思维能力。

【变式题例】

如图1所示,某同学为了找出平抛运动的物体初速度之间的关系,用一个小球在 O 点对准前方的一块竖直放置的挡板, O 与 A 在同一高度,小球的水平初速度分别是 v_1 、 v_2 、 v_3 ,打在挡板上的位置分别是 B 、 C 、 D ,且 $AB:BC:CD=1:3:5$ 。 v_1 、 v_2 、 v_3 之间的正确关系是

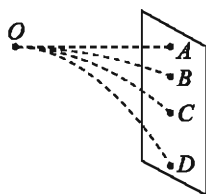


图1

A. $v_1 : v_2 : v_3 = 3 : 2 : 1$

B. $v_1 : v_2 : v_3 = 5 : 3 : 1$

C. $v_1 : v_2 : v_3 = 6 : 3 : 2$

D. $v_1 : v_2 : v_3 = 9 : 4 : 1$

解答:C

二、章末练习第7题

船在宽400 m的河中横渡,河水的流速是2 m/s,船在静水中的航速是4 m/s。

(1)要使船到达对岸的时间最短,船头应指向何处?最短时间是多少?

(2)要使船航程最短,船头应指向何处?到达对岸用时多少?

【习题目标】

通过该题强化学生对于运动的合成与分解这一物理观念的理解。运动的合成与分解对于曲线运动有着举足轻重的作用,高中阶段曲线运动的问题大多通过分解来解决。运动的合成与分解对学生来说是一个难点,通过该题可以加强他们对这一物理观念的理解。

小船渡河模型是高中阶段很重要的一个模型,通过该题可以锻炼学生构建模型并应用模型解决问题的能力。类似于力的合成与分解,速度与位移的合成与分解同样遵循矢量的合成法则——平行四边形定则。通过该题可以进一步加强学生对于矢量合成与分解的理解,并将其应用在具体的问题中。

【情境素材】

习题以船过河为载体,以船在静水中速度及水速为线索,创设了有意义的情境。该情境在生活中很常见,但是学生却并不熟悉,需要学生运用题目信息,根据分运动与合运动的相互关系,运用运动的合成与分解思想及矢量的运算方法求解,对学生的数学知识及分析综合能力有较高的要求。

【问题任务】

第(1)问要求使船到达对岸时间最短,则船头应垂直河岸行驶,可加深学生对分运动与合运动的等时性和独立性的理解。

第(2)问要求使船运动的路程最短,则合运动要垂直河岸行驶,并且要根据题目数据判定能否满足垂直河岸行驶,可深入考查学生的物理观念、科学思维能力。

【易错分析】

本题容易出错的地方有两个。一是学生无法正确分析时间最短和位移最短两种情形对应的速度与位移。小船渡河是运动的合成与分解中一个典型但也较难的模型,学生要想理解小船渡河问题,需要对运动的合成与分解有清晰的认识,正确理解合运动与分运动的关系。解决此问题要让学生从根本上理解原理,教师在规律教学中要注重讲解原理,培养学生科学思维的能力。二是运动的合成与分解表示错误,数学的三角函数掌握不牢靠,以至于无法正确表示出合速度与分速度之间的数量和方向关系,数学与物理的关系紧密相连,要解决此问题需加强学生的数学计算能力,培养学生认真解题的习惯。

【学科思维】

静水船速大于水速时,其求解位移最小值时即为船的合速度垂直河岸;当静水船速小于水速的情况下,已不能满足船的合速度垂直河岸了,此时需做出船速、水速、合速度矢量图研究,得出当船速垂直于合速度时,合速度与下游河岸夹角最大,渡河合位移最小。

【变式题例】

一条河宽 100 m,船在静水中的速度为 4 m/s,水流速度是 5 m/s,则

- A. 该船可能沿垂直于河岸的方向横渡到对岸
- B. 当船头垂直于河岸渡河时,过河所用的时间最短
- C. 当船头垂直于河岸渡河时,船的位移最小,最小位移是 100 m
- D. 当船渡到对岸时,船沿河岸的最小位移是 100 m

解答: B

