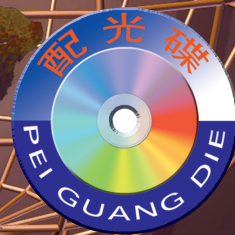


普通高中课程标准实验教科书



物理

(必修2)

广东教育出版社



普通高中课程标准实验教科书



物理


(必修2)

W U L I

广东基础教育课程资源研究开发中心物理教材编写组 编著

主 编: 保宗悌
副 主 编: 布正明 王笑君 姚跃涌
本册主编: 张军朋
本册编者: 王笑君 布正明 李卫红 刘雄硕 余 江
 邹旭光 张军朋 张 革 陈信余 苏剑青
 保宗悌 程志文
(以姓氏笔画为序)

绘 图: 李德安

 广东教育出版社

· 广 州 ·

目录

第一章 抛体运动	1
第一节 什么是抛体运动	2
抛体运动的速度方向	3
抛体做直线或曲线运动的条件	4
第二节 运动的合成与分解	7
分运动与合运动	7
运动的独立性	7
运动的合成与分解	8
第三节 竖直方向的抛体运动	10
竖直下抛运动	10
竖直上抛运动	10
第四节 平抛运动	14
平抛运动的分解	14
平抛运动的规律	16
第五节 斜抛运动	19
斜抛运动的分解	19
斜抛运动的规律	20
射程与射高	20
弹道曲线	21
第二章 圆周运动	27
第一节 匀速圆周运动	28
认识圆周运动	28
如何描述匀速圆周运动的快慢	29
线速度、角速度、周期间的关系	30
第二节 向心力	33
感受向心力	33
向心加速度	34

生活中的向心力	35
第三节 离心现象及其应用	38
离心现象	38
离心现象的应用	39
第三章 万有引力定律及其应用	45
第一节 万有引力定律	46
天体究竟做怎样的运动	46
苹果落地的思考：万有引力定律的发现	47
第二节 万有引力定律的应用	51
计算天体的质量	51
理论的威力：预测未知天体	52
理想与现实：人造卫星和宇宙速度	53
第三节 飞向太空	56
飞向太空的桥梁——火箭	56
梦想成真——遨游太空	57
探索宇宙奥秘的先锋——空间探测器	59
第四章 机械能和能源	63
第一节 功	64
怎样才算做了功	64
如何计算功	64
功有正、负之分吗	65
第二节 动能 势能	68
动能	68
重力势能	69
弹性势能	72
第三节 探究外力做功与物体动能变化的关系	74
第四节 机械能守恒定律	79
动能与势能之间的相互转化	79
机械能守恒定律的理论推导	80
第五节 验证机械能守恒定律	83
第六节 能量的转化与守恒	85
各种各样的能量	85
能量之间的转化	86
能量转化与守恒定律	87
能量转化和转移的方向性	87
第七节 功率	91
如何描述物体做功的快慢	91
怎样计算功率	91
第八节 能源的利用与开发	95
能源及其分类	95
能源危机与环境污染	96

能源的开发	96
-------------	----

第五章 经典力学与物理学革命

103

第一节 经典力学的成就与局限性

104

经典力学的发展历程	104
-----------------	-----

经典力学的伟大成就	105
-----------------	-----

经典力学的局限性和适用范围	106
---------------------	-----

第二节 经典时空观与相对论时空观

107

经典时空观	107
-------------	-----

相对论时空观	108
--------------	-----

第三节 量子化现象

111

黑体辐射：能量子假说的提出	111
---------------------	-----

光子说：对光电效应的解释	112
--------------------	-----

光的波粒二象性：光的本性揭示	113
----------------------	-----

原子光谱：原子能量的不连续	113
---------------------	-----

第四节 物理学——人类文明进步的阶梯

115

物理学与自然科学——人类文明进步的基石	115
---------------------------	-----

物理学与现代技术——人类文明进步的推动力	116
----------------------------	-----

广东教育出版社

前言

欢迎同学们进入物理（必修2）的学习。

在物理（必修1）中，我们只研究了物体沿着一条直线的运动。实际上，在日常生活和生产技术中，曲线运动随处可见。在物理（必修2）中，我们把学习的重点首先转向两类重要的曲线运动：抛体运动和圆周运动。从中你会看到，在研究直线运动时用过的方法，原则上同样适用于曲线运动。

为什么熟透了的苹果会往下落，而天上的月亮既不落向地球，也不飞向茫茫宇宙离我们而去？牛顿运动定律能够处理地面上物体的运动，能不能处理天体的运动？为什么人造地球卫星能绕地球运行而不掉下来？“神舟”载人航天显示出我国空间开发的重大成就，同学们是不是希望了解其中的基本原理？通过物理（必修2）的学习，我们可以找到答案。

除了对力和运动的关系描述，我们还要从另外一个角度学习力学，那就是能量。一切物质都在运动，因此，一切物质都具有能量。机械能是一种常见的能量形式。我们会发现，从能量的角度处理力学问题有时会十分方便和容易理解。在本书中我们要学习如何定量计算机械能，分析机械能在什么条件下保持守恒，怎样从能量角度考虑节约能源和保护环境。

最后，本书要向大家介绍经典力学的成就和局限性，在这里同学们可以非常清晰地认识到，科学的发展是永无止境的，每个伟大的成就都有其局限性，我们应该用这种观点来认识世界，在科学的道路上，不断探索，永不停息。

人类对自然规律的认识缘于对自然界中的各种现象的好奇心和探究其中奥秘的欲望。因此，同学们在物理学习中要善于观察、勤于思考、敢于质疑、勇于实践，对物理知识的学习，也不能仅仅满足于知道“是什么”、“为什么”，更应该知道如何应用。

为了使物理课的学习成为一种乐趣，本书设计了引人入胜的栏目。你可以在“实验与探究”中像科学家那样动手动脑，体验探究物理学奥秘的喜悦。“讨论与交流”给你提供了发表见解的机会，让你在与同学相互交流中增进对物理知识的理解。通过“观察与思考”你会从中学会观察，得到启迪。“实践与拓展”向你提供了一些小实验、小制作和进一步探究的实践性课题，你可到生活、自然界中去观察、探究，训练你的实践和创新能力，体验科学、技术与社会发展的互动关系。“练习”和“习题”栏目将帮助你检验自己的学习状况，找到你学习的不足。“资料活页”和“我们的网站”（<http://www.gjs.cn>）为你提供了许多新奇、有趣的信息，向你介绍物理学史上的小故事以及最新的科技成果。“本章小结”让你梳理全章的知识线索，回顾和整理本章的知识，评价自己的学习情况。

科学是一个不断探究的过程。科学探究是令人愉快的、有趣的和引人深思的。我们生活在一个科学的世界里，我们的周围有许多要观察的事物，有许多要了解的科学过程，有许多要解答的科学问题。让我们共同来探究我们周围的物理世界吧。

第一章

抛体运动

伽利略在 1638 年出版的《两种新科学的对话》一书中，运用观察—假设—数学推理的方法，详细地研究了抛体运动，得出与意大利数学家、力学家塔塔格里亚在 1546 年对抛体运动的经验研究一致的结论，显示了科学理论的解释、预言和指导作用。此后，牛顿在思考万有引力定律时曾设想，从高山上以足够大的速度水平抛出物体时，物体将环绕地球运动，而永远也不会落到地面上来。如今，牛顿的设想已变成现实，人造地球卫星的发射开创了人类利用航天技术的新领域。

抛体运动的知识在生活中有许多应用。例如，一架水平飞行的运输机，怎样把救援物资投向指定地点？是在指定地点的正上方投下，还是在到达指定地点前一段距离时投下？在比赛场上，运动员怎样投掷才能取得最佳成绩？是不是投掷的力越大，速度越大，投掷的距离就越大？学习了这一章的抛体运动知识，你会明白其中的奥妙。



第一节 什么是抛体运动

专业术语

抛体运动

projectile motion

将物体以一定的初速度向空中抛出，仅在重力作用下物体所做的运动叫做**抛体运动**。

下面的图片是日常生活中常见的抛体运动现象，你还能举出哪些做抛体运动的实例？



图 1-1-1 各种各样的抛体运动现象

抛体运动的速度方向

如果不是将物体沿竖直方向抛出，而是向远处抛出，如图 1-1-2 所示，物体的运动轨迹将是一条曲线。

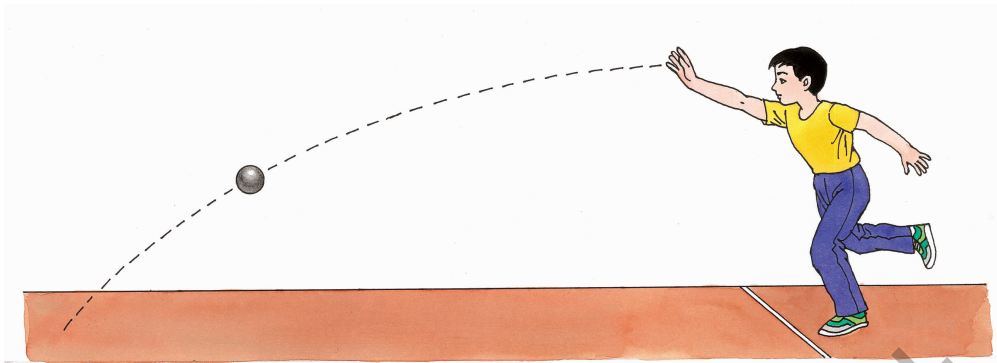


图 1-1-2 向远处抛出的小球沿曲线运动

曲线运动比直线运动更为复杂。做直线运动时，物体的速度方向始终在其运动轨迹的直线方向上，那么，物体做曲线运动时的速度方向如何呢？

在砂轮上打磨刀具时，溅出的火星会沿着砂轮边缘的切线方向飞出，如图 1-1-3 所示；在泥泞道路上启动摩托车时，车轮溅起的泥浆沿其边缘的切线方向飞出，如图 1-1-4 所示。

专业术语

曲线运动

curvilinear motion

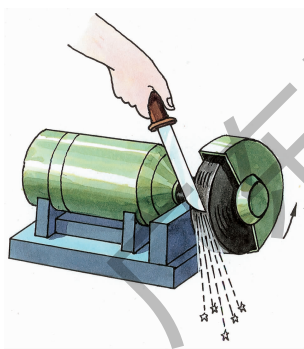


图 1-1-3 火星沿砂轮边缘的切线方向飞出

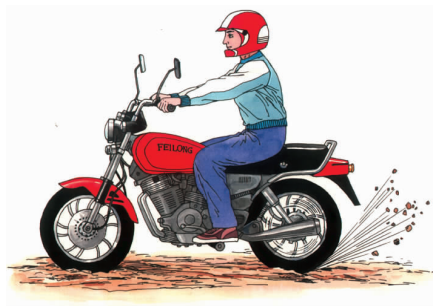


图 1-1-4 泥浆沿车轮边缘的切线方向飞出

大量的事实表明：在曲线运动中，质点在某一时刻（或某一位置）的速度方向就是曲线上这点的切线方向。因此，做抛体运动的质点的速度方向，在其运动轨迹各点的切线方向上，并指向质点前进的方向。

由于曲线上各点的切线方向不同，所以，曲线运动的速度方向时刻都在改变。我们知道，速度是矢量，既有大小，又有方向。不论速度的大小是否改变，只要速度方向发生变化，速度矢量就发生了变化，即具有加速度。所以曲线运动是一种变速运动。

抛体做直线或曲线运动的条件

在生活中，我们看到抛体有的做直线运动，有的做曲线运动。为什么是这样呢？仔细观察和分析下列从不同角度向空中抛出的小球的运动和受力情况（图 1-1-5），并思考下列问题：

1. 在忽略空气阻力的情况下，抛出的小球受到什么力的作用？在图中小球运动的不同位置处标出小球的受力方向。

2. 小球在运动轨迹上不同位置的速度方向如何？在图中小球的不同位置处标出小球运动的速度方向。这些方向与物体受力的方向是不是在一条直线上？

通过以上分析和思考，你能不能得出做抛体运动的小球做直线运动和曲线运动的条件？

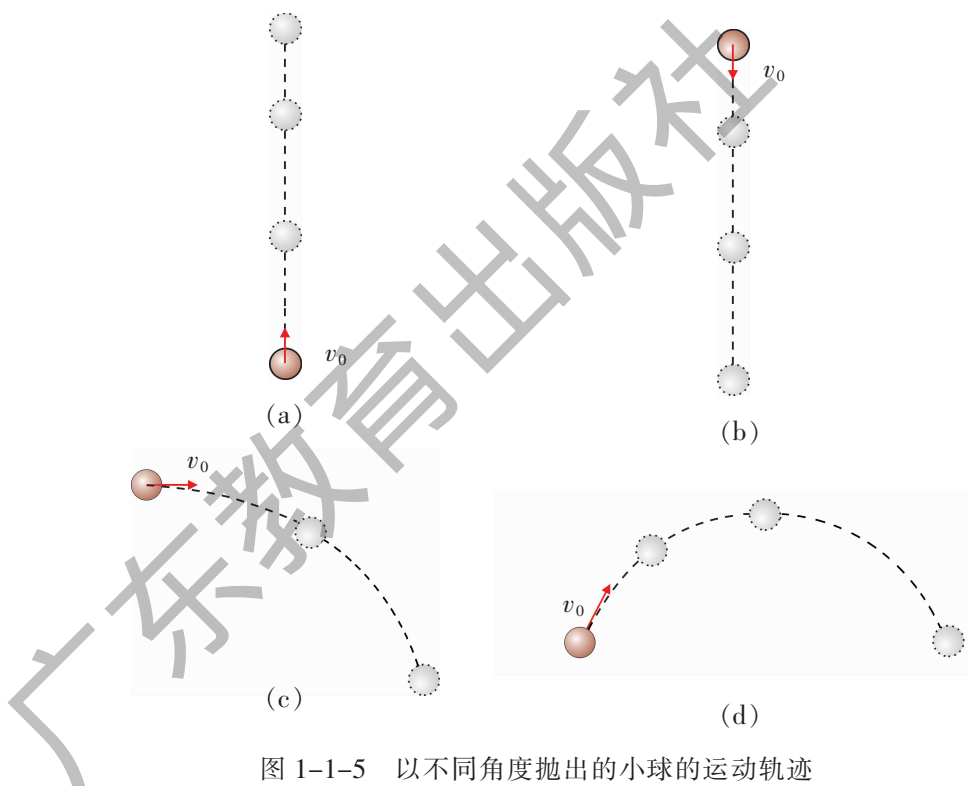


图 1-1-5 以不同角度抛出的小球的运动轨迹

讨论与交流

请你将观察和分析的结果，先与同一小组的同学讨论与交流，然后将讨论与交流得出的结论填入下列横线上。

小球做直线运动的条件：_____。

小球做曲线运动的条件：_____。

通过以上几个抛体运动的例子，我们分析和讨论了物体做曲线运动的条件。那么，在一般情况下，物体做曲线运动的条件是什么？能否作出这样的猜想：当运动物体所受合力的方向跟它的速度方向不在同一直线上时，物体将做曲线运动。我们先从理论来论证上述猜想是否正确，然后再通过实验进行验证。

在直线运动中，物体所受合力的方向与速度的方向总在同一直线上，根据牛顿第二定律，加速度的方向也就与速度的方向在这条直线上，因此，物体无论运动快慢，速度的方向及运动轨迹总是在同一直线上。

如果物体所受合力的方向与速度的方向不在一条直线上，而是成一角度，这时可将合力分解为平行速度方向的分力和垂直速度方向的分力。根据牛顿第二定律，平行速度方向的分力，将在速度平行方向产生加速度，从而改变速度的大小；垂直速度方向的分力，将在与速度垂直方向上产生加速度，从而改变物体原来的运动方向，使物体做曲线运动。因此，物体做曲线运动的条件是：

当物体所受合力的方向与它的速度方向不在同一直线上时，物体做曲线运动。

上述结论是由理论分析得出来的。请参考下面的实验或自己重新设计实验验证上述结论。

实践与拓展

我们选用小铁球、磁铁、铺垫白纸的平滑桌面、圆弧形滑轨、直尺、铅笔等简易器材进行实验。

在实验时，将圆弧形滑轨放在平滑桌面的白纸上，使其底端出口与桌面相切，让小铁球从圆弧形滑轨滚下以获得一定的初速度。为便于观察，在小球出口处沿运动方向用直尺在白纸上画一条直线。实验步骤如下：

1. 让小铁球从圆弧形滑轨的上端滚下，如图 1-1-6 (a) 所示，仔细观察小铁球在桌面上的运动情况，并把实验结果记录在表 1-1-1 中。

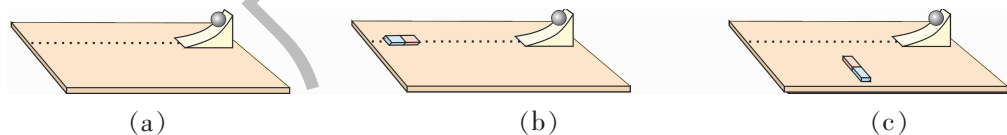


图 1-1-6 探究曲线运动的条件

2. 将条形磁铁放在小铁球运动方向的正前方，如图 1-1-6 (b) 所示，重复步骤 1。

3. 将条形磁铁放在小球运动方向旁的适当位置，如图 1-1-6 (c) 所示，重复步骤 1。

4. 调整磁铁的摆放位置，多次重复步骤 3。

表 1-1-1 实验结果记录

	小球在桌面上所受合力 (F) 方向	小球在桌面上时的速度方向 (v)	合力的方向和速度方向的关系	实验结论
1				
2				
3				
4				

综合以上实验的结果, 我们可以得出以下实验结论: _____

http 我们的网站

1. 游乐场中的曲线运动
2. 牛顿的大胆设想

练习

1. 将一纸片向空中抛出, 这一纸片所做的运动是抛体运动吗? 为什么?
2. 关于曲线运动, 下列说法是否正确? 为什么?
 - (1) 曲线运动一定是变速运动.
 - (2) 曲线运动中的加速度一定不为零, 但可以等于恒量.
 - (3) 曲线运动中的物体, 不可能受恒力的作用.
3. 如图 1-1-7, 若已知物体运动初速度 v_0 的方向及该物体受到的恒定合力 F 的方向, 物体可能的轨迹是 ().

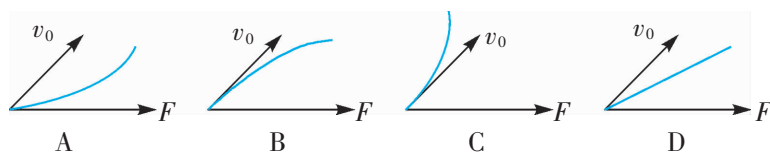


图 1-1-7

4. 做曲线运动的物体, 在运动过程中, 一定变化的物理量是 ().

A. 速率 B. 速度 C. 加速度 D. 合力

5. 一物体从 O 点被抛出后在空中沿一条弧线飞行, 如图 1-1-8 所示. 请在图中画出物体飞行到最高点 A 时的速度方向.

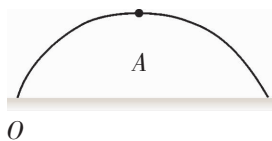


图 1-1-8

第二节 运动的合成与分解

抛体运动是比直线运动更为复杂的曲线运动. 把复杂的运动转化为简单的运动来进行研究, 是物理学处理问题的常用方法. 如何把抛体运动转化为简单的运动来进行研究呢? 本节学习运动的合成与分解是解决这一问题的基本方法.

分运动与合运动

观察与思考

从以下的实验现象中, 你发现了什么?

如图 1-2-1 所示, 用小锤打击弹性金属片, 球 1 沿水平方向飞出.

我们看到, 球 1 经过一段时间, 沿曲线路径从抛出点 A 运动到落地点 D . 球 1 除了竖直方向 AC 上有运动外, 同时还有水平方向 AB 上的运动. 虽然在这段时间内, 球 1 并没有直接在水平方向 AB 和竖直方向 AC 上运动, 但球 1 沿曲线 AD 从 A 点运动到 D 点在效果上相当于水平方向从 A 点运动到 B 点, 以及竖直方向从 A 点运动到 C 点. 这样球 1 从 A 点到 D 点实际发生的运动可以看成上述两个运动合成的结果.

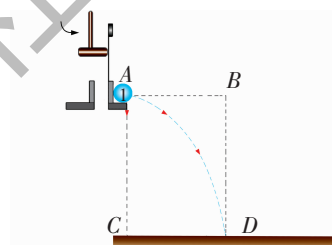


图 1-2-1 合运动与分运动

在物理学上, 如果一个物体实际发生的运动产生的效果跟另外两个运动共同产生的效果相同, 我们就把这一物体实际发生的运动叫做这两个运动的**合运动**, 这两个运动叫做这一实际运动的**分运动**.

讨论与交流

从运动产生的效果来看, 合运动与分运动是一种什么关系? 你能否用自己的话把这种关系表述出来?

专业术语

合运动

resultant motion

分运动

component motion

运动的独立性

观察与思考

仔细观察和思考下面的实验现象, 你从中可以得出什么结论?

如图 1-2-2 所示, 用小锤打击弹性金属片, 球 1 沿水平方向飞出, 同时球 2 被松开, 做自由落体运动. 改变小锤打击金属片的作用力, 使球 1 沿水平方向飞出的初速度大小发生变化, 重复上述实验.

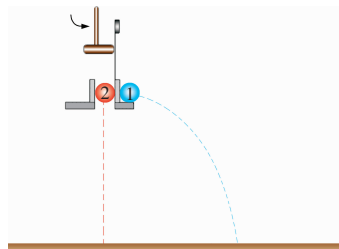


图 1-2-2 运动的独立性

通过实验可观察到, 虽然球 1 和球 2 两球运动的轨迹不同, 一个是曲线, 另一个是直线, 但不论球 1 水平抛出的初速度如何, 两球几乎总是在同一时刻落到地上. 这一实验事实说明, 在同一时间内, 1、2 两球在竖直方向上的运动距离总是相同的. 球 1 除了竖直方向的运动外, 同时还有水平方向的运动, 但水平方向的运动对于竖直方向的运动没有丝毫影响. 也就是说, 这两个方向的运动可以看作是独立进行的, 彼此互不影响. 水平抛出的球 1 的运动正是竖直方向和水平方向两种运动的合运动, 竖直方向和水平方向的运动分别是这一合运动的两个分运动.

专业术语

运动的独立性

independence of motion

合位移

resultant displacement

分位移

component displacement

研究表明, 一个复杂的运动可以看成是几个独立进行的分运动的合运动.

通过上面的分析, 你对合运动和分运动又有哪些新认识?

运动的合成与分解

既然一个运动可以看作是由分运动合成的, 那么, 已知分运动的情况, 就可以知道合运动的情况. 由于位移是矢量, 已知分运动在某段时间内发生的位移, 求这段时间内合运动的位移, 需应用平行四边形定则. 例如, 在上述球 1 的运动中, 合运动的位移 $s = AD$ 叫做**合位移**, 分运动的位移 $s_1 = AB$ 和 $s_2 = AC$ 叫做**分位移**. 合位移 s 是按照平行四边形定则由分位移 s_1 和 s_2 合成的, 如图 1-2-3 所示. 即合位移 s 是两个分位移 s_1 和 s_2 的矢量和.

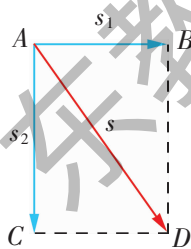


图 1-2-3 合位移 s 是两个分位移 s_1 和 s_2 的矢量和

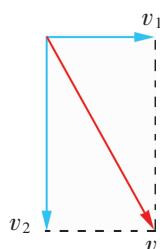


图 1-2-4 合速度 v 是两个分速度 v_1 和 v_2 的矢量和

由上述实验可知, 合运动和分运动是同时发生的, 它们所经历的时间相同. 在球 1 的运动中, 合运动在时间 t 内的平均速度 (即**合速度**) $v = \frac{s}{t}$, 分运动在同一时间内的平均速度 (即**分速度**) 分别为 $v_1 = \frac{s_1}{t}$ 和 $v_2 = \frac{s_2}{t}$. 合速度 v 是两个分速度 v_1 和 v_2 的矢量和, 如图 1-2-4 所示. 设想时间 t 足够短, v 就是合运动在某一时刻的瞬时速度, v_1 和 v_2 就是两个分运动在同一时刻的瞬时速度. 已知分运动求**合运动**, 叫做**运动的合成**.

反之, 已知合运动的情况, 也可以求出分运动的情况. 已知合运动求分运动, 叫做**运动的分解**.

专业术语

合速度

resultant velocity

分速度

component velocity

运动的合成

composition of motion

运动的分解

decomposition of motion

例：篮球运动员将篮球向斜上方投出，投射方向与水平方向成 60° 角. 设其出手速度为 10 m/s ，这个速度在竖直方向和水平方向的分速度各是多大？

分析：如图 1-2-5 所示，篮球斜向上运动可以看成是水平方向和竖直方向的两个分运动的合运动，对 v 进行分解就可求得分速度.

解： $v_x = v \cos 60^\circ = 10 \times 0.5 \text{ m/s} = 5.0 \text{ m/s}$

$v_y = v \sin 60^\circ = 10 \times 0.866 \text{ m/s} \approx 8.7 \text{ m/s}$

通过上面的分析和研究可知，一个合运动可以分解为两个分运动，两个分运动可以合成一个合运动. 若两个分运动都是匀速直线运动，它们的速度矢量是恒定的，则合运动的速度矢量也是恒定的，所以合运动是匀速直线运动. 但在一般情况下，两个直线运动的合运动并不一定都是直线运动. 例如，在图 1-2-1 所示的实验中，球 1 的两个分运动都是直线运动，但球 1 的合运动并不是直线运动，而是曲线运动.

一些常见的曲线运动如抛体运动，往往可以分解为两个方向上的直线运动，只要分别研究这两个方向上的受力及运动情况，就可以知道复杂的曲线运动的规律，这是研究曲线运动的基本方法. 从下一节起，我们将用这种方法进一步具体分析和研究抛体运动的规律.

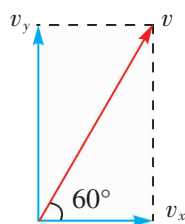


图 1-2-5 速度分解图

若两个分运动都是匀速直线运动，且在同一直线上，速度大小相等、方向相反时，合运动的速度矢量为零，则物体处于静止状态.

讨论与交流

初速度不为零的匀变速直线运动，可以看成在同一直线上哪两个分运动的合运动？

练习

1. 艇在静水中航行的速度是 10 km/h ，当它在流速是 2 km/h 的河水中向着垂直于河岸的方向航行时，合速度的大小和方向怎样？

2. 下列说法是否正确？为什么？

(1) 两个不在同一直线上的匀速直线运动的合运动一定是直线运动.

(2) 两个直线运动的合运动一定是曲线运动.

(3) 两个直线运动的合运动可能是直线运动.

(4) 两个直线运动的合运动可能是曲线运动.

3. 如图 1-2-6 所示的房屋瓦面与水平面成 30° 角，一物体从屋面上滚下，离开屋面时速度大小为 6.0 m/s ，求此时这个速度在水平方向和竖直方向的分速度各是多大？

4. 小船在静水中以恒定的速度运动，现小船要渡过一条小河流，渡河时小船的船头始终向对岸垂直划行. 已知河中心附近水流的速度逐渐增大. 相对于河水的恒定流速，小船渡河时间将 ().

A. 增大 B. 减少 C. 不变 D. 无法确定

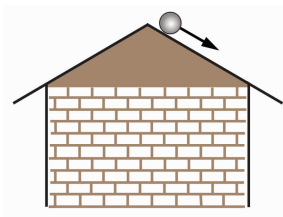


图 1-2-6

第三节 竖直方向的抛体运动

竖直下抛运动

专业术语

竖直下抛运动
vertically downward
projectile motion
竖直上抛运动
vertically upward
projectile motion

把物体以一定的初速度 v_0 沿着竖直方向向下抛出，仅在重力作用下物体所做的运动叫做**竖直下抛运动**。

由于竖直下抛运动的物体只受重力作用，运动轨迹是直线，因此，竖直下抛运动的物体的加速度是重力加速度 g ，竖直下抛运动是初速度不为零的匀加速直线运动。

取竖直向下的方向为正方向，竖直下抛运动在时刻 t 的速度 v_t 和位移 s 分别为

$$v_t = v_0 + gt$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$



讨论与交流

1. 请比较物体所做的竖直下抛运动和自由落体运动，看一看它们之间有什么相同之处和不同之处，并将结果与同学交流后，写在下面的横线上。

相同之处：_____。

不同之处：_____。

2. 从运动合成的角度看，竖直下抛运动可以看作在同一直线上哪两个分运动的合运动？

竖直上抛运动

把物体以一定的初速度 v_0 沿着竖直方向向上抛出，仅在重力作用下物体所做的运动叫做**竖直上抛运动**。

竖直上抛运动由上升以及上升到顶点后下降两个过程组成。

由于竖直上抛运动的物体只受重力作用，运动轨迹是直线，因此，竖直上抛运动的物体的加速度是重力加速度 g ，竖直上抛运动是初速度不为零的匀变速直线运动。

取初速度 v_0 的方向为正方向，竖直上抛运动在时刻 t 的速度 v_t 和位移 s 分别为

$$v_t = v_0 - gt$$

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

 讨论与交流

1. 先画出一个草图，用已学过的知识对做竖直上抛运动物体的运动情况和受力情况作出分析，并用自己的话描述做竖直上抛运动的物体的运动情况。

2. 请比较物体所做的竖直上抛运动和竖直下抛运动，看一看它们之间有什么相同之处和不同之处，并将结果与同学交流后，写在下面的横线上。

相同之处：_____.

不同之处：_____.

3. 从运动合成的角度看，竖直上抛运动可以看作在同一直线上哪两个分运动的合运动？

由于竖直上抛运动涉及上升和下降两个过程，因此在处理竖直上抛运动问题时，有以下两种思路和方法：

其一，分步处理. 上升过程用初速度不为零的匀减速直线运动来计算，下降过程用自由落体公式来计算. 不考虑空气阻力，这两个过程的加速度都等于重力加速度 g .

其二，整体处理. 就整体而言，竖直上抛运动是一种匀变速直线运动，加速度等于重力加速度 g . 因此，我们可以用匀变速直线运动的公式来统一讨论整个竖直上抛运动的速度和位移.

在实际问题中，到底选取哪种方法进行处理，应视解决问题的方便而定.

例 1: 已知竖直上抛的物体的初速度 v_0 ，试求：

(1) 物体上升的最大高度以及上升到最高点所用的时间.

(2) 物体由最高点落回原地时的速度以及落回原地所用的时间.

分析： 本题可采用分步处理. 在上升过程中，物体做匀减速运动. 取初速度 v_0 的方向为正方向. 加速度是重力加速度，方向竖直向下，所以 $a=-g$. 物体的初速度是 v_0 ，上升到最高点时 $v_t=0$ ，因此，利用公式 $v_t^2-v_0^2=2as$ 求出 s ，就得到最大高度；上升到最高点所用的时间 t_1 ，可以用公式 $v_t=v_0+at$ 求出.

在下落过程中，物体做自由落体运动. 取竖直向下的方向为正方向，加速度是重力加速度， $a=g$. 落回原地时的速度 v ，可以用公式 $v^2=2as$ 求出；落回原地所用的时间 t_2 ，可以利用公式 $v_t=at$ 求出.

解： (1) 在上升过程中，已知 v_0 ， $v_t=0$ ， $a=-g$ ，

根据 $v_t^2-v_0^2=2as$ 得到

$$s = \frac{v_0^2}{2g}$$

根据 $v_t=v_0+at$ ，当 $t=t_1$ 时， $v_t=0$ ，由此可得

$$t_1 = \frac{v_0}{g}$$

(2) 在下落过程中, 已知 $s = \frac{v_0^2}{2a}$, $a = g$,

根据 $v_t^2 = 2as$ 得到

$$v = v_0$$

根据 $v_t = at$ 得到

$$t_2 = \frac{v_0}{g}$$

讨论与交流

1. 比较例 1 中的 t_1 和 t_2 、 v 和 v_0 , 你能得出什么结论?

2. 取物体上升过程中通过的某一点, 那么, 物体由这一点上升到最高点所用的时间, 跟物体由最高点落到这一点所用的时间, 两者是否相等? 物体上升到这一点的速度, 跟物体下落时通过这一点的速度, 两者的大小是否相等? 请通过计算比对一下.

3. 请利用简单的方法求解下列问题:

一个竖直上抛的小球, 到达最高点前 1 s 内上升的高度是它上升最大高度的 $\frac{1}{4}$. 求小球上升的最大高度.

例 2: 在离地面 15 m 的高处, 以 10 m/s 的初速度竖直上抛一小球, 求小球落地时的速度和小球从抛出到落地所用的时间. (忽略空气阻力的影响, 取重力加速度 $g=10 \text{ m/s}^2$)

分析: 本题可采用整体处理. 将小球竖直上抛运动的整个过程作为一个整体, 匀变速直线运动的一般公式同样适用于这一过程. 取初速度的方向即竖直向上的方向作为正方向. 加速度是重力加速度, 方向竖直向下, 所以 $a=-g$. 小球位移的方向竖直向下, 位移 $s=-15 \text{ m}$, 小球落地时的速度 v , 可用公式 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ 求出, 小球从抛出到落地所用的时间 t , 可用公式 $v_t = v_0 + at$ 求出.

解: 已知 $v_0=10 \text{ m/s}$, $a=-g=-10 \text{ m/s}^2$, $s=-15 \text{ m}$.

根据 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ 得到

$$v_t = \pm \sqrt{v_0^2 + 2as} = \pm \sqrt{10^2 + 2 \times (-10) \times (-15)} \text{ m/s} = \pm 20 \text{ m/s}$$

由于小球落地时的速度方向竖直向下, 所以取 $v_t = -20 \text{ m/s}$,

根据 $v_t = v_0 + at$ 得到

$$t = \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{-20 - 10}{-10} \text{ s} = 3 \text{ s}$$

即小球落地时的速度为 20 m/s, 方向竖直向下; 小球从抛出到落地所用的时间为 3 s.

 练习

1. 竖直上抛运动的物体，到达最高点时 ().
 - A. 具有向上的速度和向上的加速度
 - B. 速度为零，加速度向上
 - C. 速度为零，加速度向下
 - D. 具有向下的速度和向下的加速度
2. 从地面以 30 m/s 的初速度竖直上抛一球，若不计空气阻力， g 取 10 m/s^2 ，则球运动到距地面 25 m 时所经历的时间可能为 ().
 - A. 1 s B. 2 s C. 4 s D. 5 s

3. 如图 1-3-1 所示，立定跳起摸高是中学生常进行的一项体育运动. 某同学身高 1.80 m ，站立举手达到的高度为 2.20 m ，他起跳后能摸到的最大高度是 2.60 m ，问他的起跳速度是多大？

4. 在公园经常能看见如图 1-3-2 所示的喷泉. 请根据你所学过的知识，估测其中的一支水柱从喷口射出时的速度大小，要求写出估测的依据、估测的方法、喷射速度大小的表达式.



图 1-3-1



图 1-3-2

第四节 平抛运动

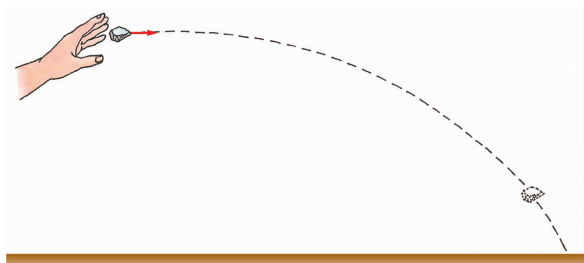
专业术语

平抛运动
horizontal projectile
motion

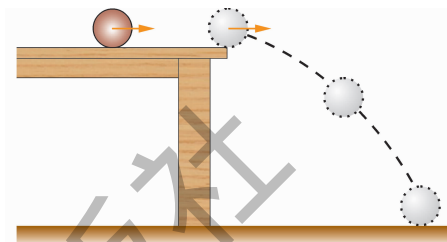
将物体用一定的初速度沿水平方向抛出，仅在重力作用下物体所做的运动叫做**平抛运动**。

讨论与交流

请仔细观察和分析图 1-4-1 中的平抛运动现象，试运用已学过的知识解释这些现象。能否由此总结出平抛运动的特点？



(a) 沿水平方向扔出的石子所做的运动



(b) 被小锤打击后的小球离开桌面后所做的运动

图 1-4-1 平抛运动现象

将结果与同一小组的同学讨论交流后，写在下面的横线上。

- (1) 我观察到的现象是_____，
解释是_____。
- (2) 平抛运动物体的受力是_____，方向是_____，
它的加速度是_____。
- (3) 平抛运动的特点是_____。

平抛运动的分解

从第二节对运动合成的研究和上述对平抛运动的观察分析中，我们知道，平抛运动的物体既有竖直方向的运动，也有水平方向的运动。平抛运动正是竖直方向和水平方向两种运动的合运动，竖直方向和水平方向的两种运动是这一合运动的两个分运动。那么，水平方向和竖直方向的两个分运动是什么性质的直线运动呢？下面我们先通过实验研究这个问题，然后再作出理论分析。

(一) 初步的观察研究

实验与探究

实验装置如图 1-4-2 所示。在一块竖直放置的背景板上固定两个弧形轨道 A、B，用于发射小铁珠。从轨道 A 射出的小铁珠

做平抛运动，从轨道 B 射出的小铁珠做匀速直线运动。此外，板上还装有三个电磁铁 C 、 D 、 E ，其中电磁铁 C 、 D 可分别沿轨道 A 、 B 移动，但每次移动后，均能保证电磁铁 C 、 D 分别离轨道 A 、 B 出口水平线的高度相等。在轨道 A 出口处有一个碰撞开关，用以控制电磁铁 E 的电源的通断。电磁铁 E 可以沿水平杆 MN 移动，当它吸上小铁珠时，该小铁珠的中心与从轨道 A 射出的小铁珠的中心在同一条水平线上。

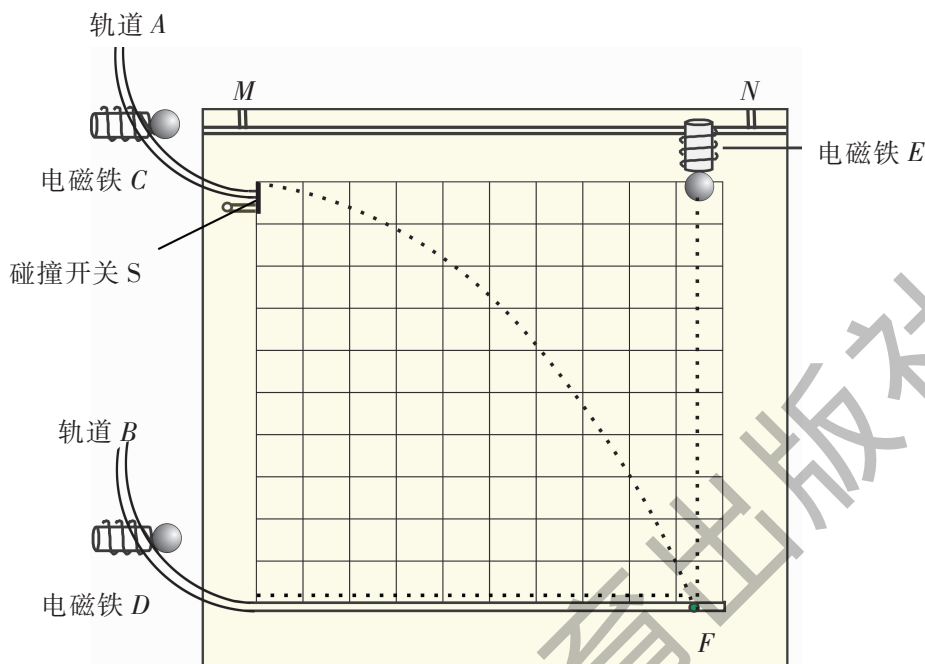


图 1-4-2 平抛仪

1. 研究水平方向上的分运动的性质.

(1) 把两个小铁珠分别吸在电磁铁 C 、 D 上，切断电源，使两个小铁珠以相同的初速度分别从轨道 A 、 B 射出.

(2) 同步改变电磁铁 C 、 D 与轨道出口水平线之间的高度，多次重复以上步骤.

观察到的实验现象: _____.

初步判断是: _____.

证据是: _____.

2. 研究竖直方向分运动的性质.

(1) 把两个小铁珠分别吸在电磁铁 C 、 E 上，切断电磁铁 C 的电源，使一只小铁珠从轨道 A 射出，并在射出时碰撞开关 S ，使电磁铁 E 断电释放它吸着的小铁珠.

(2) 让电磁铁 E 从 N 向 M 移动，调整它的位置，多次重复以上步骤.

观察到的实验现象: _____.

初步判断是: _____.

证据是: _____.

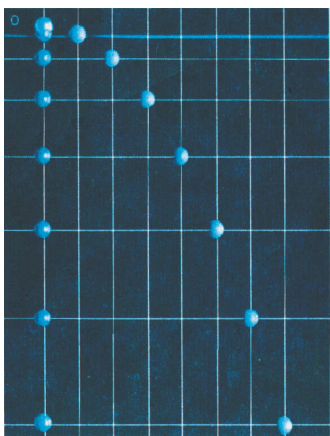


图 1-4-3 平抛运动与自由落体运动的频闪照片

(二) 更精确的实验研究

我们也可以用频闪照相的方法更精确地研究平抛运动的两个分运动的性质. 图 1-4-3 是一幅物体做平抛运动与自由落体运动对比的频闪照片. 通过观察和分析可知, 尽管两个球在水平方向的运动不同, 但它们在竖直方向的运动是相同的, 即在相同时间里, 下落的距离相等 (相同). 仔细测量平抛出去的物体在相等的时间内前进的水平距离, 可以证明平抛运动的水平分运动是匀速的.

(三) 理论的分析与论证

对于上述从实验得出的结论, 我们可以运用牛顿运动定律作出分析和解释. 水平抛出的物体, 由于在水平方向 (即初速度方向) 不受力, 在水平方向没有加速度, 所以, 物体在水平方向的分运动是匀速直线运动, 水平方向的分速度总与平抛运动的初速度相同并保持不变. 在竖直方向, 由于物体只受重力作用, 并且初速度为零, 所以, 物体在竖直方向的分运动是自由落体运动.

综上所述, 我们可以得出如下结论:

平抛运动在水平方向的分运动是匀速直线运动; 在竖直方向的分运动是自由落体运动.

这样, 我们就可以把比较复杂的平抛运动分解为两个简单的直线运动, 从而使问题的研究大大地简化了.

平抛运动的规律

由于平抛物体的运动可以分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动, 因此我们可以很方便地运用运动合成与分解的方法来研究它的运动规律.

1. 平抛物体在任一时刻 t 的位置坐标 x 和 y . 取水平方向为 x 轴, 正方向与初速度 v_0 的方向相同, 取竖直方向为 y 轴, 正方向向下, 取抛出点为坐标原点, 建立如图 1-4-4 所示的直角坐标系. 加速度方向与 y 轴正方向相同, 所以是正值, 即 $a=g$. 物体在任一时刻 t 的位置坐标的表达式为

$$x = v_0 t$$

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

根据这两个表达式, 求出任一时刻物体的坐标, 用平滑曲线把这些坐标点连接起来, 就得到平抛运动的轨迹, 这个轨迹是一条抛物线.

2. 平抛物体在任一时刻 t 的速度 v . 物体以 v_0 的初速度做平抛运动, 经时间 t 到达如图 1-4-4 所示的 A 点. 物体在 A 点的速度方向沿 A 点的切线方向, 如图 1-4-5 所示. 在 A 点的水平分速度 v_x 和竖直分速度 v_y 分别为

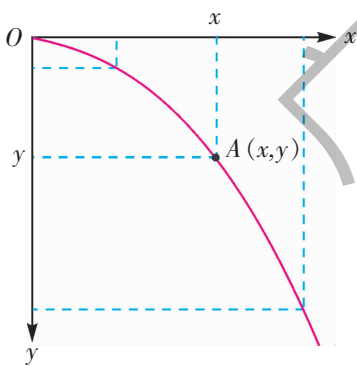


图 1-4-4 平抛运动的轨迹

$$v_x = v_0$$

$$v_y = gt$$

此时刻在 A 点的速度大小为 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ ，方向可以用 v 与 x 轴的夹角 θ 表示，即 $\tan\theta = \frac{v_y}{v_x}$ 。

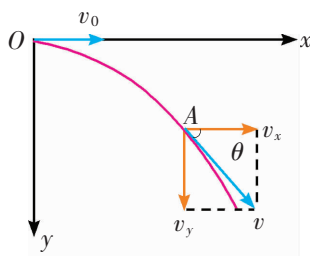


图 1-4-5

 讨论与交流

仔细思考下列问题，并与同学讨论与交流。

1. 在同一高度以不同的速度同时水平抛出的两个质量不同的石子，落地的时间是否相同？抛出的水平距离是否相同？

2. 某人将箭水平射向一个靶子，如图 1-4-6 所示。设箭在水平射出的瞬间，靶子同时从静止开始自由下落，箭能射中靶心吗？为什么？

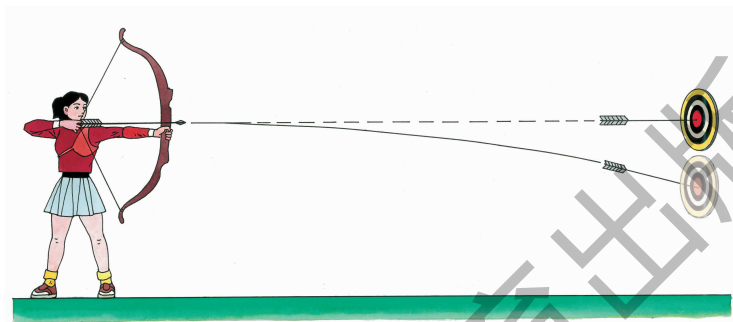


图 1-4-6

 实践与拓展

1. 根据本节的知识，只用卷尺就可以测出玩具手枪子弹射出时的速度。请你设计一个实验，说明实验原理以及需要测定的数据，然后实际操作，测出玩具手枪子弹射出时的速度。

2. 学了本节的知识，你就可以对本章开始提出的“一架水平飞行的运输机，怎样把救援物资投向指定地点”问题作出回答了。假如飞机在离地面 490 m 的高度以 40 m/s 的速度水平飞行。为了使投下的物资落在指定地点，飞机应该在与指定地点的水平距离多远的地方进行投放（不计空气的阻力）？请先作出定性的推理，然后再进行定量的计算。

 我们的网站

1. 伽利略对抛体运动的研究
2. 实验演示：平抛运动

 练习

1. 如图 1-4-7 所示，一位投飞镖的人想投中靶子的中心，可他瞄准时却对准靶中心的上方，这是为什么？

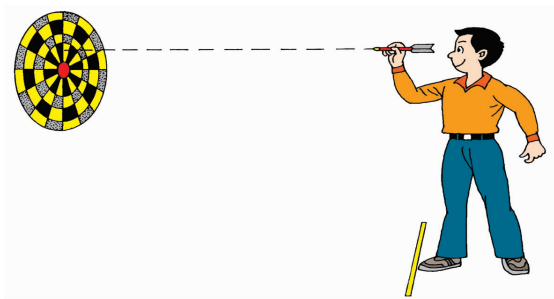


图 1-4-7

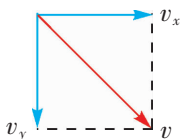


图 1-4-8

2. 如图 1-4-8 是平抛物体落地时速度的合成图. 从抛出到落地这一过程中物体速度改变量的大小 Δv 等于_____.

3. 决定一个平抛运动的总时间的因素是 ().

- A. 抛出时的初速度
- B. 抛出时的竖直高度
- C. 抛出时的竖直高度和初速度
- D. 以上均不正确

4. 滑雪运动员以 20 m/s 的水平速度从一山坡飞出, 问经过多长时间又落到斜坡上. 已知斜坡与水平面成 45° 角, 取 $g=10 \text{ m/s}^2$.

5. 如图 1-4-9 所示, 从地面上方某点, 将一小球以 10 m/s 的初速度沿水平方向抛出, 小球经过 1 s 落地, 不计空气阻力, 取 g 为 10 m/s^2 . 根据题中所提供的信息, 你能求出哪些相关的物理量?

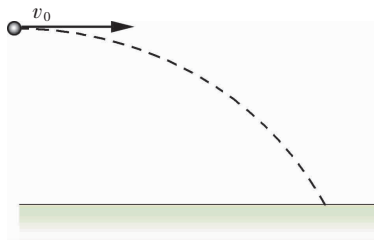


图 1-4-9

第五节 斜抛运动

将物体用一定的初速度沿斜上方（或斜下方）抛出去，仅在重力作用下物体所做的运动叫做**斜抛运动**。本节重点研究斜上方的斜抛运动的规律。

斜抛运动是日常生活中常见的物理现象，如踢出的足球、投出的标枪等，它们的运动都属于斜抛运动，如图 1-5-1 所示。斜抛运动的知识在生活、体育、农业、消防、军事、航天等领域都有着广泛的应用。

专业术语

斜抛运动
oblique projectile
motion

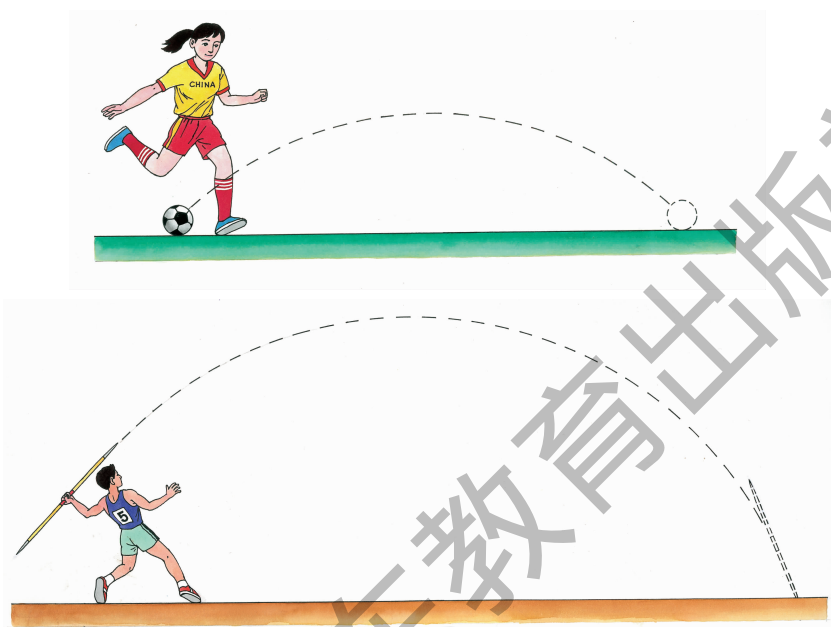


图 1-5-1 斜抛运动现象

与物体做平抛运动的情况相似，物体做斜抛运动时只受到重力作用，所以它的加速度是重力加速度 g 。但受到的重力方向与速度方向不在一条直线上，所以斜抛运动是曲线运动。

斜抛运动的分解

与平抛运动一样，斜抛运动也可以分解为水平方向和竖直方向的两个分运动。设斜抛物体的初速度为 v_0 ，其方向与水平方向成 θ 角，如图 1-5-2 所示，我们把 v_0 分解为水平方向的分速度 $v_{0x}=v_0 \cos\theta$ 和竖直方向的分速度 $v_{0y}=v_0 \sin\theta$ 。在水平方向，物体不受力，没有加速度，物体做匀速直线运动，速度恒等于 v_{0x} ；在竖直方向，物体仅受重力作用，初速度等于 v_{0y} ，物体做竖直上抛运动。这样，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竖直上抛运动的合运动。

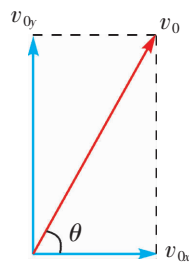


图 1-5-2 斜抛运动初速度的分解

讨论与交流

能否把竖直上抛运动和平抛运动看作是斜抛运动的特例?

斜抛运动的规律

由于物体的斜抛运动可以分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的竖直上抛运动,因此我们可以很方便地运用运动合成与分解的方法来研究它的运动规律.

1. 斜抛物体在任一时刻 t 的位置坐标 x 和 y . 取水平方向为 x 轴, 正方向与 v_{0x} 的方向相同, 取竖直方向为 y 轴, 正方向向上, 取抛出点为坐标原点, 建立如图 1-5-3 所示的直角坐标系. 加速度方向与 y 轴正方向相反, 总是负值, 即 $a=-g$. 物体在任一时刻 t 的坐标的表达式为

$$x = v_0 \cos \theta \cdot t$$

$$y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

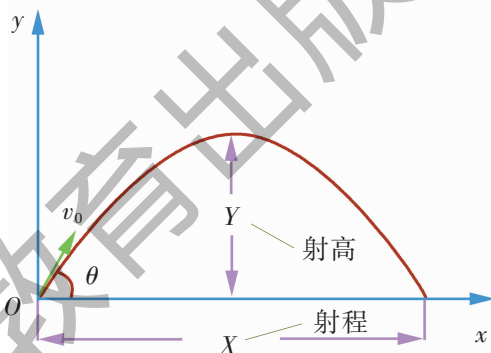


图 1-5-3 斜抛物体的运动轨迹

根据以上两个表达式, 可以求出任一时刻物体的坐标, 用平滑曲线把这些坐标连接起来, 就得到斜抛运动的轨迹, 这个轨迹是一条抛物线.

2. 斜抛物体在任一时刻 t 的分速度 v_x 和 v_y 为

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \theta$$

$$v_y = v_0 \sin \theta - g t$$

射程与射高

在斜抛运动中, 从物体被抛出的地点到落地点间的水平距离叫做**射程**, 用符号 X 表示. 从抛出点的水平面到物体运动轨迹最高点间的高度差叫做**射高**, 用符号 Y 表示. 从物体被抛出到落地所用的时间叫做**飞行时间**, 用符号 T 表示.

斜抛物体的射程和射高跟哪些因素有关呢? 下面我们就利用第三节的竖直上抛知识和本节的知识对上述问题作出理论分析和研究.

专业术语

射程

range of projectile

射高

height of projectile

飞行时间

flight time

从斜抛物体运动的分解可知，斜抛物体的射程由水平方向的分速度和飞行时间来决定，只要求出物体在飞行时间内在水平方向发生的位移，就可以得到斜抛物体的射程；斜抛物体的射高由竖直方向的分运动来决定，只要求出初速度为 v_0 的竖直上抛运动的最大高度，就得到了斜抛运动的射高。

设斜抛物体的初速度为 v_0 ，抛射角为 θ ，若不考虑空气的阻力，根据上述分析的思路，运用已学过的知识，就可以导出斜抛运动物体的飞行时间、射高和射程的表达式。

当 $t=T$ 时， $y=0$ ，由 $y=v_0\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$ 可得

$$T=\frac{2v_0\sin\theta}{g}$$

当 $y=Y$ 时， $t=\frac{v_0\sin\theta}{g}$ ，代入 $y=v_0\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$ 可得

$$Y=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$$

当 $x=X$ 时， $t=T$ ，将 T 值代入 $x=v_0\cos\theta\cdot t$ 可得

$$X=\frac{2v_0^2\sin\theta\cos\theta}{g}=\frac{v_0^2\sin 2\theta}{g}$$



讨论与交流

根据上述表达式，我们是否可以确定影响斜抛物体的射程和射高的因素，以及射程和射高与这些因素之间的具体关系？把你的想法和同学一起讨论与交流，看一看有什么新的收获。

弹道曲线

在上面的研究与讨论中，我们没有考虑空气阻力。实际上，抛体运动总要受到空气阻力的影响。空气阻力影响的程度除了与抛体本身的形状、空气的密度有关以外，还与抛体的速率有关。一般来说，物体的速率低于 200 m/s 时，可认为阻力与物体速率的二次方成正比；速率达到 400~600 m/s 时，空气阻力和速率的三次方成正比；在速率很大的情况下，阻力与速度大小的高次方成正比。总之，物体运动的速率越小，空气阻力影响的程度就越小，抛体运动就越接近理想情况。例如，若不计空气阻力，某低速迫击炮的理想射程可达 360 m，实际上最远射程约为 350 m，这时空气阻力的作用处于次要地位；而加农炮弹的速度很大，在不计空气阻力时，其理想射程能达 46 km，而实际上只能达到 13 km 左右，这时空气的阻力是不能忽视的。

图 1-5-4 中的虚线是在没有空气的理想空间中炮弹飞行的轨迹；实线是以相同的初速率和抛射角射出的炮弹在空气中飞行的轨迹，这种曲线叫做**弹道曲线**。由图中可见，弹道曲线和抛物线是不同的，由于空气阻力的影响，弹道曲线的升弧和降弧不再对称，升弧长而平伸，降弧短而弯曲。

专业术语

空气阻力

air resistance

弹道曲线

ballistic curve

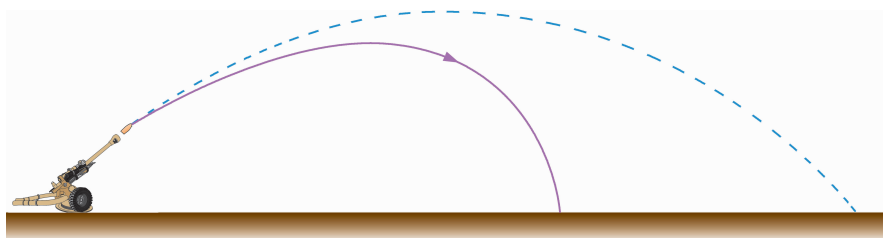


图 1-5-4 弹道曲线

虽然抛体在空气中是沿弹道曲线飞行的，但我们通过对理想状况下抛体运动规律的研究，为进一步研究各种不同的阻力对抛体运动产生的影响奠定基础。

实践与拓展

1. 利用本节所学的知识，你就可以研究本章开始时提出的第二个问题。请你设计一个实验方案，研究一下抛射角和抛射初速度对射程产生的影响。把你的实验方案详细地记录下来，然后和同学讨论一下。根据和同学讨论的结果，补充或修改你的实验方案，形成正式的实验方案，用以开展实验活动。在实验过程中，如果发现方案不合适，应该及时调整。在得出你的实验结论后，与同学一起论证你的结论是否合理，最后形成大多数人可以接受的结论。并到运动场上实践一下，比如投掷铅球或铁饼，和你的实验结论相比较，看一看有没有新的发现，能不能找到投掷取得最佳成绩的诀窍。

2. 估测自己立定跳远的成绩。实地试跳一下，看看估测得是否准确。

3. 用模拟实验来观察弹道曲线，如图 1-5-5 所示，在自制的弹簧发射器中放一小橡胶球，观察小橡胶球发射后在空中经过的路径；将小橡胶球换成乒乓球，观察乒乓球发射后在空中经过的路径。由于乒乓球在空中运行时受空气阻力的影响大，所以它在空中的轨迹与弹道曲线相似。

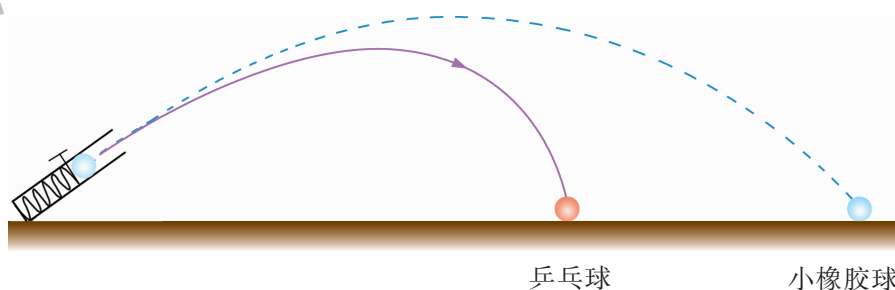


图 1-5-5 模拟炮弹发射

4. 收集一两个应用了抛体运动的例子（如农业上的喷雾灌溉、消防上的喷水救火、公园里的喷泉等）和有关的技术参数，应用抛体运动知识对它们的设计进行分析和评价，看一看有没有可以改进的地方。



资料活页

以多大仰角掷物射程最远

在以上斜抛运动的学习中，我们假设抛点与落地点在同一水平面，且不计空气阻力的影响。但事实上，在很多情况下，投掷点与落地点是有一定高度差的，且空气阻力也有影响，所以用多大仰角向上投掷物体时射程最大，要视具体情况而定。下面表格中的数据是部分投掷类运动的最佳仰角。

抛掷类别	铅球	铁饼	标枪	链球
最佳仰角	$38^{\circ}\sim 42^{\circ}$	$30^{\circ}\sim 35^{\circ}$	$28^{\circ}\sim 33^{\circ}$	$42^{\circ}\sim 44^{\circ}$

我们的网站

演示实验：斜抛运动

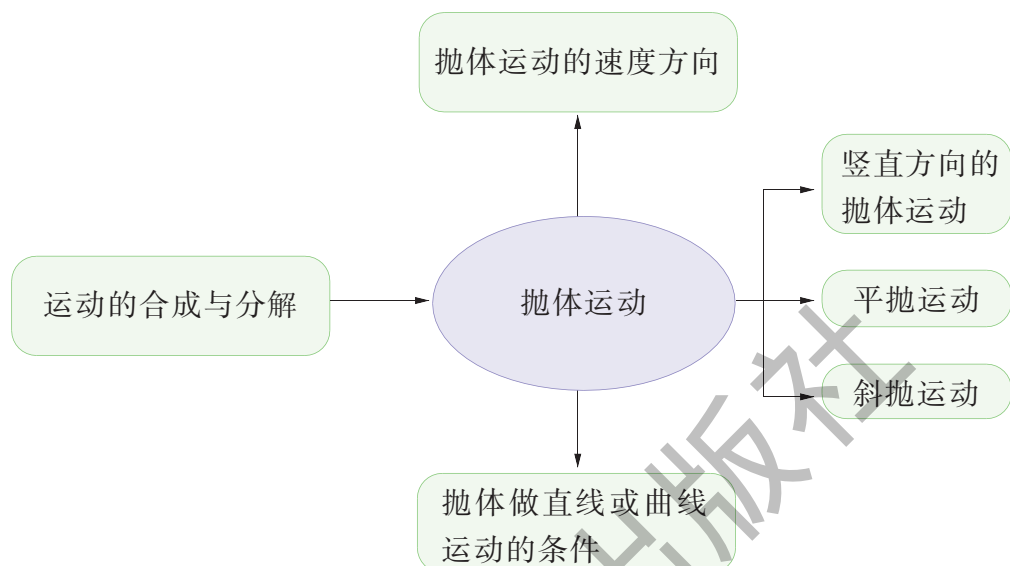


练习

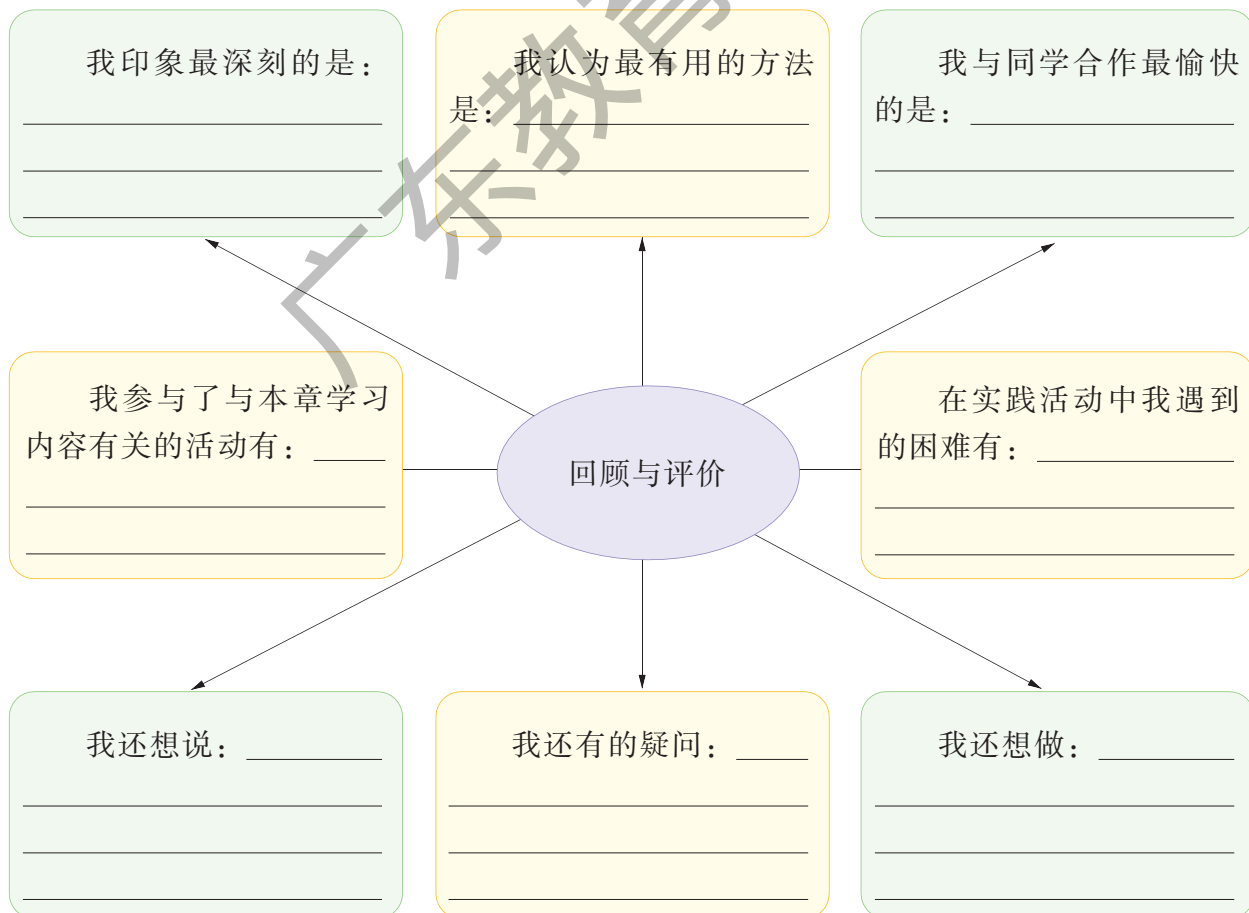
1. 举出在你的生活中观察到的斜抛运动的几个例子。
2. 向斜上方抛出一个石子，观察石子的运动，粗略地绘出石子的运动轨迹，并说明石子为什么不沿着抛出的方向做直线运动。
3. 向斜上方抛出一物体，在物体运动到最高点时，物体的速度（ ）。
 - A. 为零
 - B. 不为零，方向竖直向上
 - C. 不为零，方向竖直向下
 - D. 不为零，方向沿水平
4. 向斜上方抛出一物体，1 s 末物体到达最高点时的速度为 7.5 m/s ，若取 g 为 10 m/s^2 ，求物体刚抛出时的初速度大小。

本章小结

一、知识结构



二、回顾与评价



习 题 一

1. 雨点以 3 m/s 的速度竖直下落，行人感到雨点与竖直方向成 30° 角迎面打来，那么人行走的速度是多少？

2. 如图 1-1 所示，一船自 A 点过河，船速 v_1 方向垂直河岸， 10 min 船到达 C 点，已知 $DC=120 \text{ m}$. 如果以大小为 v_1 ，方向与 AD 成 α 角航行，则经过 12.5 min 船到达 D 点. 求：(1) α 的大小. (2) 水速 v_2 . (3) 船速 v_1 . (4) 河宽 s .

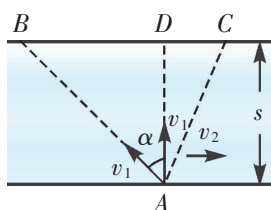


图 1-1

3. 纵跳仪是用来测试人体能的一种仪器，人用力向上从垫板上竖直跳起，过一会儿又落回到垫板上，此时仪器上会显示跳起的最大高度. 如果某人纵跳时，仪器显示的高度为 50 cm . 请问这个人的起跳速度是多大？他在空中的时间是多少？

4. 在室外以一定的初速度竖直上抛的弹性小球经过 3 s 回到手中. 第二次在室内以同样的初速度上抛，遇到天花板被弹回落到手中，所花时间是 0.6 s （碰撞时间不计，碰撞前后速度大小不变， g 取 10 m/s^2 ），求天花板离抛出点的高度.

5. 已知排球网高 2.25 m ，一运动员练习时在网前用力扣球，使球竖直向下运动，经 0.1 s 到达地面. 问球被扣后向下运动的初速度和到达地面时的速度分别为多大？取 $g=10 \text{ m/s}^2$.

6. 物体做平抛运动时，它的速度方向与水平方向的夹角为 α ，则正切 $\tan\alpha$ 随时间 t 的变化图象是图 1-2 中的哪一个？

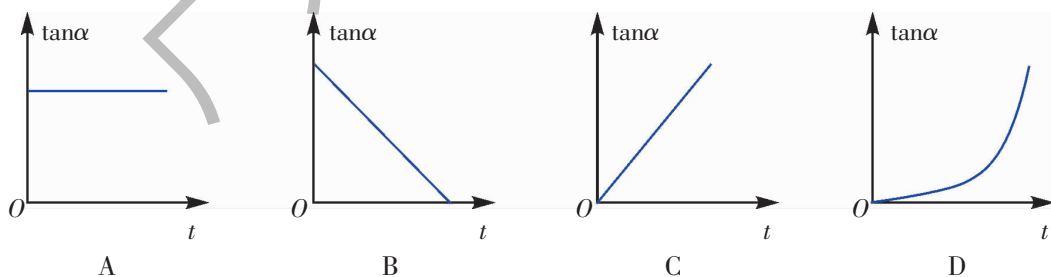


图 1-2

7. 在桌面上放一个小球，给小球一水平的冲击力，使小球沿桌面滚动，并从桌面边缘水平抛出，要测得水平抛出时的速度，应该取得什么数据？实际做一下，并求出小球抛出时的速度.

8. 将小球以 3 m/s 的速度平抛出去，它落地时的速度为 5 m/s ，求小球在空中运行的时间及位移. (g 取 10 m/s^2)

9. 一个做斜抛运动的物体，它能到达的最大高度是 20 m ，水平射程是 30 m ，则抛出点与最高点之间的距离是 ().

- A. 15 m B. 25 m C. 35 m D. 约 36 m

10. 一个物体在多个力的作用下处于平衡状态. 现撤去其中的一个力, 请分析讨论该物体在撤去这个力后将做什么运动.

11. 如图 1-3 所示, 两层台阶的高度分别为 $h_1 = 1.25 \text{ m}$, $h_2 = 1.95 \text{ m}$, 第一层台阶的宽度为 $l = 1.5 \text{ m}$. 现以 $v_0 = 2 \text{ m/s}$ 的初速度从台阶最上层的 A 处水平抛出一个小球, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 问小球第一次着地处距 A 的水平距离是多少?

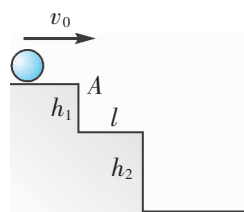


图 1-3

某同学对此问题的解法为: 小球抛出后, 将做平抛运动, 在竖直方向可认为小球做自由落体运动, 抛出点到地面的水平距离为 $h = h_1 + h_2$, 则小球从抛出到落到地面所用的时间可由自由落体的运动规律 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 求得

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2(h_1+h_2)}{g}}$$

在水平方向可认为小球做匀速直线运动, 则小球着地处距 A 的水平距离为

$$x = v_0 t$$

问: 你是否同意该同学的解法? 如果同意, 求出 x ; 如果不同意, 则说明理由并写出你认为正确的解答及结果.

12. 一架向灾区投放救援物资的飞机, 在离地面 180 m 的低空以 40 m/s 的速度匀速飞行, 每隔 1 s 放一包救援物资, 当最后一包 (即第七包) 物资离开飞机时, 第一包物资刚好着地. 如果以第二包物资的着地点为坐标原点, 飞行方向为横坐标轴的正方向, 建立平面坐标, 当第三包物资着地时, 试将各包物资在图 1-4 的坐标中标出. 空气阻力不计, g 取 10 m/s^2 .

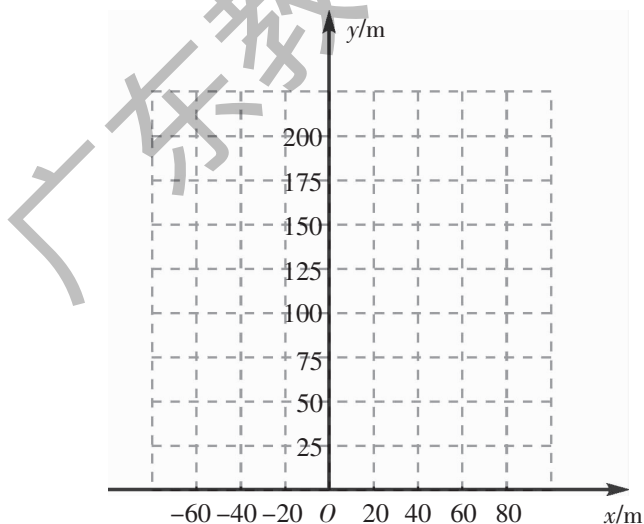


图 1-4

13. 如图 1-5 所示, 从倾角为 θ 的足够长的斜面上的一点 A, 先后将同一物体以不同的初速度水平向右抛出, 第一次的初速度为 v_0 , 球落到斜面上时速度方向与斜面的夹角为 α . 第二次的初速度为 $2v_0$, 球落到斜面上时速度方向与斜面的夹角为 β . 试证明 $\beta = \alpha$.

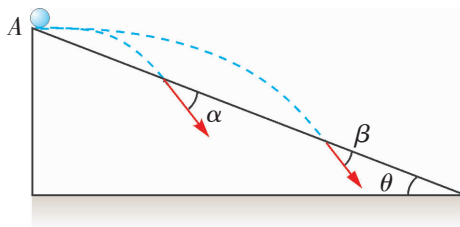


图 1-5

第二章

圆周运动

人类很早以前就在劳动、生产实践活动中认识了圆周运动，并将其广泛应用于日常生活和工农业生产之中。早在公元前 31 年，我国西汉时期就应用平向水轮，通过滑轮和皮带推动风箱，为炼铁炉鼓风。瓦特在 1782 年成功研制了具有连杆、飞轮和离心调速器的双向蒸汽机，可以把直线运动变为连续的圆周运动，经过传动设备带动机器运转，给整个工业和交通运输业提供了一种可靠的通用动力。

圆周运动是一种常见的机械运动形式，在圆周运动中，最简单的是匀速圆周运动。在本章中，同学们将从匀速圆周运动入手，认识圆周运动的特征和描述匀速圆周运动的物理量，探究物体做圆周运动的条件，并应用牛顿运动定律分析解决生活中的圆周运动问题，进而体会牛顿运动定律的普适性。



第一节 匀速圆周运动

认识圆周运动

专业术语

圆周运动

circular motion

如果质点的运动轨迹是圆，那么这一质点的运动就叫做**圆周运动**。

下面的图片是日常生活和生产中常见的物体转动的实例。这些转动物体上的各点都在做圆周运动。



图 2-1-1 钟表的指针

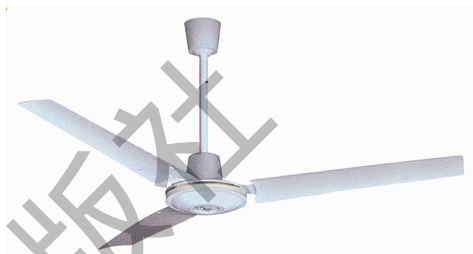


图 2-1-2 风扇转动时的叶片



图 2-1-3 计算机读写数据时硬盘的盘片

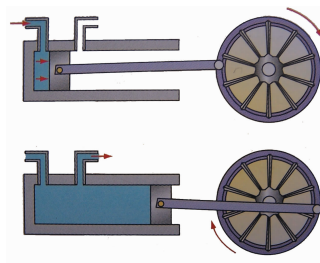


图 2-1-4 蒸汽机工作时的转轮

讨论与交流

你还见过哪些物体做圆周运动？你对圆周运动有什么认识？

质点沿圆周运动，如果在相等的时间内通过的圆弧长度相等，那么，这种运动就叫做**匀速圆周运动**。匀速圆周运动是圆周运动中最简单的运动。

我们曾用位移、速度和加速度这些物理量来描述直线运动，是否也可以用这些物理量来描述匀速圆周运动呢？

观察与思考

仔细观察自行车车轮（如图 2-1-5）转动时车轮上某一点的运动，并思考下列问题：

1. 该点在经过一段时间 t 后，它在圆周轨道上的位置如何确定？

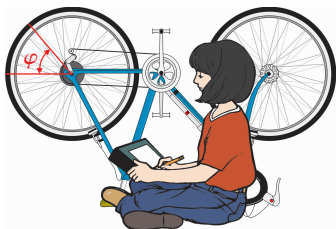


图 2-1-5 自行车轮胎上某点转过的弧长总是与该点的半径转过的角度对应

2. 如何判断该点在圆周轨道上的运动快慢?
3. 根据你的观察, 能不能找出匀速圆周运动区别于直线运动的最显著的运动特征?

匀速圆周运动是比直线运动更为复杂的曲线运动, 有不同于直线运动的一些新的特点, 为了方便地描述匀速圆周运动, 需要引入一些新的物理量.

如何描述匀速圆周运动的快慢

在质点做直线运动时, 我们曾用速度表示运动的快慢. 同样, 在质点做匀速圆周运动时, 我们也可以用速度来表示匀速圆周运动的快慢, 这个速度叫做**线速度**. 线速度 v 的大小用质点通过的弧长 l 跟通过这段弧长所用时间 t 的比值来表示, 则有

$$v = \frac{l}{t} \quad (2.1.1)$$

线速度不仅有大小, 也有方向 (如图 2-1-6). 线速度的方向在圆周该点的切线方向上 (如图 2-1-7). 匀速圆周运动是线速度大小不变的圆周运动. 在匀速转动的皮带传动轮 (皮带不打滑) 中, 如图 2-1-8, 轮子边缘各点的线速度大小与皮带传动的速度大小相等.



图 2-1-6 火星沿砂轮的切线飞出

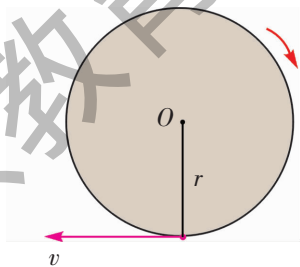


图 2-1-7 线速度的方向在圆周该点的切线方向上

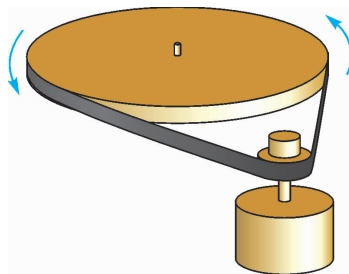


图 2-1-8 皮带传动轮

专业术语

线速度

linear velocity

在前面的“观察与思考”中, 我们看到, 当自行车车轮匀速转动时, 自行车每根辐条的转动情况完全相同. 虽然同一辐条上各点的线速度不同, 但每根辐条在相同的时间内转过的角度相等. 为了表示匀速圆周运动的这一特征, 我们需要引进一个新的物理量——**角速度**. 如图 2-1-9 所示, 角速度 ω 的大小用质点做匀速圆周运动时, 质点所在半径转过的角度 φ 跟所用时间 t 的比值来表示, 则有

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \quad (2.1.2)$$

对某一确定的匀速圆周运动来说, φ 与 t 的比值 ω 是恒定不变的. 所以, 匀速圆周运动也是角速度不变的圆周运动.

专业术语

角速度

angular velocity

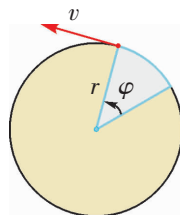


图 2-1-9

专业术语

周期

period

转速的单位 r/s 和 r/min 都不是国际单位制中的单位，计算时一般要把它换算成 rad/s 。

角速度的单位由角度和时间的单位决定。国际单位制中，角速度的单位是弧度每秒，符号是 rad/s 。

匀速圆周运动还有一个重要特征：它是一种周期性的运动，即圆周上任意点每经过一定的时间，又回到原来的位置，其瞬时速度的大小和方向也与原来的大小和方向一样。因此，匀速圆周运动的快慢也可用周期来描述。**周期**是指匀速圆周运动的物体运动一周所用的时间，用符号 T 表示。周期长，说明物体运动得慢；周期短，说明物体运动得快。

实际中也常用转速来描述匀速圆周运动的快慢，所谓转速，是指单位时间内转过的圈数，常用符号 n 表示。转速的单位是转每秒，符号是 r/s ；或者转每分，符号是 r/min 。

线速度、角速度、周期之间的关系

线速度、角速度、周期都可以用来描述匀速圆周运动的快慢，它们之间一定存在某种关系，这种关系是什么呢？设某一物体沿半径为 r 的圆周做匀速圆周运动，用 v 表示线速度， ω 表示角速度， T 表示周期。

在一个周期 T 内，做匀速圆周运动的物体通过的弧长为 $2\pi r$ ，转过的角度为 2π ，则

线速度与周期之间的关系为

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (2.1.3)$$

角速度与周期的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.1.4)$$

由 (2.1.3) 式和 (2.1.4) 式可得出线速度与角速度的关系为

$$v = \omega r \quad (2.1.5)$$

由以上三式可以看出描述匀速圆周运动快慢的三个物理量之间的关系。(2.1.5) 式表示，在匀速圆周运动中，线速度的大小等于角速度大小与半径的乘积。

 讨论与交流

1. 从上述关系中，你能不能说出线速度、角速度和周期在描述匀速圆周运动快慢时的不同之处？
2. 有人说，匀速圆周运动是线速度不变的运动，你对此有何看法？

 实践与拓展

1. 现在很多同学上学骑的自行车是可变速的。请你仔细观察一部变速自行车，并了解它是如何实现变速的。
2. 如图 2-1-10 是一盒磁带及其传动的示意图，仔细观察磁

带传动的全过程,看看两个转轴转动的角速度有什么不同.为什么磁带上的各点都以相同的速度经过磁头?

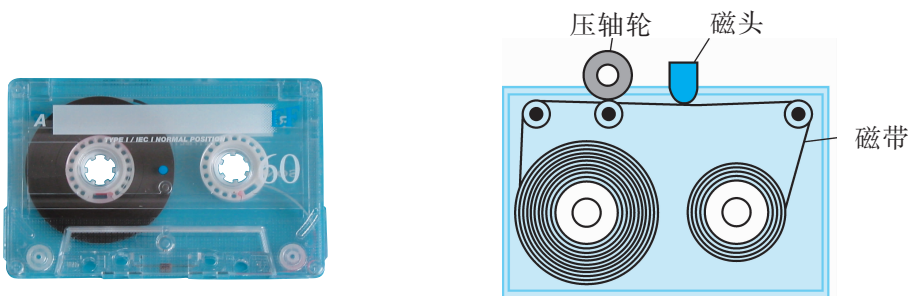


图 2-1-10 磁带及其传动示意图

资料活页

机械传动

我国勤劳勇敢的祖先们,在生产实践中利用他们的聪明才智,发明了古老的齿轮传动和皮带传动.山西省永济县(现永济市)就曾经出土过秦代的齿轮.明代出版的《天工开物》一书中,就有牛力齿轮翻车的图画(如图 2-1-11).不过,古代的轮和齿都是用木头做的.

齿轮传动是靠两个齿轮密切地咬合在一起传递动力的.由动力直接带动的轮子,叫做主动轮;被主动轮带动的轮子,叫被动轮(也叫从动轮).古人早已懂得利用主动轮和被动轮的大小不同来达到改变转速的目的.

齿轮传动的最大缺点是,齿轮与齿轮只能相互咬合来传递动力,不能将它们分开,而且被动轮的转动方向总是与主动轮相反.

使主动轮和被动轮分离的创造,可以从我国汉代古墓一幅表现纺织女纺纱的情景的壁画上看到(如图 2-1-12).纺车上,一根绳圈连带着一个直径很大的纺轮和一个直径很小的纺锤.纺纱女只要轻轻摇动那个巨大的纺轮,那根绳圈就会牵动着另一头的纺锤骨碌碌地飞快转动.真应该感谢两千年以前我国的发明家,他们为纺纱女设计了这样一种巧妙的机械,用轻巧的绳圈达到了传递动力和改变转速的目的.

现代的皮带传动,原理和古老的纺车是一样的.两个皮带轮被一

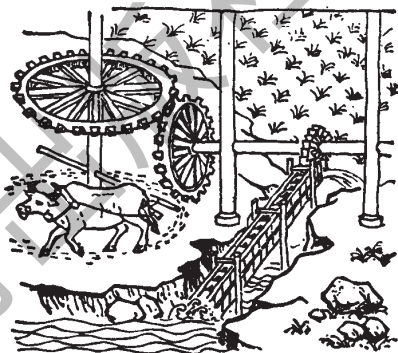


图 2-1-11 牛力齿轮翻车



图 2-1-12 古老的纺车

条绷紧的皮带圈联结在一起，靠着轮子和皮带之间的摩擦力，动力可以由主动轮带动皮带，传递到被动轮上。缝纫机上就有这种装置。

皮带传动的缺点是，如果皮带绷得不紧，往往会发生“丢转”或“打滑”的现象，达不到规定的转速，甚至发生空转。

自行车的链条传动综合了齿轮传动和皮带传动的优点。脚踏装置在中轴上，用链子来带动齿轮。这样，人就可以坐在两个车轮之间，用脚踏动前面的链轮，通过链条，使动力传到后轮。既达到了使齿轮分开的目的，又使齿轮的轮齿一个挨着一个卡在链孔里传动，避免了皮带打滑的缺点。不过，链条传动的动力不能太大，不然，链子就会拉坏，一般只有自行车、三轮车等动力比较小的传动装置才会用它。

练习

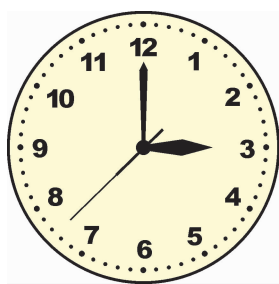


图 2-1-13

1. 在如图 2-1-13 所示的时钟中，秒针、分针和时针的转动周期分别是多少？角速度又是多少？在图中标出秒针的尖端经过“3”、“6”、“9”、“12”时刻的速度方向。如果要知道秒针、分针和时针尖端处的线速度大小，还需要知道什么物理量？算一算你家中的时钟或你自己的指针式手表各指针尖端处的线速度大小。

2. 对于做匀速圆周运动的物体，下面的说法是否正确？为什么？

- (1) 速度不变。
- (2) 速度的大小不变。
- (3) 角速度不变。
- (4) 周期不变。

3. 如图 2-1-14 为一皮带传动装置，在传动过程中皮带不打滑。试比较轮上 A、B、C 三点的线速度、角速度大小。

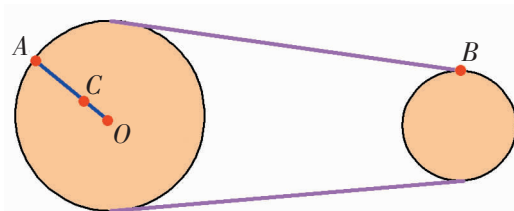


图 2-1-14

4. 地球半径约为 6400 km，地球赤道上的物体随地球自转的角速度是多少？线速度是多少？

第二节 向心力

我们从日常经验和观察中知道，在水平湿滑的道路上转弯时，无论是骑车还是驾车，都要减速行驶；在高速公路和铁轨的弯道处，路基都要设计成倾斜的。你知道这其中的奥秘吗？要明白其中的道理，我们必须弄清楚物体做圆周运动的条件是什么，怎样才能满足这些条件。这就是我们这一节要研究的问题。

感受向心力

观察与思考

仔细观察下面的实验现象，思考小球为什么会做圆周运动。

如图 2-2-1 所示，在绳的一端系一小球，另一端用手牵住绳头让小球在光滑的桌面上做匀速圆周运动。这时，你牵绳的手有什么感觉？如果增大或减小小球的线速度，手的感受有什么变化？如果松手，将会发生什么现象？

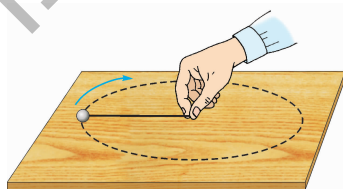


图 2-2-1

匀速圆周运动是曲线运动，所以，做匀速圆周运动的物体必定受到与速度方向不在同一直线上的合力作用。在上面的实验中，我们的体验也确实如此，正是这个合力的作用使小球的运动方向不断改变，使它始终维持在圆周轨道上。虽然这个力的方向是不断变化的，但总是沿半径指向圆心，这个力叫做**向心力**。

实验与探究

向心力的大小与哪些因素有关？



专业术语

向心力
centripetal force

向心力的方向沿半径指向圆心，和质点的运动方向垂直。向心力不改变质点速度的大小，只改变速度的方向。

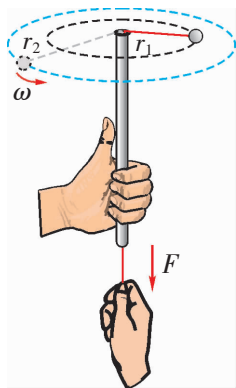


图 2-2-2 感受向心力大小与什么有关

器材：质量不同的小物体若干，空心圆珠笔杆，细线（长约 60 cm）。

实验设计：如图 2-2-2 所示，细线穿在圆珠笔的杆中，一端拴住小物体，另一端用一只手牵住，另一只手抓住圆珠笔杆并用力转动，使小物体做圆周运动。可近似地认为作用在小物体上的细线的拉力，提供了圆周运动所需的向心力，而细线的拉力可用牵住细线的手的感觉来判断。

实验过程：

(1) 在小物体的质量和角速度不变的条件下，改变小物体做圆周运动的半径进行实验。

(2) 在小物体的质量和做圆周运动的半径不变的条件下，改变物体的角速度进行实验。

(3) 换用不同质量的小物体，在角速度和半径不变的条件下，重复上述操作。

你还有其他的操作内容吗？

经过上面的实验过程，你得到什么结论？请写在下面的横线上，并与其他同学进行交流。

向心力和向心加速度的公式虽然是从匀速圆周运动中得出的，但也适用于非匀速圆周运动。在非匀速圆周运动中，使用上述公式求质点在圆周上某点的向心力和向心加速度的大小时，必须用该点的瞬时速度值。

可以证明：物体做匀速圆周运动时所受向心力的大小为

$$F = m\omega^2 r \quad (2.2.1)$$

式中 m 是运动物体的质量， ω 是物体做圆周运动的角速度， r 是物体做圆周运动的半径。

如果将 $\omega = \frac{v}{r}$ 代入 (2.2.1) 式，可得

$$F = m \frac{v^2}{r} \quad (2.2.2)$$

向心加速度

根据牛顿第二定律 $F = ma$ ，由 (2.2.1) 和 (2.2.2) 式可得，加速度 a 的大小为

$$a = \omega^2 r \quad (2.2.3)$$

或

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (2.2.4)$$

我们知道，加速度 a 与合力 F 的方向一致。在匀速圆周运动中， F 是指向圆心的向心力，所以加速度 a 也一定指向圆心，我们称之为**向心加速度**。

从上面两式可以看出向心加速度 a 与角速度 ω 或线速度 v 之间的关系。

对于某一确定的匀速圆周运动来说，向心力和向心加速度的大小不变，但向心力和向心加速度的方向时刻在改变。所以，匀速圆周运动是加速度方向不断改变的变速运动。

专业术语

向心加速度

centripetal acceleration

讨论与交流

1. 从 $a = \omega^2 r$ 看, a 跟 r 成正比; 从 $a = \frac{v^2}{r}$ 看, a 跟 r 成反比. a 与 r 到底是成正比还是成反比?

2. 试从你所理解的角度, 谈谈为什么说匀速圆周运动是变速运动.

生活中的向心力

有了向心力的知识, 我们就可以运用牛顿第二定律分析和讨论日常生活中与圆周运动有关的物理现象.

如图 2-2-3 所示, 汽车在水平的公路上转弯时靠车轮与路面间的静摩擦力 f 来提供向心力. 如果转弯时汽车速度过快, 则这个静摩擦力不足以提供汽车所需的向心力, 汽车就容易滑出路面, 造成交通事故.

在平直的公路上行驶时, 汽车所受重力 mg 和地面对车的支持力 F_N 恰好平衡. 在内低、外高的倾斜的路面转弯时, 汽车向内侧倾斜, 重力 mg 和地面的支持力 F_N 不在一条直线上, 重力 mg 和地面支持力 F_N 的合力 F (图 2-2-4) 指向弯道内侧, 为汽车转弯提供了一部分向心力.

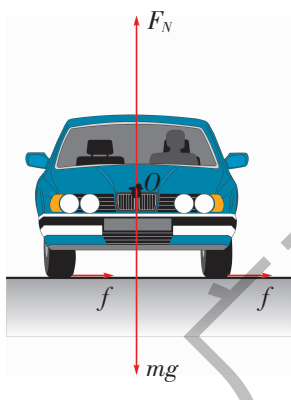


图 2-2-3 汽车在水平路面上转弯

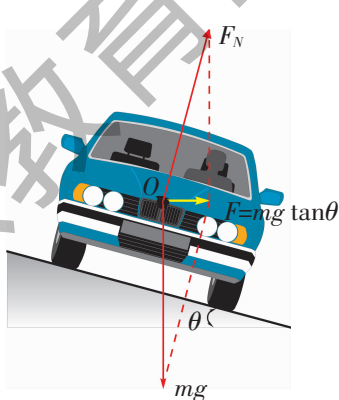


图 2-2-4 汽车在倾斜路面上转弯

向心力是按效果命名的力, 任何一个力或几个力的合力只要它的作用效果是使物体产生向心加速度, 它就是物体做匀速圆周运动所需的向心力. 千万不要认为做匀速圆周运动的物体除了受到另外物体的作用, 还受到一个向心力的作用.

假设汽车在弯道处转弯时所需的向心力完全由重力 mg 和地面支持力 F_N 的合力 F 来提供. 设弯道半径为 R , 汽车行驶的速度为 v , 质量为 m , 倾斜的角度为 θ , 则有

$$mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}$$

从上式可以知道, 车速越快, 弯道半径越小, 需要的向心力就越大, 倾斜的角度也越大.

摩托车赛车手拐弯时向里倾斜的道理也是一样的.

我们还可以分析一下: 荡秋千的过程中通过最低点时, 人对底座的压力大小; 汽车通过拱桥顶部时, 对桥面的压力大小;

游乐园里过山车通过最高点时，保证人不掉下来的最小速度是多大，等等。

讨论与交流

1. 如图 2-2-5 所示，取一条细绳，一端系一个小球，另一端用手挥动细绳，使小球做圆周运动，小球受几个力的作用？可以说小球受到重力、绳的拉力和向心力三个力的作用吗？为什么？

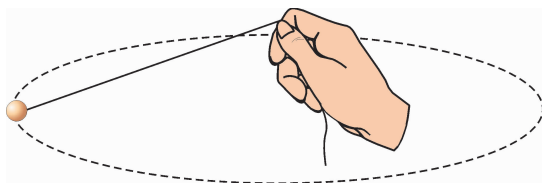


图 2-2-5 小物体在空中做圆周运动

2. 试归纳、小结分析和解决匀速圆周运动问题的一般步骤。

实践与拓展

用细绳系住一只小塑料桶，在桶里装上半桶水，然后到室外试一试，能否让水桶在竖直平面内做圆周运动，而水桶里的水不会甩出来？分析、解释其中的道理。

资料活页

田径运动员的弯道跑技术

目前，国际性田径比赛使用的是周长为 400 m 的标准跑道。跑道通常设有 8 条分道，各宽 1.2~1.25 m，弯道半径（内径）37.90 m。200 m、400 m 等项目的竞赛都涉及弯道途中跑。由于弯道约占全程的 $\frac{3}{5}$ ，所以弯道技术成为制胜的关键。根据圆周运动的知识，弯道跑中，最重要的是有意识地使身体向圆心方向倾斜，蹬地与摆动方向都应向身体向圆心方向倾斜趋于一致（如图 2-2-6）。对于不同道次上的运动员来说，跑道半径 R 不同，即使速率相同，人体的倾斜角度也是不同的。假设某一运动员在弯道上的速率为 10 m/s，则从最内侧跑道到最外侧跑道所需要的向心力、倾斜的角度见下表：



图 2-2-6 弯道跑

弯道半径 R/m	37.90	39.15	40.40	41.65	42.90	44.15	45.40	46.65
向心力 (R 为 37.90 m 时取 1)	1	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81
倾斜角/度	15.07	14.61	14.18	13.77	13.38	13.01	12.67	12.34

从上表中，我们可以看出，在相同速率下，运动员在最内侧和最外侧跑道上比赛时，向心力相差约 19%，人体的倾斜角度相差近 3° ，这正是运动员重视比赛道次安排的重要原因。

http 我们的网站

1. 火车转弯问题
2. 向心加速度的一种推导方法

练习

1. 物体做匀速圆周运动时，下列说法是否正确？为什么？
 - (1) 物体一定受到恒力的作用.
 - (2) 物体所受合力必须等于零.
 - (3) 物体所受合力的大小可能变化.
 - (4) 物体所受合力大小不变，方向不断改变.
2. 甲、乙两球做匀速圆周运动，向心加速度 a 随半径 r 变化的关系图象如图 2-2-7 所示. 由图象可以知道 ().
 - A. 甲球运动时，线速度大小保持不变
 - B. 甲球运动时，角速度大小保持不变
 - C. 乙球运动时，线速度大小保持不变
 - D. 乙球运动时，角速度大小保持不变
3. 分析、比较汽车通过拱形路面和平直路面时对路面的压力大小.
4. 在一段半径为 R 的圆形水平弯道上，已知路面对汽车轮胎的最大静摩擦力是车重的 μ 倍 ($\mu < 1$)，则汽车拐弯时的安全速度是多少？
5. 如图 2-2-8 所示，飞机俯冲时，在最低点附近做半径为 R 的圆周运动，这时飞行员超重达到其自身的 3 倍，求此时飞机的飞行速度为多大？

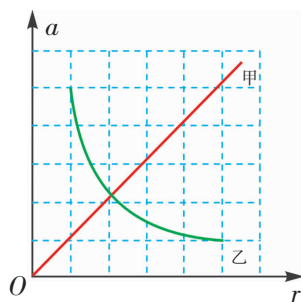


图 2-2-7

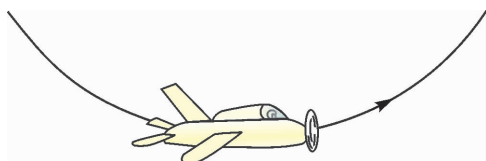


图 2-2-8

第三节 离心现象及其应用

做圆周运动的物体，由于本身的惯性，总有沿圆周切线飞出的倾向，它之所以没有飞出是因为向心力持续地把物体拉到圆周上来，使物体与圆心的距离保持不变。如果向心力突然消失或不足时，将出现什么情况呢？你能否先预测一下，然后通过下面的实验看一看你的预测是否准确？

离心现象

观察与思考

仔细观察下面的实验现象，你能否运用已学过的知识加以解释？

1. 在一个水平转动的圆盘上固定一个直径比乒乓球直径略微宽些的槽，将乒乓球放在距圆盘中心不远处的槽内（如图 2-3-1），慢慢转动圆盘，乒乓球在槽里随圆盘一起转动；当圆盘加快转速时，乒乓球沿槽逐渐做远离圆盘中心运动，最后从槽口飞出。

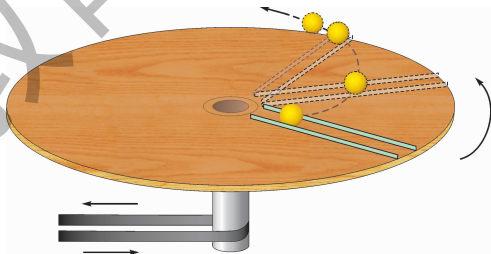


图 2-3-1 乒乓球在圆盘上做远离圆心的运动

2. 如图 2-3-2 所示，用细绳拴着一个小物体，使之在竖直平面内做圆周运动。若突然松手或绳子断了，向心力消失，物体将沿切线方向飞出而做远离圆心的运动。

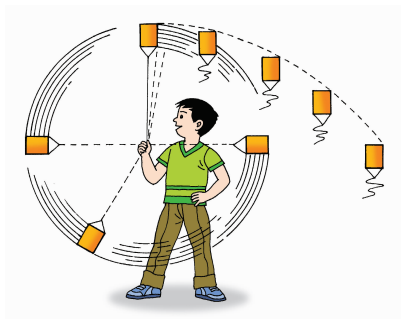


图 2-3-2 竖直平面内转动物体，突然松手，物体将做远离圆心的运动

安全警示
不要在家中或人多的地方做此实验。

做圆周运动的物体，在所受合力突然消失或不足以提供圆周运动所需的向心力的情况下，就会做逐渐远离圆心的运动，这种现象称为**离心现象**。

离心现象的应用

在日常生活和生产实际中有许多地方应用了离心现象。

例如，在雨天，我们可以通过旋转雨伞的方法来甩干雨伞的水滴（如图 2-3-3）。雨伞慢转时，雨伞作用到水滴的最大附着力大于这时所需的向心力，水滴飞不出去；雨伞转动快到一定程度，水滴和雨伞之间的最大附着力满足不了水滴所需要的向心力，水滴就会做远离圆心的运动而被甩出去。



图 2-3-3 旋转雨伞，甩干雨伞上的水滴

又如，田径比赛中的链球项目就是利用离心现象来实现投掷的。链球的投掷是通过预摆和旋转来完成的（如图 2-3-4），运动员手持链球链条的一端，在链球高速旋转时，突然松手，向心力消失，链球就沿切线方向飞向远处。

在实际中，利用离心现象工作的机械叫做**离心机械**。如离心干燥（脱水）器、洗衣机的脱水筒就是这种机械。将湿衣服放在洗衣机的脱水筒中，当脱水筒转动较慢时，水滴跟衣服的附着力足以提供所需的向心力，水滴做圆周运动。当脱水筒转速加快时，附着力不足以提供所需的向心力，于是水滴做离心运动，穿过筒孔飞出筒外。

在化学实验室中，常用离心分离器（如图 2-3-5）把浑浊液体里所含的不溶于液体的固体微粒快速沉淀下来，也是这个道理。离心分离器在化学、医学、食品等工业部门和近代尖端技术（如制造原子弹、氢弹等）中都有广泛应用。

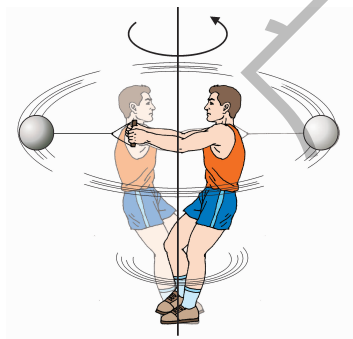


图 2-3-4 投掷链球

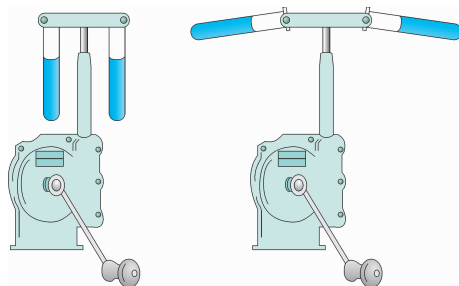


图 2-3-5 离心分离器

离心现象有时也是有害的，应设法防止。

讨论与交流

1. 在汽车或火车拐弯处，为什么有限速的警示标志？
2. 在工厂里，为什么要在砂轮的外侧加一个防护罩？
3. 要防止离心运动造成的伤害，我们应该采取什么样的措施？

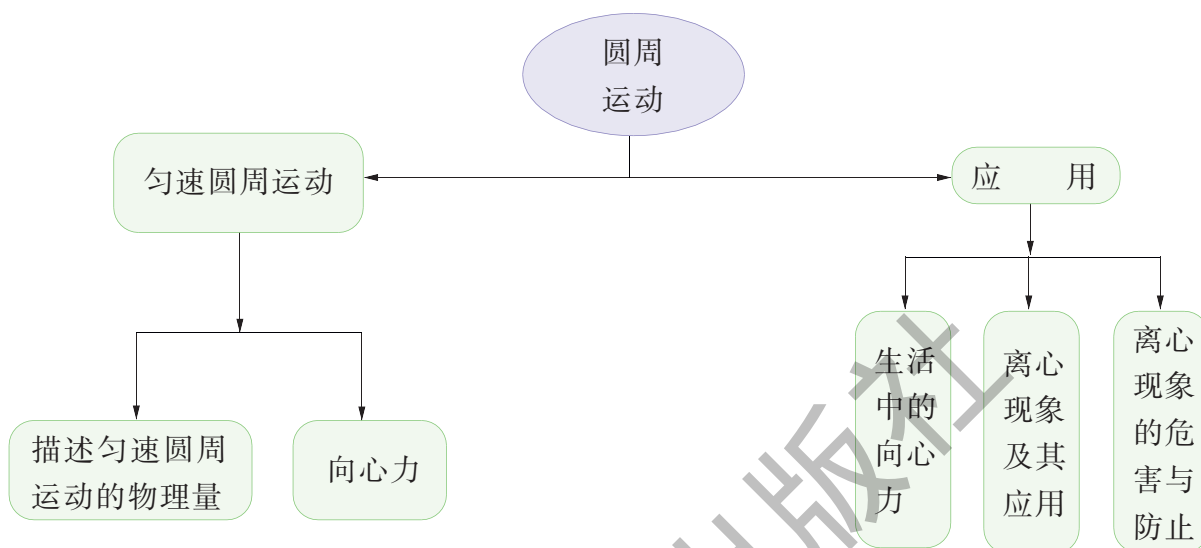
 实践与拓展

在两支试管里分别滴入等量的 CuSO_4 和 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ，让它们混合反应，将其中一支试管在自然条件下沉淀，另一支试管装在离心机上让其高速旋转，相同时间后，比较两支试管固液分离的情况。

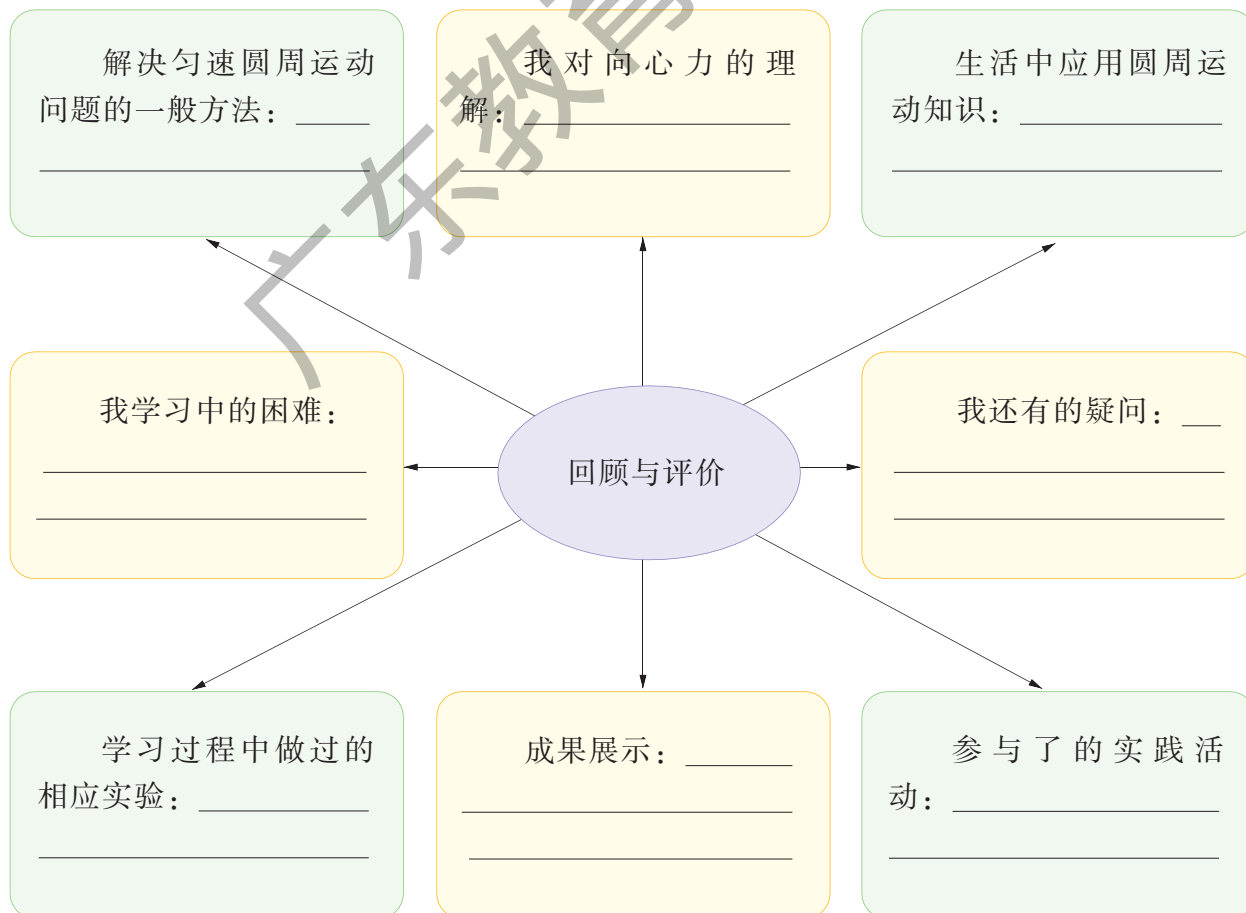
广东教育出版社

本章小结

一、知识结构



二、回顾与评价



习 题 二

1. 广州和北京处在地球不同的纬度上，试比较这两地的建筑物随地球自转时的角速度、线速度的大小关系。

2. 把某一机械手表的分针与时针上的点看作做匀速圆周运动，且分针长度是时针长度的 1.5 倍，则分针与时针的角速度之比是_____，分针末端与时针末端的线速度之比是_____，末端的向心加速度之比是_____。

3. 一辆载重车在丘陵地带行驶，地形如图 2-1 所示。轮胎已经很旧，为防止爆胎，车在经过何处时应减速行驶？

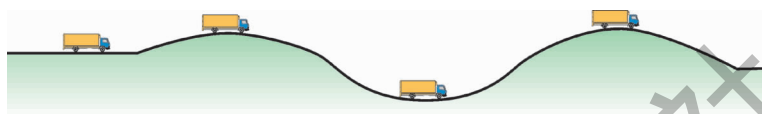


图 2-1

4. 在高速公路的拐弯处，路面往往设计成外高内低。设拐弯路段是半径为 R 的圆弧，要使车速为 v 时，车轮与路面之间的横向（即垂直于前进方向）摩擦力等于零，路面与水平面间的夹角 θ 应等于多少？

5. 如图 2-2，一起重机用长为 4 m 的钢丝绳吊一重为 2000 kg 的重物，以 2 m/s 的速度在水平方向上匀速行驶，当起重机突然停住的瞬间，钢丝绳受到的拉力是多大？



图 2-2

6. 分析下列做匀速圆周运动的物体的受力情况，并指出其向心力的来源。

- (1) 放在水平转台上，随转台一起转动的物体。
- (2) 行驶在弧形公路桥顶上的汽车。

7. 如图 2-3 所示，当正方形薄板绕着通过其中心 O 并与板垂直的转动轴转动时，板上 A 、 B 两点的线速度之比和向心加速度之比分别为多大？

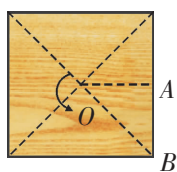


图 2-3

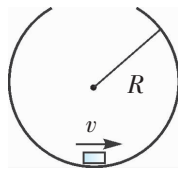


图 2-4

8. 如图 2-4 所示, 一质量为 m 的物体, 沿半径为 R 的圆形轨道滑行, 经过最低点时的速度为 v , 物体与轨道之间的动摩擦因数为 μ , 则它在最低点时受到的摩擦力是多大?

9. 如图 2-5 所示, 在半径为 R 的洗衣机圆桶内, 有质量为 m 的一件衣服贴着内壁跟随桶以角速度 ω 做匀速圆周运动. 求:

- (1) 此时桶壁受到的压力;
- (2) 若此时衣服向下匀速滑动, 衣服与桶壁之间的动摩擦因素是多大?

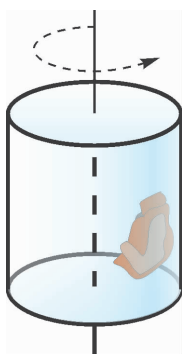


图 2-5

10. 如图 2-6 所示是一个水平转盘的示意图, 盘上距转轴 0.5 m 处有一质量为 0.5 kg 的零件随盘做匀速圆周运动.

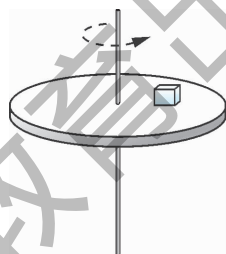


图 2-6

- (1) 如果零件在转盘上无滑动, 请画出零件的受力示意图.
- (2) 如果零件与转盘之间的最大静摩擦力为 1.96 N, 零件随盘转动时, 转盘的转速最大不能大于多少?
- (3) 如果零件滑动, 对转盘来说, 向什么方向滑动?

11. 如图 2-7 是多级减速装置的示意图. 每一个轮子都有大小两个轮子叠合而成, 共有 n 个这样的轮子, 用皮带逐一联系起来, 设大轮的半径为 R , 小轮的半径为 r . 当第一个轮子外缘线速度大小为 v_1 时, 试求第 n 个轮子的小轮边缘线速度为多大?

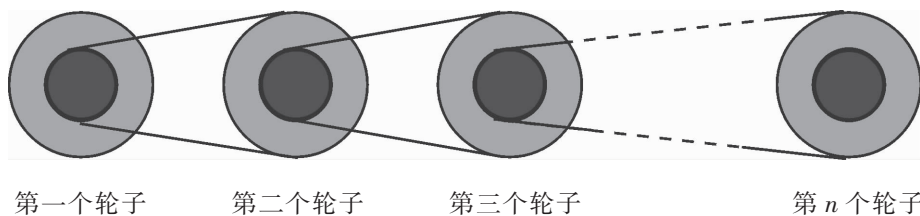


图 2-7

12. 某种变速自行车，有六个飞轮和三个链轮（如图 2-8），链轮和飞轮的齿数如表 2-1，前后轮直径为 660 mm，人骑自行车前进的速度为 4 m/s 时，求脚踏板做圆周运动的最小角速度.

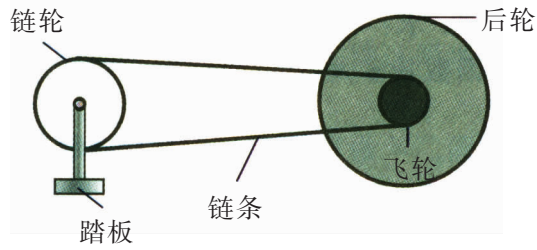


图 2-8

表 2-1

名称	链 轮			飞 轮					
齿轮个数 N /个	48	38	28	14	16	18	21	24	28

13. 大雾天气，司机突然发现汽车已开到一个丁字路口，前面是一条小河（如图 2-9），问司机当时采取紧急刹车或是紧急转弯，哪个方法比较有可能避免危险？

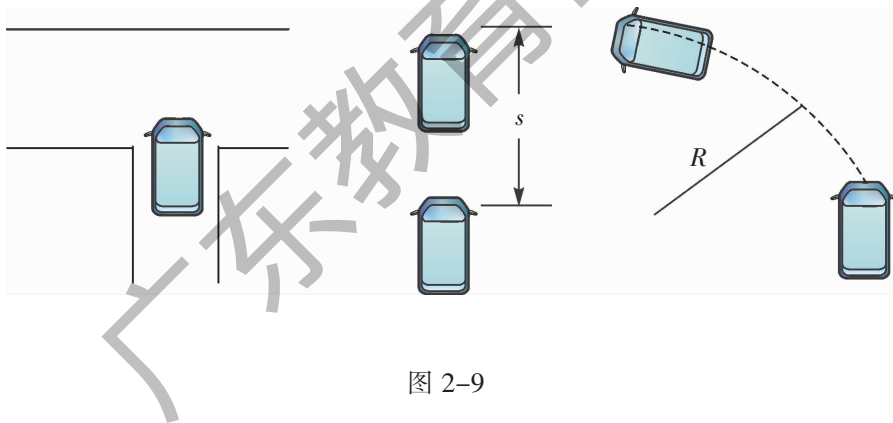


图 2-9

第三章

万有引力定律及其应用

日月升落，星光闪烁，自古以来就吸引着人们探究其中的奥秘。

今天，我们借助计算机和射电望远镜，特别是人造卫星、太空望远镜、航天飞机和各式各样的空间探测器，不仅认识到星系的大小、结构，实现了人类对星体的实地考察，而且为人类在更深层次上探索宇宙的奥秘，开发和利用宇宙空间打下了坚实的基础。目前，人类正在向宇宙的更深处探索……

但是，你可曾知道，人类今日对太空探索所取得的成就源于万有引力定律的发现，而万有引力定律的发现又是基于人类长期对宇宙中地、日、月运行的探索。学了本章后，你对人类追寻太空奥秘的执著精神有什么感悟？对万有引力定律发现的过程和意义有什么认识？又能为我国未来航天技术的发展作出什么样的贡献？为人类和平利用太空空间提供什么样的建议呢？



第一节 万有引力定律

天体究竟做怎样的运动

人类对天体运动的认识，经历了一个漫长的发展过程。在古代，人们根据日常的观察和经验，提出了“地心说”，认为地球是宇宙的中心，是静止不动的，太阳、月亮以及其他行星都绕地球运动。这种学说经古希腊科学家托勒密（C.Ptolemy，约公元2世纪）的发展（如图3-1-1所示），成为中世纪欧洲占统治地位的宇宙观，统治人们思想达一千多年之久。

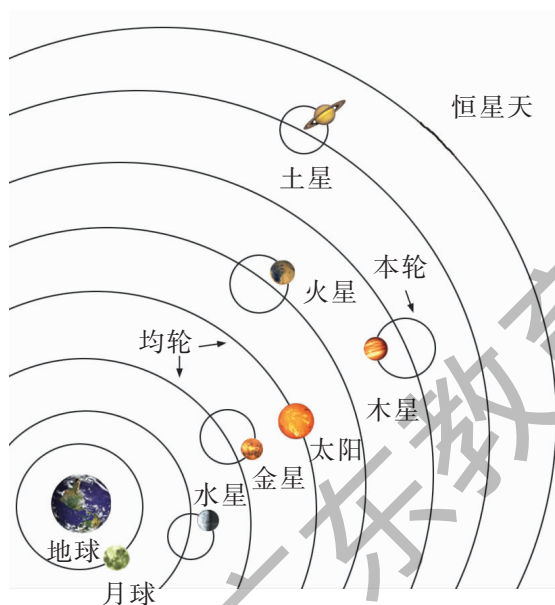


图 3-1-1 根据托勒密的学说画出的行星、月球和太阳绕地球运行图，可解释行星的逆行和亮度的变化

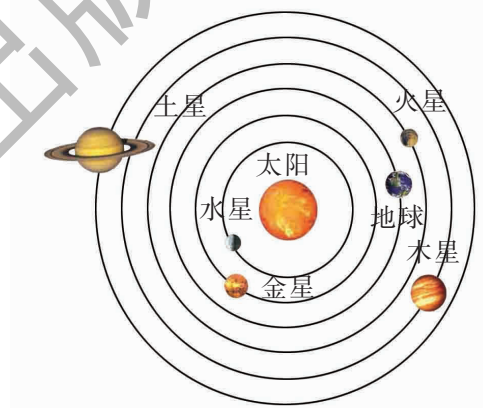


图 3-1-2 根据哥白尼“日心说”画出的地球及其他行星绕太阳的运行图

到了16世纪，波兰天文学家哥白尼（N.Copernicus，1473—1543）经过近四十年对天体运动的观察发现，若假设太阳是宇宙的中心，地球和其他行星都围绕太阳运动，对行星运动的描述就变得更加简明清晰（如图3-1-2所示），于是他大胆地提出了“日心说”。

哥白尼“日心说”的提出，不仅迈出了人类认识宇宙历程中最艰难而又最重要的一步，而且冲破了中世纪教会神学对人们思想的禁锢，揭开了近代自然科学革命的序幕。

讨论与交流

“地心说”和“日心说”之争曾经历了漫长的历程，现在我们应该如何评述它们的争论？请发表你的观点。

不论“地心说”还是“日心说”，都相信天体的运动一定是最完美和谐的匀速圆周运动。德国天文学家开普勒（J.Kepler, 1571—1630）是哥白尼“日心说”的忠实信仰者，但他在应用行星绕太阳做圆周运动的模型描述火星的运动时，发现与他的老师丹麦天文学家第谷·布拉赫（Tycho Brahe, 1546—1601）对火星运行轨道的观测值有 $8'$ 的误差。是第谷观察的误差，还是火星根本就不做圆形轨道运动呢？开普勒坚信第谷的数据是正确的，毅然否定了火星做匀速圆周运动。经过多种拟合，反复核算，开普勒发现了火星在做椭圆运动，最终完成了对行星运动规律的描述（图3-1-3）：所有的行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳位于椭圆的一个焦点上；行星和太阳之间的连线，在相等的时间内扫过相同的面积；行星绕太阳公转周期的平方和轨道半长轴的立方成正比。

开普勒行星运动规律的发现，不仅使人们澄清了多年来对天体运动神秘、模糊的认识，同时也推动了对天体动力学的研究。

相信哥白尼日心体系是和谐的信念，为开普勒正确的理论思维指明了方向；而娴熟地运用数学工具的能力，则使他成功地抽象和概括出行星运动的规律。

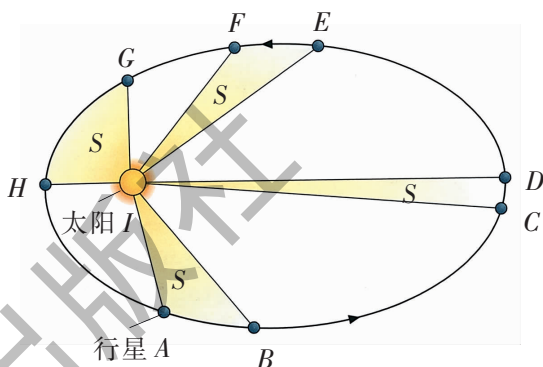


图3-1-3 开普勒对行星运动的描述

苹果落地的思考：万有引力定律的发现

开普勒的行星运动规律只是对行星如何绕太阳运动作了确切的描述，并没有说明是什么原因使它们在各自的轨道上运动。对此，科学家提出了种种猜想（如图3-1-4所示）。

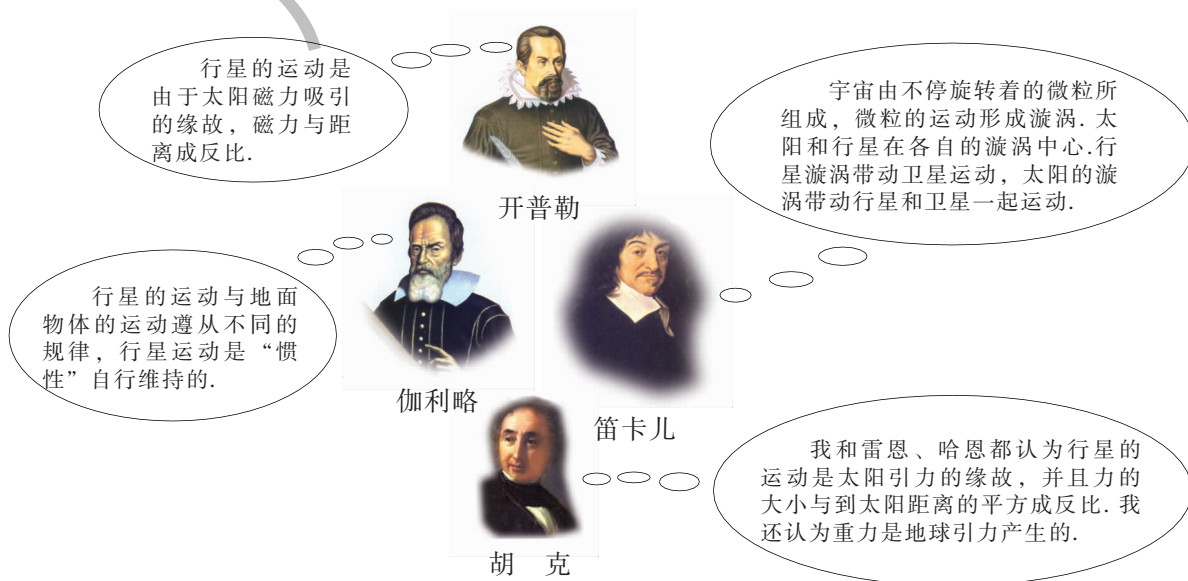


图3-1-4 科学家对行星运动原因的各种猜想

专业术语

万有引力

universal gravitation

英国科学家牛顿 (Isaac Newton, 1643—1727) 也一直在思考为何行星做椭圆运动. 据传说, 牛顿的万有引力思想源于对“苹果落地”的思考. 我们撇开“苹果落地”故事的真实性, 沿着“苹果落地”所引起的思考, 看一看牛顿是怎样发现万有引力定律的.

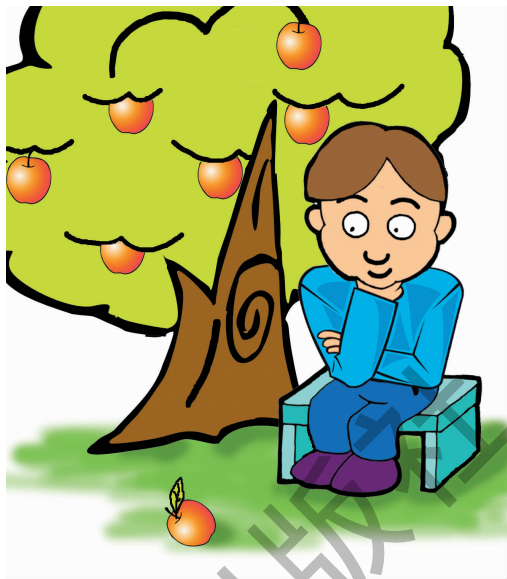


图 3-1-5 如果苹果树长到月球那么高, 苹果会落到地面上吗?

苹果落地是我们司空见惯的现象, 如果要问苹果为什么会落地呢? 我们会回答, 那是由于苹果受到重力作用的缘故. 但是, 月球为什么不落到地球上呢?

如果月球不受力, 它将做匀速直线运动; 如果月球受重力但没有切向线速度, 它也将和苹果一样落向地球表面. 事实上, 月球绕地球做匀速圆周运动, 圆周运动是需要向心力的, 这个向心力就是地球对月球的引力.

如果在地球表面附近把苹果水平抛出, 苹果将沿曲线轨道落地. 苹果距地面越高, 水平抛出的速度越大, 则落地越远. 当速度足够大时, 苹果就不会落向地面, 而围绕地球运动. 这时, 苹果的运动岂不是和月球的运动一样吗?

月球绕地球运动, 苹果在一定条件下也可绕地球运动; 苹果落地, 月球在一定条件下也可落地. 相同的结果可能来自相同的原因. 由此猜想: 苹果所受的重力和月球所受的引力可能是同一性质的力.

行星绕太阳的运动又和卫星绕行星的运动相似. 因此, 重力、行星对它的卫星的引力、太阳对行星的引力可能是同一性质的力.

既然一切天体之间有引力, 地球与物体之间有引力. 那么, 是否所有物体之间都存在相互吸引的力呢?

在前人研究的基础上, 经一系列想象、假设、理想实验、类比、归纳, 牛顿终于发现了万有引力, 并经严密的推理运算

和实践检验，于1687年在其出版的《自然哲学的数学原理》一书中，正式提出了万有引力定律：

宇宙间的一切物体都是互相吸引的。两个物体间引力的方向在它们的连线上，引力的大小跟它们的质量的乘积成正比，跟它们之间的距离的二次方成反比。其数学表达式为

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3.1.1)$$

式中 m_1 、 m_2 分别是两个物体的质量， r 为两个物体之间的距离。 G 称为引力常数，其数值等于两个质量各为 1 kg 物体相距 1 m 时万有引力的大小，一百多年后首先由英国科学家卡文迪许利用扭秤这一巧妙的实验装置测出。现在精确的实验测得 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 。

万有引力定律揭示了地面上物体的运动与天上物体的运动遵从同一规律，让人们认识到天上物体的运动规律也是可以认识的，对解放人们的思想起到了积极的作用，对后来的物理学和天文学的发展具有深远的影响。

万有引力是自然界的一种基本作用力，对它的研究和探讨，促进了物理学的发展，在人类认识自然的历史上起到了巨大的作用。

讨论与交流

1. 如果有一天万有引力突然消失，世界将发生什么变化？对你的生活将产生什么影响？

2. 万有引力定律指出，任何物体间都存在着引力，为什么当两个人靠近时并没有吸引到一起？请估算一下你和同桌同学之间的引力有多大。

实践与拓展

1. 我国古代在天文学方面曾取得过光辉的成就，请查阅资料，了解我国在天文学方面取得了哪些成就。

2. 由牛顿第二定律 $F=ma$ 可知，加速度与物体的质量成反比，而在自由落体运动中，物体的加速度与物体的质量无关，这似乎是矛盾的，你如何看待这一问题？

专业术语

万有引力定律
law of universal gravitation
引力常数
gravitational constant

万有引力定律中“两个物体之间的距离”，对于可以看作质点的物体，是指这两个质点之间的距离；对于均匀的球体，例如地球、月球等，是指两个球心之间的距离。

 资料活页

卡文迪许的扭秤实验

扭秤的关键是在石英丝上装一个平面镜，显示石英丝极微小的扭转角，从而测出极微小的万有引力。

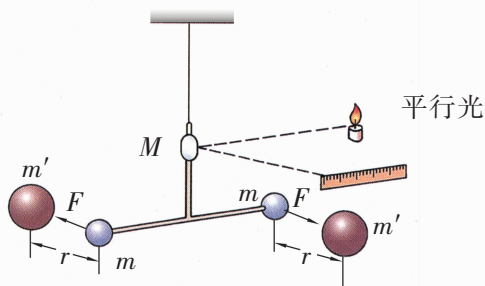


图 3-1-6 扭秤实验装置结构图

http 我们的网站

1. 牛顿的“月—地”检验
2. 行星的偏心率

练习

1. 如果已知地球的质量 $m=5.98 \times 10^{24}$ kg，太阳的质量 $M=1.97 \times 10^{30}$ kg，地球到太阳的距离 $R=1.49 \times 10^{11}$ m，那么太阳对地球的引力有多大？

2. 地球的质量大约是月球质量的 81 倍，在登月飞船通过月地之间的某一个位置时，月球和地球对它的引力大小相等，该位置到月球中心和地球中心的距离之比为多少？

3. 已知地球的半径 $R_{地}$ 约为 6400 km，又知月球绕地球的运动可以近似看作匀速圆周运动，由此能否估算出月球到地心的距离？若能，请用公式表示出距离的大小，并指出公式中各量的大小；若不能，请说出你的理由。

4. 如图 3-1-7 所示，有两个质量均匀的小球，质量都为 m ，半径为 R ，其间用细杆 AB 相连， AB 长度也为 R ，有位同学认为两球之间的万有引力为： $F = G \frac{m^2}{R^2}$ 。请问这位同学的想法对

吗？请说明理由。

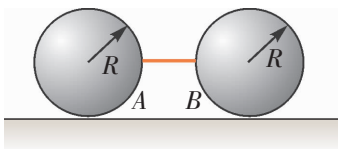


图 3-1-7

第二节 万有引力定律的应用

自从卡文迪许测出引力常量后，万有引力定律就逐渐显示出强大的威力。人们利用它只需简单的计算就可知太阳、行星等巨大天体的质量；利用它还可预言未知天体的轨道和位置；人造地球卫星的发射和回收，更是离不开它的指引。宇宙中的万物正是在这简单而又美妙的规律支配下和谐、不息地运动着。

计算天体的质量

地球的质量不可能用天平称量，但我们可以应用万有引力定律计算得出。如图 3-2-1 所示，若月球绕地球做匀速圆周运动，其周期为 T ，又知月球到地心的距离为 r ，从这些条件出发，应用万有引力定律就可以计算出地球的质量。

解决这个问题的基本思路是：月球绕地球做匀速圆周运动的向心力是由它们之间的万有引力提供的，由此可以列出方程，从中求得地球的质量。

设 M 是地球的质量， m 是月球的质量， ω 是月球绕地球运动的角速度，则月球绕地球做匀速圆周运动所需的向心力

$$F = m\omega^2 r = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$$

而月球绕地球做匀速圆周运动的向心力是由它们之间的万有引力提供的，所以

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$$

由此可得

$$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$$

知道月球绕地球运动的周期 T 以及它和地球之间的距离 r ，就可以算出地球的质量。例如，在精确程度要求不太高的情况下，取月球绕地球运动的周期 $T = 2.36 \times 10^6 \text{ s}$ ，月球与地球之间的距离 $r = 3.84 \times 10^8 \text{ m}$ ，代入上式，粗略计算得地球的质量

$$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} = \frac{4 \times (3.14)^2 \times (3.84 \times 10^8)^3}{6.67 \times 10^{-11} \times (2.36 \times 10^6)^2} \text{ kg} = 6.01 \times 10^{24} \text{ kg}$$

在科学研究和实际应用中，地球质量的精确值为 $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ 。

同样的道理，如果已知卫星绕行星（或行星绕中心天体）运动的周期和卫星与行星（或行星与中心天体）之间的距离，也可以算出行星（或中心天体）的质量。

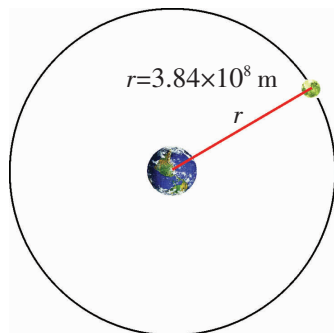


图 3-2-1 地球质量的计算

理论的威力：预测未知天体

自 1781 年英国天文学家威廉·赫歇耳 (W.Herschel, 1738—1822) 用望远镜发现了太阳系的第七颗行星——天王星后, 人们便将望远镜对准天空不停地巡视, 期待新的发现. 但半个多世纪过去了, 人们依然一无所获.

到了 1821 年, 人们发现天王星的实际轨道与由万有引力定律计算出的理论轨道存在较大的误差, 这是什么原因造成的呢? 于是人们提出了各种猜想:

- ★可能是以前的天文观测数据不准确;
- ★可能是天王星内侧的土星和木星对它的吸引而产生的;
- ★可能是天王星外侧的一颗未知行星的吸引而产生的;
- ★可能是由于某颗彗星的撞击而产生的;
- ★可能是天王星的一颗质量很大的卫星对它的吸引造成的;
- ★牛顿的万有引力定律也许是错误的;
- ★可能是……

在物理学的研究中广泛应用演绎推理的方法. 它一般以一些基本规律为基础, 对个别的事物或现象进行推理, 从而确定这些事物或现象具有的特性或规律. 但推理的结论是否是真实的, 仍然需要实践的检验.

为了证实以上的猜想, 科学家们开始搜集证据. 最后问题的焦点集中在: 要么有一颗未知的行星影响了天王星的运行, 要么是牛顿的万有引力定律不正确. 英国剑桥大学青年学生亚当斯 (J.C.Adams, 1819—1892) 和法国青年天文学家勒维烈 (U.J.L Verrier, 1811—1877) 坚信万有引力定律是正确的. 然而, 要推算并找出这颗不知在哪里的行星, 实在不是一件容易的事. 这既需要科学能力, 更需要不畏艰难的勇气.

他们各自经过艰苦而复杂的计算, 前后用了几十个方程, 将理论计算结果与实际观察数据反复对照, 不断地修正, 终于各自独立地计算出了这颗行星的质量和轨道参数. 1846 年 9 月 23 日柏林天文台的望远镜对准他们笔下计算出来的位置, 终于, 一颗新的行星——海王星被发现了.



图 3-2-2 天王星

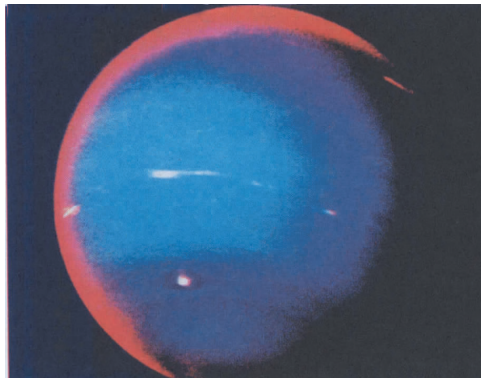


图 3-2-3 海王星

海王星的发现彻底消除了人们对牛顿引力学说的怀疑, 同时也充分显示了理论对于实践的巨大指导作用. 今天, 人们仍然

采用他们的这种“计算、预测和观察”的方法寻找新的天体. 只不过由于技术的进步, 人们用照相代替了肉眼的直接观察. 1930年2月18日, 美国天文学家汤苞 (Clyde W. Tombaugh, 1906—1997) 就是用“计算、预测、观察和照相”的方法, 发现了太阳系的一颗新的行星——冥王星. 太阳系还有多少未知的行星呢? 科学家仍在探索中.

理想与现实：人造卫星和宇宙速度

夜晚, 当你仰望晴空之时, 在满天的星斗中, 你也许会看到我们人类送上天空的“星星”——人造卫星. 那么, 人造卫星是怎样飞上天空的呢? 它又为何不掉下来呢?

早在三百多年前, 牛顿就曾设想: 山顶上一门大炮若以足够大的速度水平射出一颗炮弹, 它将围绕地球旋转而不再落回地面 (如图 3-2-4). 如今, 牛顿的理想已变成现实. 那么, 牛顿所说的足够大的速度是多少呢?

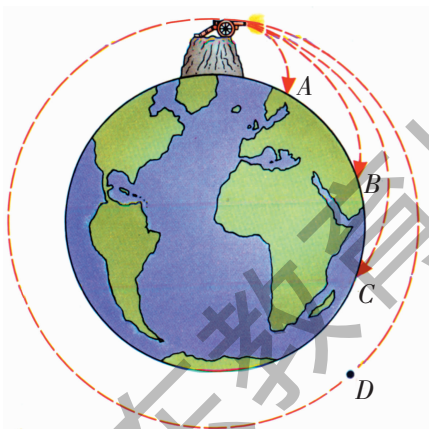


图 3-2-4 牛顿曾设想的人造卫星原理图

设卫星环绕地球做匀速圆周运动, 则地球对它的万有引力就是其所需的向心力. 设地球质量为 M , 卫星质量为 m , 卫星速度为 v , 卫星到地心的距离为 r , 根据向心力公式有

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

解得

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

这就是卫星在不同轨道运行时的速度表达式.

对于在地面附近运行的人造卫星, 可认为此时的 r 近似等于地球的半径 R , 这时 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$. 将 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, $R = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$, $M = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ 代入上式, 可得 $v \approx 7.9 \times 10^3 \text{ m/s} = 7.9 \text{ km/s}$.

这就是人造卫星在地面附近绕地球做匀速圆周运动所必须具有的速度, 称为**第一宇宙速度**, 也叫**环绕速度**.

2006年8月24日国际天文学联合会第26届大会通过行星新定义草案. 根据行星新定义草案, 太阳系大行星数量从原来的9颗减少到8颗, 冥王星被排除在大行星行列之外, 降级列入太阳系的矮行星.

专业术语

人造卫星
satellite

专业术语

第一宇宙速度
first cosmic velocity

专业术语

第二宇宙速度
second cosmic velocity
第三宇宙速度
third cosmic velocity

如果发射速度大于 7.9 km/s , 而小于 11.2 km/s 时, 卫星将环绕地球做椭圆轨道运动. 一旦发射速度等于或大于 11.2 km/s 时, 卫星就会挣脱地球的引力, 不再绕地球运行, 成为绕太阳运动的人造行星或飞到其他行星上去. 因此, 人们将 $v=11.2 \text{ km/s}$ 称为**第二宇宙速度**, 又叫**脱离速度**.

达到第二宇宙速度的物体虽然脱离了地球的引力, 但还受着太阳引力的束缚. 如果要使物体挣脱太阳的引力, 飞出太阳系, 其发射速度至少要达到 $v=16.7 \text{ km/s}$. 这一速度称为**第三宇宙速度**, 又叫**逃逸速度**.

 讨论与交流

有人说: “围绕地球做匀速圆周运动的卫星, 离地面的高度越大其飞行线速度也越大, 周期也越大.” 这种说法对吗?

 资料活页

同步卫星 (Geostationary Satellite)

同步卫星是指与地球相对静止的卫星, 这种卫星绕地球转动的角速度与地球自转的角速度相同, 做匀速圆周运动的圆心就是地心. 因此, 它的轨道平面必须与赤道平面重合, 并且它必须位于赤道上空一定的高度上. 下面我们计算同步卫星离地面的高度.

已知地球的质量 $M=5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$, 半径 $R=6.37 \times 10^6 \text{ m}$, 自转周期 $T=24 \text{ h}$. $G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$. 设同步卫星离地面的高度为 h , 质量为 m , 则由向心力公式可得

$$G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (R+h)$$

化简后可得

$$h = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} - R$$

将以上数值代入可解得 $h=3.6 \times 10^7 \text{ m}$.

 我们的网站

1. 引力常量的测定
2. 黑洞

 练习

1. 假定地球绕太阳做匀速圆周运动, 周期为 365 天, 地球到太阳的距离为 $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$, 取 $G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, 求太阳的质量.

2. 若近似地认为地球对地面物体的引力等于其重力 mg , 你能否据此推出“第一宇宙速度”?

3. 简要说明地球同步卫星为什么只能在赤道平面内绕地球旋转?

4. 现代宇宙学理论告诉我们, 恒星在演变过程中, 会形成一种密度很大的天体, 成为白矮星或中子星, 1 m^3 的中子星物质的质量为 $1.5 \times 10^{17} \text{ kg}$. 若某一中子星半径为 10 km , 求此中子星的第一宇宙速度. ($G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, 球体的体积 $V = \frac{4}{3} \pi R^3$)

5. “发现”号航天飞机在某轨道上飞行的速度为 7.74 km/s , 航天飞机离地面的高度为多少? 已知地球表面的重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$, 地球的半径约为 6400 km .

广东教育出版社

第三节 飞向太空

离地升空，遨游太空，曾经是人类世代追求的梦想；天女散花，嫦娥奔月的美丽传说，表达了人们对实现这个梦想的美好憧憬。如今人类依据牛顿运动定律和万有引力定律发展起来的航天技术，不仅实现了人类飞出大气层，进入太空的梦想，更给人类创造了巨大的物质财富。那么，人类挣脱地球的引力，飞向太空的壮举是怎样实现的呢？在航天技术领域取得了哪些成就？

飞向太空的桥梁——火箭

观察与思考



图 3-3-2



图 3-3-1

1. 如图 3-3-1 所示，将手中一个充满气体的气球释放后，你会看到什么现象？你能否解释其中的原因？

2. 仔细观察我国古代的火箭——“起花”，如图 3-3-2 所示，看一看它由哪几部分组成。分析它为什么能升空。

早在 19 世纪末，科学家们已经认识到，人类要实现飞出大气层，进入太空，就要挣脱地球引力的束缚。挣脱地球引力的首要条件是必须有足够大的速度。不借助于推进工具，任何物体都不可能达到这样高的速度。这种推进工具，就是火箭。

早在 13 世纪的南宋末期，我国就发明了利用火药燃烧向后急速喷出的气体产生的反作用力推进的火箭。元世祖忽必烈两次远征日本都曾用过真正的火箭。从技术上讲，我国早期的火箭是现代火箭的鼻祖。近代火箭是从 19 世纪开始的。对近代火箭的研究作出重要贡献的是俄国科学家齐奥尔科夫斯基（K.E.Tsiolkovsky, 1857—1935）。齐奥尔科夫斯基研究了火箭运动的原理和液体火箭推进及喷射理论。他还提出了用液体火箭实现未来太空飞行的设想。他描述道：“脚踏上其他小行星的土地，手举起月球上的石头，从几千里外观测火星，登上它的卫星甚至火星本土，还有比这些更神奇的事吗？”他还首先提出了多级火箭和惯性导航的概念。

在现代技术条件下，一级火箭的最终速度还达不到发射人造卫星所需要的速度，发射卫星要用多级火箭。所谓多级火箭，就是用几个火箭连接而成的火箭组合，一般用三级，如图 3-3-3

所示. 火箭起飞时, 第一级火箭的发动机“点火”, 推动各级火箭一起前进, 当这一级的燃料燃尽后, 第二级火箭开始工作, 并自动脱掉第一级火箭的外壳; 第二级火箭在第一级火箭基础上进一步加速, 以此类推, 最终达到所需要的速度, 如图 3-3-4 所示.

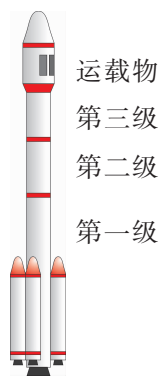


图 3-3-3 三级火箭

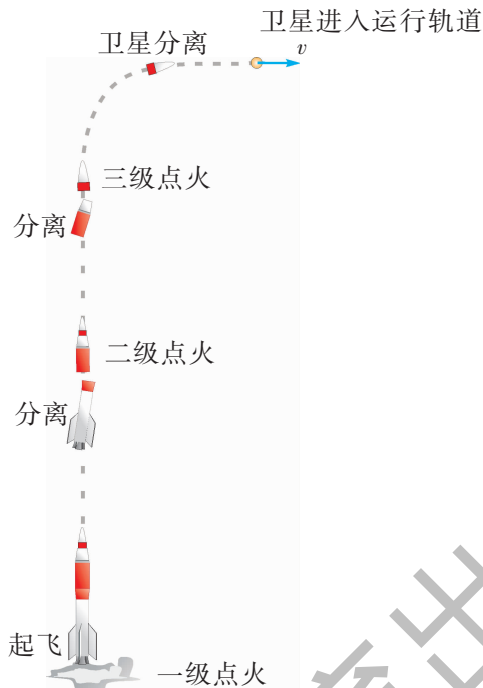


图 3-3-4 火箭推动卫星进入地球运行轨道示意图

梦想成真——遨游太空

借助于多级火箭, 1957 年 10 月 4 日, 苏联发射了第一颗人造地球卫星, 标志着人类对太空的探索进入了航天时代. 1961 年 4 月 12 日, 世界第一艘载人宇宙飞船“东方 1 号”带着苏联宇航员加加林环绕地球一圈, 第一次实现了人类踏入太空的梦想. 1969 年 7 月 20 日, 美国的“阿波罗 11 号”宇宙飞船将两名宇航员送上了月球, 实现了人类在月球上漫步的梦想. 1971 年 4 月 9 日, 苏联发射了“礼炮 1 号”空间站. 两年后, 美国将“天空实验室”空间站送入太空, 实现了人类无法在地面上进行的各种科学实验, 为人类对近地空间的开发开辟了广阔的前景. 1981 年 4 月 12 日, 美国“哥伦比亚号”航天飞机首次载人航天飞行试验成功, 使航天技术的发展进入了一个新的阶段.

我国也一直在进行空间科学技术的研究和开发, 在运载火箭和人造卫星技术方面已进入世界先进行列, 成为世界上第五个独立自主研制和发射人造地球卫星的国家. 2003 年 10 月 15 日, 我国首次载人航天飞行取得圆满成功, 成为继苏联、美国后, 第三个依靠自己的力量将宇航员送上太空的国家, 标志着中华民族的千年梦想“嫦娥奔月”即将变为现实.

 讨论与交流

从下面的图片中你看到了什么？想到了什么？

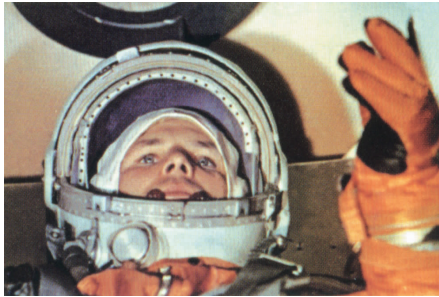


图 3-3-5 太空旅行第一人：
尤里·加加林

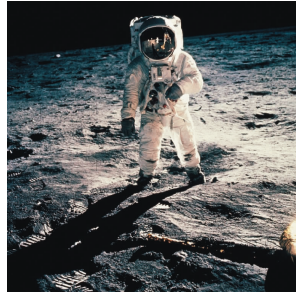


图 3-3-6 宇航员漫步月球



图 3-3-7 美国的第一个空间站绕地球运行



图 3-3-8 在国际空间站中生长的豌豆

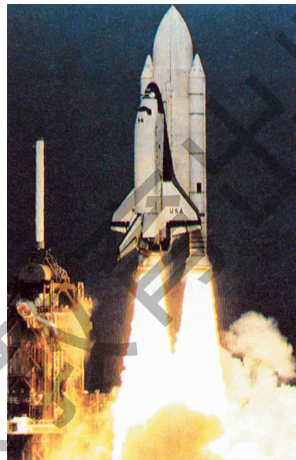


图 3-3-9 世界第一架航天飞机——美国“哥伦比亚号”发射升空

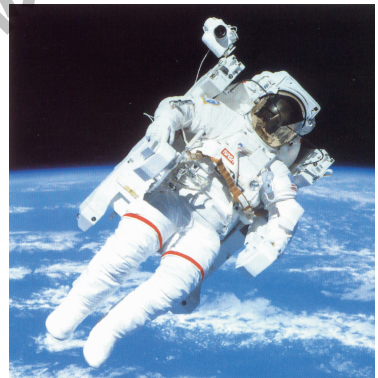


图 3-3-10 人类在太空中行走

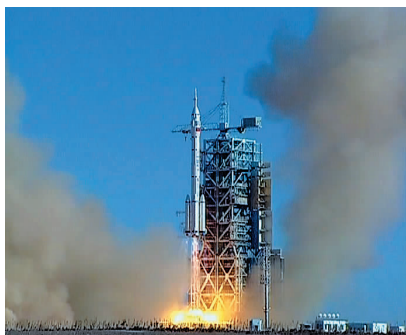


图 3-3-11 “神舟五号”发射升空

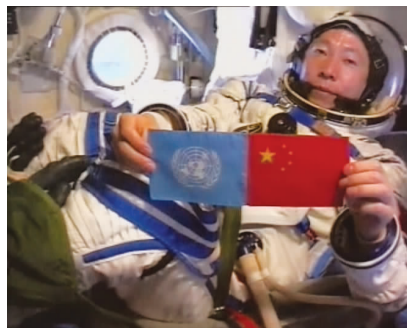


图 3-3-12 我国首位踏入太空的航天员杨利伟

探索宇宙奥秘的先锋——空间探测器

人类在进行载人航天研究的同时，还进行了深空探测。1962年美国发射了“水手2号”探测器，第一次对金星进行了近距离的考察。1989年美国宇航局发射的“伽利略号”探测器（如图3-3-13）飞行6年到达木星，对木星进行了长达7年的考察，向人类发送了许多宝贵的资料。2003年6月与7月，美国“勇气号”与“机遇号”火星探测器分别发射成功，在经过七个多月3.03亿千米的旅行后，“勇气号”于2004年1月登陆火星（如图3-3-14）。



图 3-3-13 “伽利略号”木星探测器



图 3-3-14 “勇气号”拍摄的火星地面图

如今人类利用各种空间探测器，正在向茫茫的宇宙深处进发，一个个宇宙的奥秘正在被揭开。航天时代已经到来，我国的航天事业正期待着有志于在这一领域大展宏图的同学们不畏险阻，勇攀科学高峰。

实践与拓展

1. 请查阅资料，与几位同学一起制作一个水火箭。写出制作原理、设计思路、水火箭结构示意图、制作过程、演示效果，并对实验的成功与失败进行分析。
2. 利用人类发射的各种航天探测器，可以进行无法在地面上实现的科学实验。你能设计一个让航天飞机完成的实验吗？
3. 制作一张时间表，列出人类对宇宙空间探索所取得的重大成就和重大事件。

我们的网站

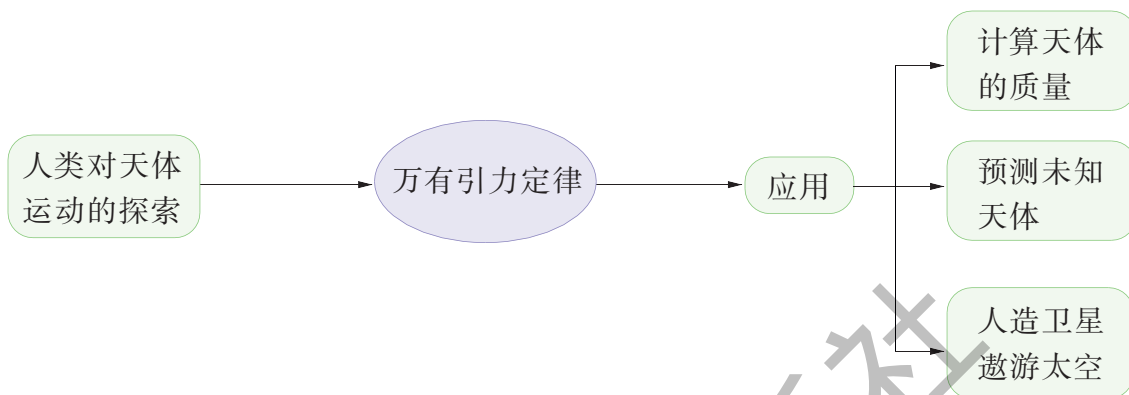
1. 我国的航天成就
2. “阿波罗11号”的登月和返回图

练习

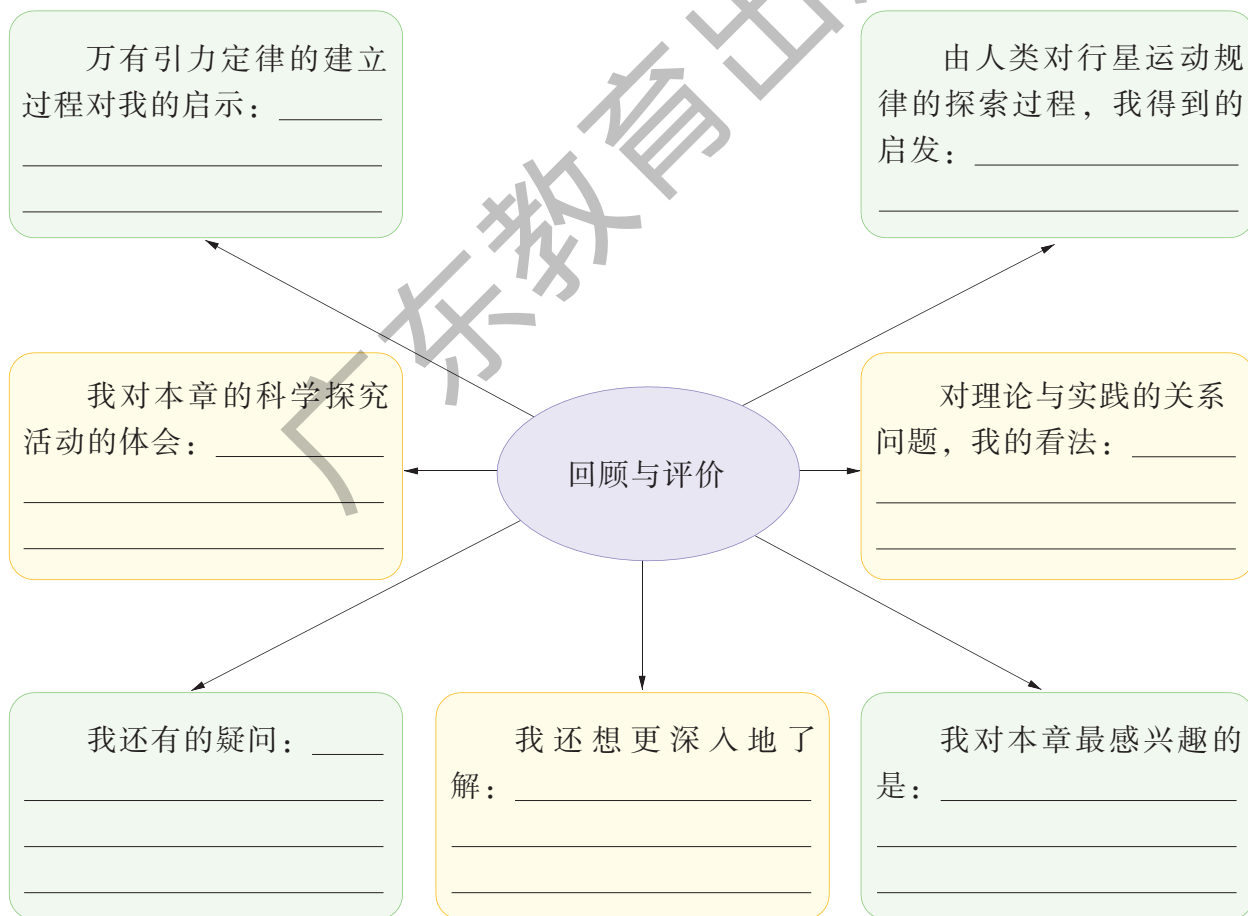
1. 试描述火箭将人造卫星发射到预定轨道的工作过程。
2. 试解释火箭发射的原理。
3. 试分析在火箭飞行过程中空气的阻力、地球的引力和火箭的质量等因素对火箭加速度的影响。

本章小结

一、知识结构



二、回顾与评价



习 题 三

1. 已知火星半径为 $3.43 \times 10^6 \text{ m}$, 密度为 $3.95 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. 试问火星表面上的重力加速度 g 有多大? 若在火星表面发射卫星, 其环绕速度多大?

2. 以月亮的盈亏为依据所制定的历法在我国称为“阴历”. 若将月球环绕地球运动一圈作为一个“月”, 大约为 28 天. 假设由于某种原因 (如小行星的撞击) 突然使月球绕地球运动的半径比现在增大了 10%, 问“阴历”中的一个“月”将变为多少天?

3. 取地球的环绕速度为 7.9 km/s , 某行星的质量是地球的 8 倍, 半径是地球的 2 倍, 则此行星的环绕速度为多少?

4. 宇航员在某星球上以速度 v_0 竖直上抛一个物体, 经时间 t 后落回手中. 已知该星球半径为 R , 要使物体不再落回星球表面, 沿星球表面平抛出的速度至少应是多少?

5. 火星的半径是地球半径的一半, 其质量是地球质量的 $\frac{1}{9}$, 一宇航员的质量是 72 kg , 则他在火星上所受的重力是多大? 这名字航员在地球上最多能举起 100 kg 的物体, 那么他在火星上最多能举起质量多大的物体?

6. 地球的半径为 R , 地面附近的物体重力加速度为 g , 则距离地面高度为 h 处物体的重力加速度为多大?

7. 曾经在太空运行了 15 年的“和平号”是迄今人类制造的最大的太空飞行器, 总重量达 135 吨, 已于北京时间 2001 年 3 月 23 日 14 点 0 分 12 秒安全坠入南太平洋指定海域. 按计划, 控制中心向“和平号”发出了三次制动信号, 已知第二次制动信号结束时, “和平号”做环绕地球的最后一圈飞行. 若将它的轨道近似看作圆形, 其离地面高度为 192 km , 那么它的周期为多少? (取地球半径为 6400 km , 地球质量为 $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$)

8. “神舟五号”飞船于 2003 年 10 月 15 日将我国首位宇航员杨利伟成功送入太空, 并绕地球飞行了 14 圈, 历时 21 小时. 若将飞船的运动看作匀速圆周运动, 求其离地面的高度.

9. 有人说: “若能观察到某行星附近的一颗卫星的运行周期, 我们就可以估算出该行星的密度 ρ , 因为 $\rho T^2 = \frac{3\pi}{G}$.” 这种说法正确吗?

10. 某星球的半径与地球半径之比为 2:1, 质量之比为 1:5, 假如某人在此星球上和在地上跳高, 则他在此星球上和在地上所能跳起的竖直高度之比是多少?

11. 中子星是恒星演变到最后的一种存在形式, 那么:

(1) 有一密度均匀的星球, 以角速度 ω 绕自身的几何对称轴旋转. 若维持其表面物质不因快速旋转而被甩掉的力只有万有引力, 那么该星球的密度至少要多大?

(2) 蟹状星云中有一颗中子星, 它每秒转 30 周, 以此数据估算一下这颗中子星的最小密度.

12. 已知物体从地球上挣脱地球引力所需的速度 (即第二宇宙速度) 为第一宇宙速度的 $\sqrt{2}$ 倍, 即 $v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$. 其中 G 、 M 、 R 分别表示万有引力常量、地球质量和地球半径.

对任何一个天体，物体从该天体上挣脱天体引力所必需的速度叫逃逸速度。其计算公式跟地球第二宇宙速度的计算公式一样。当逃逸速度大于真空中的光速 c 时，就意味着连光子也无法挣脱该天体的引力而射出，那么外界就无法直接接收到该天体的任何信息，这样的天体称为“黑洞”。取太阳的质量为 $2 \times 10^{30} \text{ kg}$ 。一颗质量为太阳 100 倍的星球，当它坍塌到半径为多大时就会演化为一个黑洞？

广东教育出版社

第四章

机械能和能源

自古以来，人类就不断地利用自己的智慧，发明出各式各样的机械，以满足生活和生产的需要。特别是随着现代科学技术的迅猛发展，各种操作方便、功能强大的现代化机械设备不断涌现，使人们的生活和工作更加便利、高效。但是你是否想过，各种机器的运转，是通过能量的转化来实现的，它们都要消耗能源，而地球上可供人类使用的能源又是有限的。此外，能源的利用也给我们赖以生存的环境带来了污染。因此，节约能源，寻找和开发新能源，是保持人类与自然、环境和谐与平衡，实现人类社会可持续发展所面临的重大问题。

自然界的物质有不同的运动形式，每一种运动形式都有一种能量相对应。本章通过定量研究机械运动中的能量及其相互转化，进一步认识功和能的关系，理解自然界各种运动形式的多样化统一。同时，树立节约能源、保护环境意识。



第一节 功

怎样才算做了功

在日常生活中，利用机械工作的情况是非常多的，例如，用一根直杆撬起石头，起重机吊起货物，汽车牵引拖车前进等，如图 4-1-1 所示。

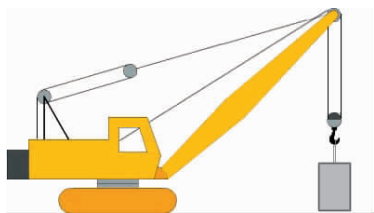


图 4-1-1 机械工作的事例

专业术语

功
work

分析上述机械工作的过程，不难发现，尽管各种机械的构造不同，工作的对象不同，但它们在工作时都具有一个共同特征：机械给工作对象施以力的作用，使工作对象沿力的方向发生了位移。在物理学中，如果一个物体受到力的作用，并使物体在力的方向上发生一段位移，就说这个力对物体做了机械功，简称功。

讨论与交流

下面四幅图片所描述的情景中，人是否对物体做了功？说说你的理由。



图 4-1-2 将地面上的物体往上堆积



图 4-1-3 在水平方向搬运一盆花



图 4-1-4 费了很大的力也没有将重物举起



图 4-1-5 用拖把拖地

如何计算功

通过上面的分析和讨论，我们知道，力和在力的方向上发生的位移，是做功的两个要素。功的大小由力的大小和物体在力

的方向上的位移大小来决定，力越大，位移越大，力对物体做的功就越大。

当力的方向与物体位移的方向一致时（如图 4-1-6），功等于力的大小和位移大小的乘积。用 F 表示力的大小， s 表示位移的大小， W 表示力 F 所做的功，则有

$$W = Fs$$

当力的方向与物体位移的方向不一致时，如何计算功呢？

如图 4-1-7 所示，当物体在与运动方向成 α 角的力 F 作用下，沿运动方向发生了一段位移 s 时，我们可以这样求出力 F 所做的功。

首先把力 F 分解为两个分力：沿位移方向的分力 $F_1 = F \cos \alpha$ ；沿垂直位移方向的分力 $F_2 = F \sin \alpha$ 。

由于物体在分力 F_1 的方向上发生了一段位移 s ，因此分力 F_1 做的功

$$W_1 = F_1 s = Fs \cos \alpha$$

物体在分力 F_2 的方向上没有发生位移，因此分力 F_2 做的功为零。

所以力 F 对物体所做的功 W 为

$$W = Fs \cos \alpha \quad (4.1.1)$$

即力对物体所做的功等于力的大小、位移的大小以及力和位移夹角的余弦的乘积。

功是标量。在国际单位制中，功的单位为焦耳，简称焦，符号是 J。1 J 等于 1 N 的力使物体在力的方向上发生 1 m 的位移时所做的功的大小。

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

功有正、负之分吗

在功的公式 $W = Fs \cos \alpha$ 中包含了一个力对物体做功时可能出现的情况：

(1) 当 $\alpha = \frac{\pi}{2}$ 时， $\cos \alpha = 0$ ， $W = 0$ 。这表示力 F 的方向与位移 s 的方向垂直时，力 F 不做功。

(2) 当 $\alpha < \frac{\pi}{2}$ 时， $\cos \alpha > 0$ ， $W > 0$ 。这表示力 F 的方向与位移 s 的方向成锐角时，力 F 对物体做正功。

(3) 当 $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$ 时， $\cos \alpha < 0$ ， $W < 0$ 。这表示力 F 的方向与位移 s 的方向成钝角时，力 F 对物体做负功。



图 4-1-6

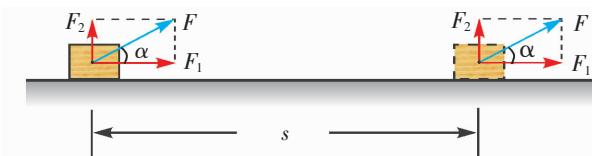


图 4-1-7



图 4-1-8 登山

讨论与交流

1. 你能不能就上述力对物体做功的每一种情况举出生活中的一些实例?
2. 有人说, 一个力对物体做 -10 J 的功, 另一个力对物体做 5 J 的功, -10 J 的功一定比 5 J 的功小. 对此, 你有何看法?

一个力对物体做负功, 往往说成是物体克服这个力做功. 如摩擦力对汽车做负功, 也可以说成是汽车克服摩擦力做功; 人登山 (如图 4-1-8) 时, 重力做了负功, 这时, 也往往说成人克服重力做了功.

当物体在几个力的共同作用下发生一段位移时, 这几个力对物体所做的总功, 等于各个力分别对物体所做的功的代数和, 即这几个力的合力对物体所做的功.

讨论与交流

试利用所学的知识证明上述结论的正确性.

例: 如图 4-1-9 所示, 一个人用与水平方向成 60° 角的力 $F = 40\text{ N}$ 拉一个木箱, 在水平地面上沿直线匀速前进了 8 m , 求:

- (1) 拉力 F 对木箱所做的功.
- (2) 摩擦力对木箱所做的功.
- (3) 外力对木箱所做的总功.



图 4-1-9

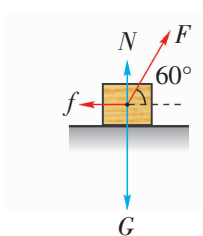


图 4-1-10

分析: 木箱受到重力、支持力、拉力和摩擦力 (如图 4-1-10) 的作用, 其中重力和支持力的方向与位移方向垂直, 所以不做功, 只有拉力和摩擦力对木箱做功. 由于物体做匀速直线运动, 所以, 摩擦力与拉力在水平方向的分力大小相等, 方向相反, 摩擦力做负功, 拉力做正功.

解: 根据功的公式 $W = Fs \cos \alpha$, 可得

- (1) 拉力 F 对木箱所做的功为

$$W_1 = Fs \cos 60^\circ = 40 \times 8 \times \frac{1}{2} \text{ J} = 1.6 \times 10^2 \text{ J}$$

- (2) 摩擦力 f 对木箱所做的功为

$$\begin{aligned} W_2 &= fs \cos 180^\circ = (F \cos 60^\circ) s \cos 180^\circ \\ &= 40 \times \frac{1}{2} \times 8 \times (-1) \text{ J} = -1.6 \times 10^2 \text{ J} \end{aligned}$$

(3) 外力对木箱做的总功为

$$W = W_1 + W_2 = 1.6 \times 10^2 \text{ J} + (-1.6 \times 10^2 \text{ J}) = 0$$

http 我们的网站

变力做功



练习

1. 只要对物体施加一个力，是不是这个力对物体就一定做了功？

2. 当卫星围绕地球做圆周运动时，引力对卫星做功吗？

3. 计算力 F 在下列各种情况下做了多少功.

(1) 用水平推力 F 推质量为 m 的物体沿光滑水平面前进 s 的距离.

(2) 用水平推力 F 推质量为 $2m$ 的物体沿动摩擦因数为 μ 的水平面前进 s 的距离.

(3) 斜面倾角为 α ，与斜面平行的推力 F ，推一个质量为 $2m$ 的物体沿光滑斜面前进 s 的距离.

4. 如图 4-1-11 所示，雪橇在与水平方向成 α 角的拉力 F 的作用下，在水平雪面上沿直线匀速前进了 s 的距离.

(1) 试求作用在雪橇上的各个力所做的功.

(2) 外力对雪橇做的总功是多少？

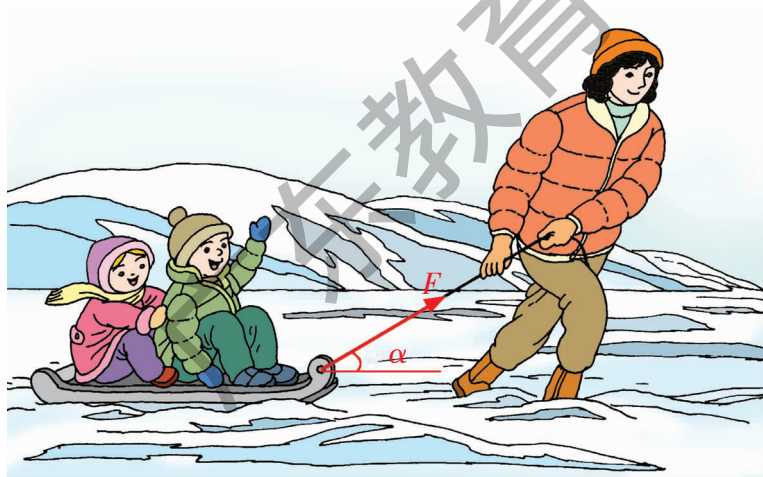


图 4-1-11

5. 用起重机将质量为 m 的物体匀速吊起一段距离，那么作用在物体上的各力做功情况应是下列说法中的哪一种？（ ）

A. 重力做正功，拉力做负功，合力做功为零

B. 重力做负功，拉力做正功，合力做正功

C. 重力做负功，拉力做正功，合力做功为零

D. 重力不做功，拉力做正功，合力做正功

6. 足球运动员向足球踢了一脚，踢球的力 $F=100 \text{ N}$ ，球在地面上滚动的距离 $s=50 \text{ m}$ ，根据 $W=Fs$ 得出运动员踢球做的功是 5000 J . 这样求踢球做的功对不对？为什么？

第二节 动能 势能

专业术语

能量
energy

功和能是两个联系密切的物理量. 一个物体能够对其他物体做功, 我们就说这个物体具有能量. 如汹涌的波涛能将岸边的物体冲走 (如图 4-2-1); 涨落的潮汐能推动水轮机转动 (如图 4-2-2); 风推动风车转动 (如图 4-2-3). 因此, 波涛、潮汐、风等都具有能量.

当一个物体对另一个物体做功后, 它的一部分能量就转移到了这个物体上, 因此, 做功的过程就是能量转化的过程. 做了多少功, 就有多少能量发生转化, 所以, **功是能量转化的量度**.

知道了功和能的这种关系, 就可以通过做功的多少, 定量地研究能量及其转化的问题了.

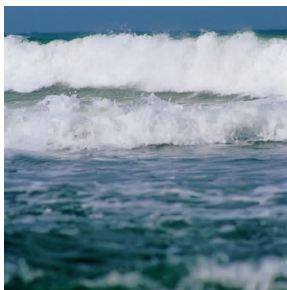


图 4-2-1 汹涌的波涛

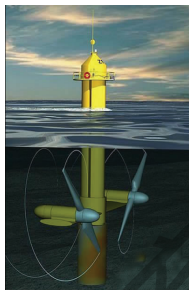


图 4-2-2 潮汐推动水轮机转动



图 4-2-3 风推动风车转动

动能

专业术语

动能
kinetic energy

我们知道, **物体由于运动而具有的能量叫做动能**. 物体的动能取决于物体的质量和它的速度大小. 物体的质量越大, 速度越大, 它的动能就越大. 那么, 物体的动能与其质量和速度的大小有怎样的定量关系呢?

如图 4-2-4 所示, 一个质量为 m 、初速度为 v 的物体, 在水平桌面上运动, 因受摩擦阻力 f 的作用, 运动一段位移 s 后静止下来. 在这一过程中, 物体克服摩擦阻力做了功, 根据功和能的关系, 这个功在量值上就等于物体初始所具有的动能.

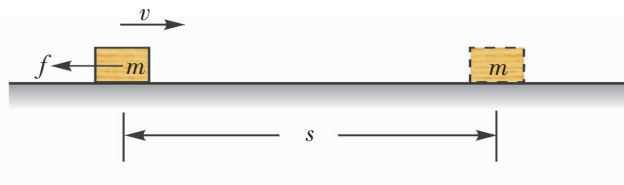


图 4-2-4

按照上述推理过程, 选初速度的方向为正方向, 根据牛顿第二定律 $F=ma$,

$$-f=m(-a)$$

根据运动学公式 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$,

$$0 - v^2 = 2(-a)s, \text{ 即 } s = \frac{v^2}{2a}$$

摩擦力对物体所做的功是

$$W = -fs = m(-a) \cdot \frac{v^2}{2a} = -\frac{1}{2}mv^2$$

即物体克服摩擦力做的功大小为

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

根据功和能的关系, 上式中的 $\frac{1}{2}mv^2$ 是一个具有特定意义的物理量, 这个量正是质量为 m 、初速度为 v 的物体所具有的动能. 若用 E_k 表示物体的动能, 那么, 质量为 m 的物体, 以速度 v 运动时的动能是

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4.2.1)$$

上式表明, 物体的动能等于物体的质量与它的速度的平方乘积的一半.

动能是标量, 动能的单位与功的单位相同, 在国际单位制中都是焦耳, 简称焦, 符号是 J.

重力势能

重力势能的概念. 机械运动范围内的能量, 除了动能之外, 还有势能. 在生活和生产实践中, 我们知道, 处在高处的物体落下时能够做功, 例如, 耸立在峭壁上的石头 (如图 4-2-5), 落下时能把地面砸出很深的坑; 蓄能水电站水库中的水 (如图 4-2-6), 释放时能带动发电机, 使它发电. 这些说明处在高处的物体具有能量, 所以它们能够做功. 我们把这种由物体所处位置的高度决定的能量称为重力势能. 因为重力是地球与物体之间的相互作用力, 同时, 一般物体所处的高度总是相对于地面来说的, 因此, 重力势能既和物体与地球之间相互作用的重力有关, 又和这两者的相对位置有关.

专业术语

重力势能
gravitational potential energy

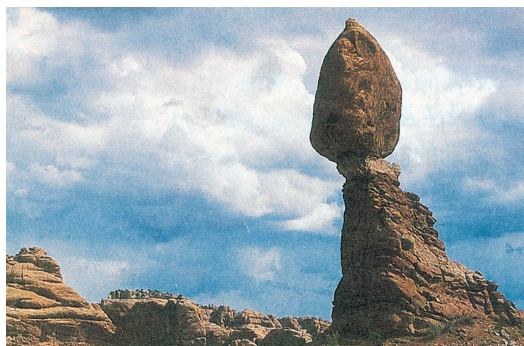


图 4-2-5 峭壁上的石头



图 4-2-6 蓄能水电站水库中的水

重力的功. 物体之间存在着各种各样的相互作用力, 但并不是所有的相互作用力, 都能引入势能的概念.

根据功和能的关系，重力势能是与重力做功密切联系的，因此，要认识重力势能，就必须首先研究重力做功的特点。

讨论与交流

如图 4-2-7，将一个质量为 m 的小球，从同一高度 h 分别沿竖直方向下落、沿斜面下滑、沿水平抛出，最后落到同一水平面内。小球沿上述三条不同的路径运动，重力对小球做的功相同吗？重力做功与物体运动的路径有关吗？

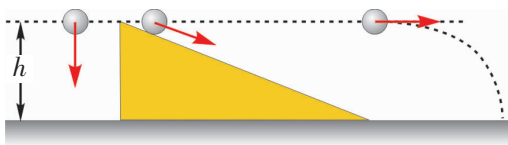


图 4-2-7 沿不同路径运动的物体

通过上面的讨论与交流，我们知道，小球沿上述三条不同的路径运动，重力对小球做的功 W_G 都等于 mgh ，与小球运动的具体路径无关。下面我们对此作出理论分析。

如图 4-2-8 所示，一个质量为 m 的物体，在重力的作用下，从高度为 h_1 的位置 A ，沿任意路径运动到高度为 h_2 的位置 B ，我们把整个路径分成许多很短的间隔，由于每一段都很小，因而都可以近似地看作一段倾斜直线。在任一小段间隔的位移 Δs 中，重力所做的功

$$\Delta W_G = mg \Delta s \cos \alpha = mg \Delta h$$

上式中 $\Delta h = \Delta s \cos \alpha$ ，是物体在位移 Δs 中的高度差。物体通过整个路径时重力所做的功，等于重力在每一小段上所做的功的代数和，即在这一过程中，重力所做的功

$$W_G = \sum \Delta W_G = \sum mg \Delta h = mg \sum \Delta h = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$$

由此可知，重力做功的特点是：**只与运动物体的起点和终点的位置有关，而与运动物体所经过的路径无关。**

重力势能。 根据功和能的关系， mgh 是一个具有特定意义的物理量，这个量既与重力所做的功密切相关，又由物体所在位置的高度来决定，这与我们前述的重力势能的概念相一致。因此，我们把物理量 mgh 称为物体的重力势能，常用 E_p 来表示，即

$$E_p = mgh \quad (4.2.2)$$

上式表明，物体的重力势能等于它所受重力的大小与所处高度的乘积。

重力势能是标量，它的单位与功的单位相同，在国际单位制中为焦耳，简称焦，符号是 J。

讨论与交流

若用 E_{p1} 表示物体在初始位置的重力势能， E_{p2} 表示物体在终点位置的重力势能，试以自由落体和竖直上抛为例，导出重

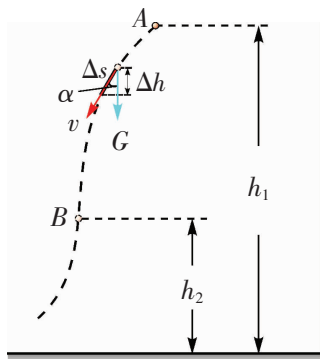


图 4-2-8

力做功 W_G 与重力势能变化的关系.

这个关系式可表示为_____.

通过上述的讨论与交流, 我们可以得到重力做功与重力势能的关系

$$W_G = E_{p1} - E_{p2} \quad (4.2.3)$$

其中 $E_{p1} = mgh_1$ 表示物体在初始位置的重力势能, $E_{p2} = mgh_2$ 表示物体在终点位置的重力势能.

上式表明, 重力做正功时, 重力势能减少; 重力做负功时, 重力势能增加.

重力势能的相对性. 物体具有重力势能 mgh , 总是相对某一水平面来说的. 我们把重力势能为零的水平面叫做参考平面. 选择不同的参考平面, 同一物体在空间同一位置的重力势能就不同.

讨论与交流

如图 4-2-9, 根据课文内容与同学们交流, 说说放在书柜中第二层的一本书相对不同的参考平面, 它的重力势能有什么不同.

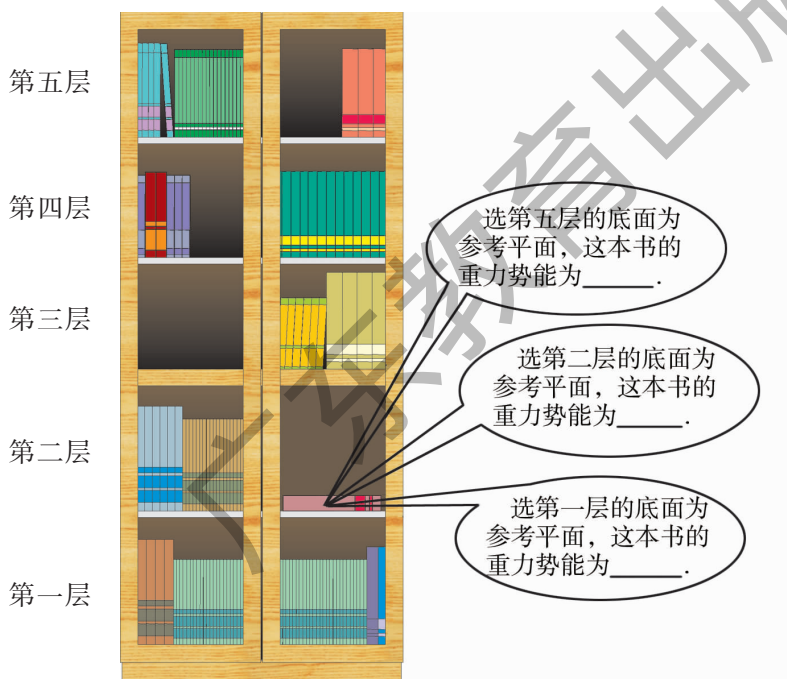


图 4-2-9 重力势能的相对性

通常情况下, 我们选择地面作为参考平面, 但在实际问题中, 视研究问题的方便可选不同的平面作为参考平面. 对选定的参考平面而言, 在参考平面上方的物体, 高度是正值, 重力势能也是正值; 在参考平面下方的物体, 高度是负值, 重力势能也是负值. 选择不同的参考平面, 物体的重力势能的数值虽然不同, 但人们关心的往往只是重力势能的差值, 这个差值并不因选择不同的参考平面而有所不同.

弹性势能

专业术语

弹性势能

elastic potential energy

势能

potential energy

发生形变的物体，在恢复原状时能够对外界做功（如图4-2-10），因而具有能量，这种能量叫做弹性势能。



发条上紧后的玩具青蛙会跳动



拉开的弓可将箭发射出去

图 4-2-10

弹性势能跟形变的大小有关系。例如弹簧的弹性势能跟弹簧被拉伸或压缩的长度有关，被拉伸或压缩的长度越大，恢复原状时对外做的功就越多，弹簧的弹性势能就越大。

重力势能是由地球和地面上物体的相对位置决定的，弹性势能是由发生弹性形变的物体各部分的相对位置决定的。与相互作用物体的相对位置有关的能量叫做势能。在以后学习中我们还会遇到其他形式的势能。

实践与拓展

请设计一个实验，研究在弹性限度内当弹簧被压缩和拉长相等的长度时，其所具有的弹性势能是否相等。

http 我们的网站

1. 能的概念
2. 保守力和耗散力

练习

1. 比较动能和势能的不同之处。
2. 我国发射的第一颗人造地球卫星，质量为 173 kg ，轨道速度为 7.2 km/s ，它的动能是多少？
3. 下面的物体中，只具有动能的是（ ），只具有势能的是（ ），既具有动能又具有势能的是（ ）。（以地面为参考平面）
 - A. 停在地面上的汽车
 - B. 在空中飞行的飞机
 - C. 被起重机吊在空中静止的货物
 - D. 压缩的弹簧
 - E. 正在平直公路上行驶的汽车

4. 质量为 50 kg 的人，沿着倾角为 30° 的斜坡向上走了 150 m ，重力对他做多少功？他克服重力做多少功？他的重力势能增加了多少？

5. 质量是 100 g 的球从 1.8 m 的高处落到水平地面上，又弹回到 1.25 m 的高度。在整个过程中重力对球所做的功是多少？球的重力势能变化了多少？

6. 一根粗细均匀，长为 5 m 、质量为 60 kg 的电线杆横放在地面上，如果要把它竖直立起，至少要做多少功？它的重力势能改变了多少？ ($g = 10\text{ m/s}^2$)

广东教育出版社

第三节 探究外力做功与物体动能变化的关系

运动的物体具有动能，而做功又可以改变物体的动能，如离站加速行驶的列车，动力对列车做功，列车的动能越来越大；在粗糙水平面上滑行的物体，摩擦力对物体做负功，物体的动能越来越小。那么做功与物体动能的变化有什么定量关系呢？

实验与探究

(一) 实验研究

1. 实验器材：铁架台（带铁夹）、电火花打点计时器、刻度尺、重物、纸带、电源等。

2. 实验装置：如图 4-3-1 所示。

3. 实验方法：通过物体由静止自由下落过程中，重力对物体做功，物体动能增加，让重物带着纸带下落，利用打点计时器记录它的运动情况。分析纸带上点迹的分布，测出纸带上某两点距离，并计算出该两点处重物瞬时速度及对应的动能，比较重力做的功 W_G 和动能的变化 ΔE_k ，就可判断和确定外力做功与动能变化之间的定量关系。

4. 实验要求及应注意的问题：

(1) 实验时把打点计时器固定在置于桌边的铁架台上，并将限位孔伸出桌外；将一端夹有重物的纸带的另一端从下往上穿过限位孔，用手提住纸带的上端，小心竖直地上下移动纸带，寻找一个手感阻力最小的位置，并使重物停靠在打点计时器附近。先接通电源，后松手，让重物带着纸带自由下落。最后由打出的纸带，通过分析论证，得出实验结论，并写出实验报告。

(2) 为了提高实验结果的可靠性，应重复多次实验，从中挑选打点清晰的一条纸带进行数据测量，如图 4-3-2 所示。为了便于测量，最好选择相邻点的间隔比较明显的点作为计数的起始点，从起始点开始在计数点上依此标上 0、1、2、3…，并以此测出各点到 0 点的距离： h_{01} 、 h_{02} 、 h_{03} 、 h_{04} 、 h_{05} …



图 4-3-2

(3) 由于自由落体运动是匀变速直线运动，根据匀变速直线运动某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度，因此，纸带上某点的瞬时速度就等于该点前后相邻两点间的平均速度。

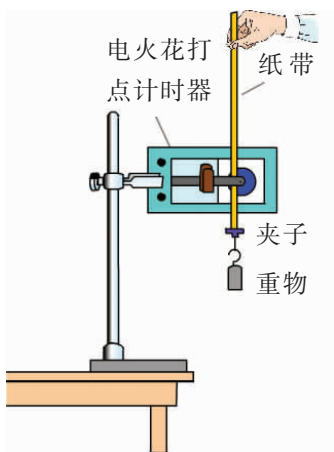


图 4-3-1 实验装置

在计数点 1 处的瞬时速度为 $v_1 = \frac{h_{02}}{2T}$

在计数点 2 处的瞬时速度为 $v_2 = \frac{h_{03} - h_{01}}{2T}$

类似地，可以计算出在计数点 3、4、5 等处的瞬时速度。

5. 实验数据参考表格

	选择的两点的速度 $v \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$		选择的两点的动能 $E_k \text{ (J)}$		选择的两点间距离 $\Delta h \text{ (m)}$	重力做功 $W_G \text{ (J)}$	动能的增加量 $\Delta E_k \text{ (J)}$
	v_1	v_3	E_{k1}	E_{k3}	$h_{03} - h_{01}$	mgh_{13}	$E_{k3} - E_{k1}$
1	v_1	v_3	E_{k1}	E_{k3}	$h_{03} - h_{01}$	mgh_{13}	$E_{k3} - E_{k1}$
2	v_1	v_4	E_{k1}	E_{k4}	$h_{04} - h_{01}$	mgh_{14}	$E_{k4} - E_{k1}$
3	v_2	v_5	E_{k2}	E_{k5}	$h_{05} - h_{02}$	mgh_{25}	$E_{k5} - E_{k2}$

 讨论与交流

1. 你的实验结论是什么？
2. 在本实验探究中，有哪些因素可能影响实验结果？你是如何控制这些因素的？
3. 你是否想到其他的实验方法？

(二) 理论分析与论证

如图 4-3-3 所示，质量为 m 的物体，在一恒定拉力 F 作用下，以速度 v_1 开始沿水平面运动，经位移 s 后速度增加到 v_2 ，已知物体与水平面的摩擦力恒为 f 。现在我们根据牛顿第二定律和运动学公式导出合力对物体所做功与物体动能变化的关系。

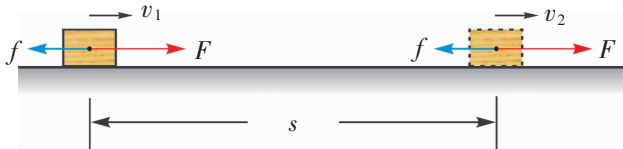


图 4-3-3

设初速度 v_1 的方向为正方向，根据牛顿第二定律 $F=ma$ ，得

$$F - f = ma$$

根据运动学公式 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ ，得

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

合力对物体所做的功

专业术语

动能定理

theorem of kinetic energy

动能定理不仅适用恒力做功和直线运动，也适用变力做功和曲线运动。

$$W = Fs - fs = (F - f)s = \frac{ma(v_2^2 - v_1^2)}{2a}, \text{ 即}$$

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

实验结果和理论分析都告诉我们，合力对物体所做的功等于物体动能的变化。这个结论叫做动能定理。

若用 E_{k2} 表示物体的末动能， E_{k1} 表示初动能，则动能定理可表示为

$$W = E_{k2} - E_{k1} \quad (4.3.1)$$

由上式可知，当外力对物体做正功时，末动能大于初动能，物体的动能增加；当外力对物体做负功时，末动能小于初动能，物体的动能减少。

例：如图 4-3-4 所示，质量为 m 的物体在水平恒力 F 的作用下，由静止开始前进 s_1 后撤去力 F ，物体与水平面的摩擦力恒为 f 。物体从开始到最终停止运动的位移是多少？

分析：如图 4-3-4，以运动物体为研究对象，设物体起始位置为状态 1，撤去力 F 时为状态 2，最后停止运动为状态 3。从状态 1 到状态 2 的过程中，物体在水平方向上受拉力 F 和摩擦力 f 的作用，合力做的功 $W_1 = (F - f)s_1$ ；从状态 2 到状态 3 的过程中，物体在水平方向上仅受摩擦力 f 作用，合力做功 $W_2 = -f(s - s_1)$ 。物体在状态 1 时的动能 $E_{k1} = 0$ ，在状态 2 时的动能 $E_{k2} = \frac{1}{2}mv^2$ ，在状态 3 时的动能为 $E_{k3} = 0$ 。

由动能定理可求出物体最终停止运动的总位移 s 。

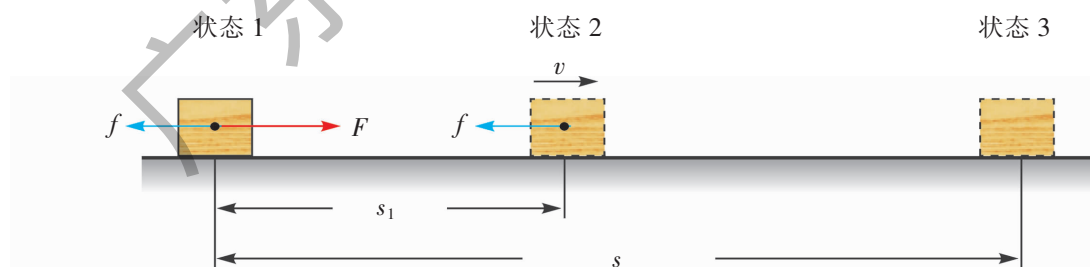


图 4-3-4

解：根据动能定理，对于物体从状态 1 到状态 2 的过程，有

$$(F - f)s_1 = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

对于物体从状态 2 到状态 3 的过程，有

$$-f(s - s_1) = 0 - \frac{1}{2}mv^2$$

联立以上两式可得

$$Fs_1 - fs = 0$$

$$s = \frac{Fs_1}{f}$$

利用动能定理解决力学问题，首先要分析物体的受力，列出各个力所做的功，其次要明确物体的初动能和末动能，然后利用动能定理求解。

其实该题可直接考虑首末状态. 应用动能定理有

$$Fs_1 - fs = 0$$

$$s = \frac{Fs_1}{f}$$

本题还可以运用牛顿第二定律和匀变速直线运动公式进行解答, 请试一试, 并和上述解法作一比较, 看一看哪种解法更简捷.

实践与拓展

1. 给你一把卷尺和一个弹簧测力计, 请设计一个实验, 测量你水平抛出物体时所做的功, 并实际做一下.
2. 试设计一个实验方案, 估测自行车行驶时受到的阻力, 按照你的实验方案, 和同学一起实测一下.
3. 请收集汽车刹车距离与车速关系的数据, 尝试用动能定理进行解释.
4. 测变力做的功.

利用平抛仪 (如图 4-3-5)、弹簧测力计、刻度尺、钢球 (有孔)、细线等器材, 测出小球沿斜槽滑下时摩擦力所做的功.

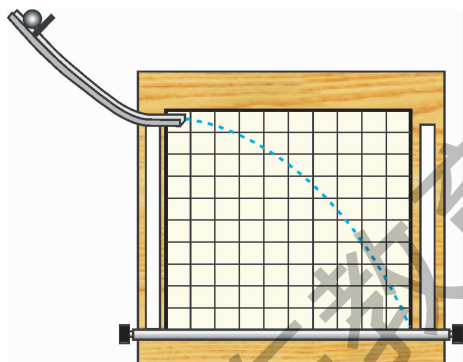


图 4-3-5

我们的网站

动能定理和功能原理

练习

1. 一起重机以恒定的竖直向上的力 F , 将一质量为 m 的物体, 由静止开始向上提升, 求上升 h 高度时的速度.
2. 一个物体在水平方向的两个恒力作用下沿水平方向做匀速直线运动, 若撤去其中的一个力, 则 ().
 - A. 物体的动能可能减少
 - B. 物体的动能可能不变
 - C. 物体的动能可能增加
 - D. 余下的力一定对物体做功
3. 质量分别为 M 和 m 的大型载货汽车和小汽车, 以相同的速度 v_0 运动, 两车与地面的动摩擦因数 μ 相同. 如果它们均依靠滑动摩擦停下来, 大型载货汽车跑得远些吗? 为什么?

4. 如图 4-3-6, 物体从斜坡上 A 处由静止开始下滑, 滑到 B 处后又沿水平直路前进到 C 处停下. 如果物体从 A 处以一定的初速度 v_0 滑下, 求物体停下处 D 距 C 多远? 设物体与地面的动摩擦因数为 μ .

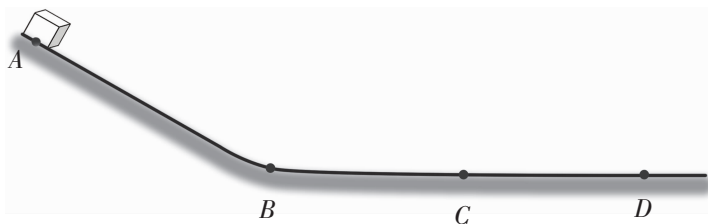


图 4-3-6



图 4-3-7

5. 在一个带喷水口的塑料瓶中装满水, 用力挤压可使水从喷水口射出 (如图 4-3-7). 用这种方法, 可以估测挤压瓶时所做的功. 请你做一做, 并说明你要用到哪些实验器材, 需要测量哪些物理量, 写出你估测所做功的表达式.

6. 某同学将一质量为 m 的物体, 以初速度 v_0 沿斜上方抛出, 物体落地时的速度为 v , 抛出时物体距地面的高度为 h , 重力加速度为 g . 求:

- (1) 该同学对物体所做的功.
- (2) 物体在空中运动过程中, 克服空气阻力做的功.

第四节 机械能守恒定律

动能与势能（包括重力势能和弹性势能）统称为**机械能**。动能和势能是可以相互转化的，它们之间的转化是通过什么来实现的呢？在转化的过程中，机械能总量是否发生变化呢？

专业术语

机械能

mechanical energy

动能与势能之间的相互转化

动能和势能之间的相互转化是日常生活中常见的一种现象。如图 4-4-1 所示的是蹦床运动员在训练中被竖直向上抛出的情景：在抛出时，她获得了动能，上升过程重力做负功，上升的速度逐渐减小，她的动能减少，重力势能增加。运动员在达到最高点时速度为零，此时，运动员的动能为零，重力势能最大。当运动员下落时，一个逆向的能量转化过程就开始了：重力做正功，她的动能不断增加，重力势能不断减少。

飞流直下的瀑布（如图 4-4-2）、撑竿跳高运动员（如图 4-4-3）的动能和势能都在不断地转化。



图 4-4-1 蹦床运动

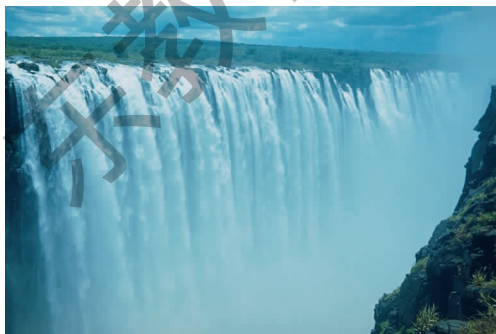


图 4-4-2 飞流直下的瀑布



图 4-4-3 撑竿跳高



讨论与交流

1. 动能和势能之间的相互转化是通过什么来实现的？
2. 你还能举出生活中其他动能和势能之间相互转化的实例吗？

机械能守恒定律的理论推导

专业术语

机械能守恒定律
law of conservation of
mechanical energy

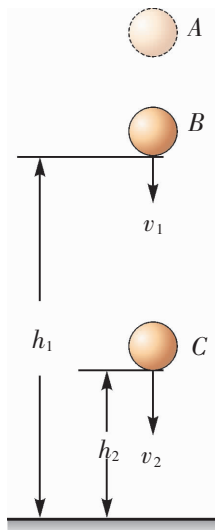


图 4-4-4

在上述例子中我们看到，动能和势能之间的相互转化是通过重力或弹力做功来实现的。动能和势能之间的相互转化遵循什么规律呢？

现在我们以小球的自由落体为例（如图 4-4-4），从理论上探究这个问题。

设一个质量为 m 的小球自 A 点开始自由下落。经过高度为 h_1 的 B 点（初位置）时速度为 v_1 ；下落到高度为 h_2 的 C 点（末位置）时速度为 v_2 。在自由落体运动中，小球只受到重力作用，重力做正功。设重力所做的功为 W_G ，则由动能定理可得

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

上式表示，重力所做的功等于小球动能的增加。

另一方面，由重力做功与重力势能变化的关系可知

$$W_G = mgh_1 - mgh_2$$

上式表示，重力所做的功等于小球重力势能的减少。

由以上两式可得

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

可见，在自由落体运动中，重力做了多少功，就有多少重力势能转化为等量的动能。

把上式移项后得到

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

即 $E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2}$ (4.4.1)

上式表示，小球在自由落体运动过程中，任何时刻动能与重力势能之和都保持不变，即它的机械能保持不变。

可以证明，上述结论不仅适用于自由落体运动，在只有重力做功的情形下，不论物体做直线运动还是曲线运动，上述结论都是正确的。

在只有重力做功的情形下，物体的动能和重力势能发生相互转化，而机械能的总量保持不变。这个结论叫做机械能守恒定律。

同样也可以证明，在弹性势能和动能的相互转化中，如果只有弹力做功，机械能的总量也保持不变。

 讨论与交流

1. 机械能守恒定律成立的条件是什么？
2. 在机械能守恒定律的表述中，你对“只有重力做功”是如何理解的？
3. 你还有没有其他方法推导出机械能守恒定律？请想一想，然后试一试。

例：一跳水运动员站在 $h = 10\text{ m}$ 的高台上做跳水表演，已知运动员跳离跳台时的速度 $v_0 = 5\text{ m/s}$ ，求运动员落至水面时速度 v 的大小。（忽略运动员身高的影响和空气阻力，取 $g = 10\text{ m/s}^2$ ）

分析：运动员跳离跳台后，只有重力做功，因此遵守机械能守恒定律。选择运动员为研究对象，设水面为参考平面，当运动员跳离跳台时，总的机械能为 $mgh + \frac{1}{2}mv_0^2$ ，而运动员落至水面时，总的机械能为 $\frac{1}{2}mv^2$ 。

解：以运动员为研究对象，从跳离跳台到落至水面，因为只有重力做功，机械能守恒，故有

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

所以运动员落至水面时速度 v 的大小为

$$v = \sqrt{2gh + v_0^2} = \sqrt{2 \times 10 \times 10 + 5^2}\text{ m/s} = 15\text{ m/s}$$

本题也可以应用运动学公式进行计算。请试一试，并和上述解法作一比较，看哪一种解法更简捷。

 资料活页

地铁线路节能设计——优化线路节能坡

地铁线路理想的纵断面是将车站设在纵断面的凸形坡段上，使列车进站时上坡，将动能转化为势能，列车出站时下坡，再将势能转化为动能，这样有利于减少能量消耗，达到节能的目的。故在进行地铁线路纵断面的设计中，应根据沿线地形、地质及施工方法等因素，尽量将地下或地面车站布置在纵断面的凸形部位上，并设置合理的进出站坡度，以节省电能消耗。

 我们的网站

过山车中的物理知识

 练习

1. 一个质量为 1 kg 的物体从离地面 20 m 高处自由下落，求下降 5 m 、 10 m 、 15 m 、 20 m 时的速度、重力势能、动能以及重力势能和动能的总和。（取 $g = 10\text{ m/s}^2$ ）

下降距离 (m)	速度 v (m/s)	重力势能 E_p (J)	动能 E_k (J)	$(E_p + E_k)$ (J)
5				
10				
15				
20				

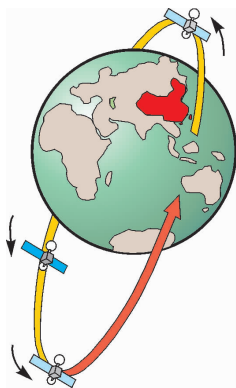


图 4-4-5

2. 忽略空气阻力, 下列物体运动过程中满足机械能守恒的是 ().

- A. 电梯匀速下降
- B. 物体自由下落
- C. 物体由光滑斜面顶端滑到斜面底端
- D. 物体沿着斜面匀速下滑
- E. 铅球运动员抛出的铅球从抛出到落地前

3. 人造地球卫星沿椭圆形轨道运动 (如图 4-4-5), 由开普勒行星运动规律可知, 当卫星从近地点向远地点运动时, 卫星的速度越来越小, 反之越来越大. 试用机械能守恒定律简单地解释这一现象.

4. 将质量为 m 的物体以初速度 $v_0 = 10 \text{ m/s}$ 竖直向上抛出, 忽略空气阻力, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 则:

- (1) 物体上升的最大高度是多少?
- (2) 上升过程中, 何处重力势能与动能相等?

5. 将一个质量为 2.0 kg 的小球从离地面 15 m 高的地方水平抛出, 抛出时小球的速度为 10 m/s , 忽略空气阻力, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$. 求:

- (1) 小球落地时速度的大小;
- (2) 小球从抛出到落地的重力势能的减少量.

6. 质量为 1 kg 的物体从倾角为 30° 、长为 2 m 的光滑斜面顶端由静止开始下滑, 若选初始位置为零势能点, 那么, 当它滑到斜面中点时具有的机械能和动能分别是 ().

- A. 10 J , 5 J
- B. 10 J , 15 J
- C. 0 J , 5 J
- D. 20 J , 10 J

第五节 验证机械能守恒定律

机械能守恒定律是力学中的一条重要规律. 本节我们要独立设计验证这个规律的实验方案, 并以此方案进行实际操作、观察、测量、记录和处理实验数据. 在实验时, 可能会遇到许多预料不到的问题. 如设计的实验方案理论上可行, 但实验误差较大, 或实验条件不具备, 或安全有问题等, 这时需要修改实验方案. 经历这样的过程, 我们不仅仅是验证了一条规律, 而且是像科学家那样经历了一次科学探究的过程, 会体验到发现、创造和成功的乐趣.

(一) 实验要求

1. 设计一种或几种能验证机械能守恒定律的实验方案.
2. 选择一种我们认为可行的实验方案, 进行实际操作.
3. 写出实验研究报告. 实验研究报告的内容一般应包括实验日期、实验目的、实验器材和装置、实验原理和方法、实验过程和步骤、现象与数据、数据分析与处理、结论与问题讨论等. 实验研究报告不要格式化, 要根据实际情况来写.

(二) 实验指导

1. 生活中, 动能与势能相互转化的现象是非常多的, 因此, 验证机械能守恒定律的途径和方法不止一种.

2. 在设计实验方案时, 下面的器材可以选用, 也可选用其他器材.

气垫导轨、小气源、数字计时器、光电门、挡光片、滑块、刻度尺、打点计时器、纸带、铁架台、钩码、夹子、细线、带孔小钢球.

3. 在设计实验方案时, 需要正确理解机械能守恒定律的内容, 特别注意机械能守恒定律成立的条件. 在此基础上, 综合运用所学的知识, 确定实验方法, 形成一个初步的实验方案. 最初的实验方案往往不很完善, 在你动手做的过程中可能会发现一些问题, 可将自己的方案和其他同学进行交流, 然后再进行改进, 最后形成一个可行的方案.

(三) 汇报与交流

1. 你是否验证了机械能守恒定律? 你是怎样验证的?
2. 在实验中进行了哪些观察和测量? 有哪些因素影响了观察或测量的结果? 你做了哪些工作来保证观察或测量结果的准确性?
3. 在实验中遇到了哪些困难? 发现了哪些问题? 又是如何

克服和解决的？

4. 如果再做一次同样的研究，需要在哪些方面进行改进？
5. 通过完成这项研究，有什么收获和体会？

实践与拓展

利用 DISLab 系统研究动能和重力势能转化中所遵循的规律。

可用的实验器材有：铁架台、摆球（质量已知）、铅笔、DISLab 实验仪一套、贴有方格纸的木板、刻度尺。

实验装置如图 4-5-1 所示，在铁架台上端用铁架悬挂一个摆球。为了测定小球在各个位置的瞬时速度，可在小球下部安置一块挡光片，并在相应位置处分别安装光电传感器，并使之与数据采集器相连接。

研究的问题：分别测定摆球在摆动过程中任意时刻的动能和重力势能，研究机械能的总量有什么特点。

实验要求：先进行定性研究，再进行定量研究，并写出研究报告。

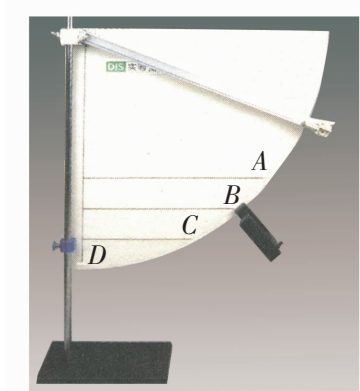


图 4-5-1

广东教育出版社

第六节 能量的转化与守恒

我们生活在一个复杂而多变的世界中，物质、能量、信息是构成世界的基本要素。能量无处不在，能量转化无时不有。那么，能量的转化是如何实现的？能量转化遵循什么规律呢？能量会被永久地利用吗？

各种各样的能量

前面我们学习了机械能，除此之外，自然界中还存在着不同形式的能量（见表 4-6-1）。

表 4-6-1 不同形式的能量

能量形式	含 义	具有相应能量的物体
机械能	机械能是与物体的运动或位置高度、形变相关的能量，可以表现为动能，也可以表现为势能	行驶的汽车、被拉开的弓、声音等
内能	内能是组成物体的粒子（原子或分子）的无规则运动所具有的动能和势能的总和	我们周围由分子（或原子）构成的物质
电能	电能是与电有关的能量	发电机、电池等
电磁能	电磁能是以各种各样的电磁波的形式传播的能量	无线电波、可见光、紫外线、微波和红外线等
核能	核能是一种储存在原子核内部的能量，原子核发生核反应（如裂变或聚变）时，会释放出巨大的能量	核反应堆、原子弹等
化学能	化学能是指储存在化合物的化学键里的能量	石油、煤、天然气等



仔细观察下面的图片，感受能量表现形式的多样性。



汽艇在海上行驶



电灯照明



木柴燃烧



原子弹爆炸

图 4-6-1 不同形式的能量

能量之间的转化

能量的存在形式多种多样，而且不同形式的能量可以相互转化。

我们所消耗的能量，无论是食物还是电，大部分是太阳能辐射到地球后转化而来的。如图 4-6-2 给出了太阳能和其他形式的能量转化过程示意图。

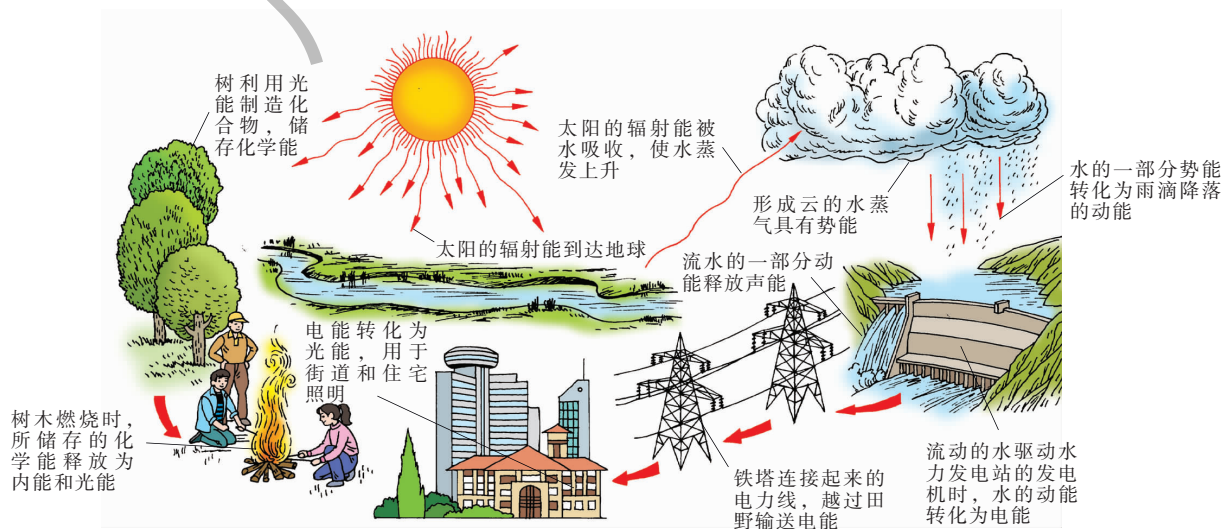


图 4-6-2

能量转化与守恒定律

在只有重力做功的情形下，动能可以转化为势能，势能也可以转化为动能，在转化过程中总的机械能守恒。在某些过程中，有其他力做功，如降落伞匀速下落，除重力对降落伞做功之外，降落伞还要克服空气阻力做功，这时机械能将不守恒，有部分的机械能将转化为伞和空气的内能。但是这些能量的总量将保持不变，即能量守恒。

大量事实表明：能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为另一种形式，或者从一个物体转移到另一个物体，在转化或转移的过程中其总量不变。这就是能量转化与守恒定律。

能量转化与守恒定律是最基本、最普遍、最重要的自然规律之一。它的发现经历了一个曲折的过程，是许多科学家长期探索、共同努力的结果。它把机械的、热的、光的、电的、磁的、化学的、生物的现象联系起来，揭示了自然界各种运动形式不仅具有多样性，而且具有统一性。它指出了能量既不能无中生有，也不能消灭，只能在一定条件下相互转化。

在能量转化与守恒定律建立之前，人们为了满足生产对动力日益增多的需要，幻想制造一种机器，它不需要任何动力和燃料，却能不断对外做功，称这种机器为“第一类永动机”。如图 4-6-3 是 17、18 世纪很多人在这种思想指导下设计的永动机的设想图，你认为他们设计得有道理吗？能量转化与守恒定律的发现，在理论上宣布制造第一类永动机的企图是不可能的。自从能量转化与守恒定律被发现以来，小到基本粒子，大到天体所发生的自然现象，人们还没有发现一个违背能量转化与守恒定律的事件。

物理学的任务是要发现自然界物质运动的普遍规律。这种规律的最简单形式之一，就是它表示了某个物理量的不变性；对于守恒量的寻求是物理学极为重要的研究内容和方向之一。

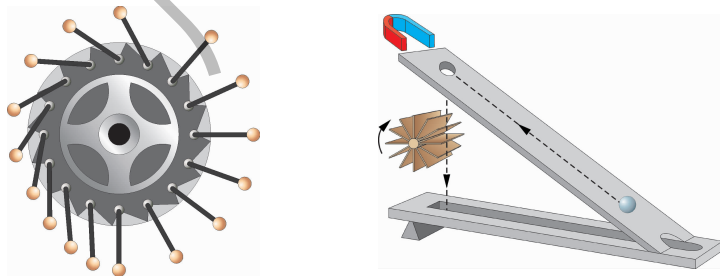


图 4-6-3 形式多样的永动机设想图

能量转化和转移的方向性

俗话说“水往低处流”，说的是水自然流动的方向性。在自然界中，许多现象的发生、发展都具有方向性。能量的转化和转移也是如此。比如说，烧火生热，化学能通过燃烧转化为内能，

但是内能不会自发地重新转化为化学能；又如冷水和热水混在一起，热水中的内能通过热传递可以自发地转移到冷水中去，但是内能不能自发地再从冷水传递回原来的热水，使热水和冷水重新分开。不仅如此，能量在被利用过程中总存在一定的损失，不可能 100% 地被利用，如现在大量使用在汽车中的内燃机，效率不超过 30%，也就是说，由燃烧而释放的内能，转化为有用的机械能的部分不超过 30%。如何提高能量的利用效率，是人类一直致力解决的问题。

实践与拓展

自然界中除了机械能之外还有其他形式的能，如内能、电能、光能、核能等。实际上，所谓机械能守恒，就是机械能若不与其他形式的能发生相互转化，机械能的总量保持不变，它是能量守恒的一种特殊形式。在常见的机械运动中摩擦发热是难以避免的，机械能总有一部分要转化为内能。如图 4-6-4 所示，是利用数据采集器，通过温度传感器与泡沫或者毛巾摩擦，观察到的温度传感器所测量的温度随时间的变化曲线。请选用不同的材料分别做实验，利用数据采集器，观察采集下来的温度随时间的变化曲线，看看使用哪一种材料做实验温度变化快，由此你能得出什么结论？你能否采用其他的方法验证你的结论？

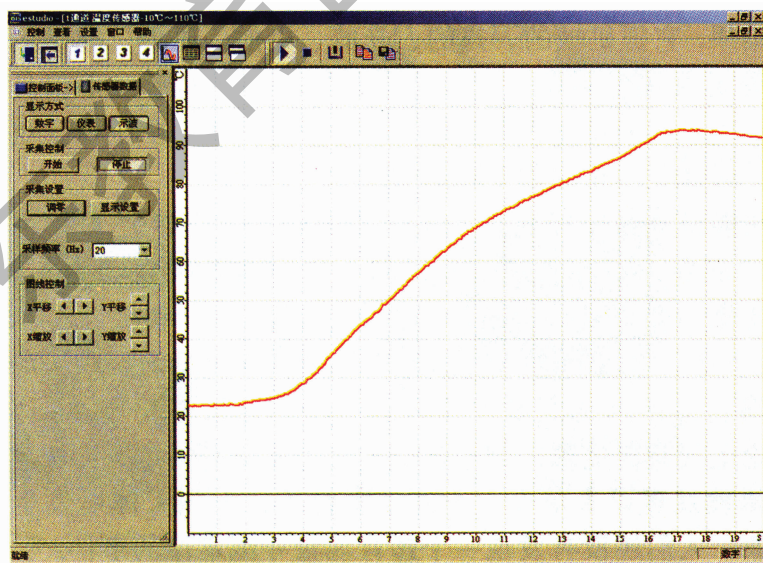


图 4-6-4

我们的网站

1. 能量转化与守恒定律的建立过程
2. 无污染的理想燃料——将水变成能源

练习

1. 当翠鸟发现鱼儿露出水面时，翠鸟就蹬开苇秆，像箭一样飞过去，叼起小鱼贴着水面往远处飞走，只见苇秆还在摇晃，

水波还在荡漾. 描述一下, 翠鸟在这一系列动作中, 涉及的能量转化.

2. 平直公路上行驶中的汽车制动后滑行一段距离, 最后停下; 流星在夜空中坠落并发出明亮的光焰; 降落伞在空中匀速下降; 条形磁铁在下落过程中穿过闭合线圈, 线圈中产生电流. 上述不同现象中所包含的相同的物理过程是 ().

- A. 物体克服阻力做功
- B. 物体动能转化为其他形式的能量
- C. 物体势能转化为其他形式的能量
- D. 物体机械能转化为其他形式的能量

3. 下列物体各具有哪种形式的能量?

- (1) 被拉长的橡皮筋.
- (2) 被拦河坝挡住的河水.
- (3) 正在空中下落的伞兵.
- (4) 在路上行走的人.
- (5) 被拧紧的钟表发条.

4. 某海湾占地面积 $1.0 \times 10^8 \text{ m}^2$, 涨潮时平均水深 30 m, 关上闸门可使水位保持 24 m 不变, 退潮时平均水深 20 m, 如图 4-6-5 所示, 利用此水坝建立一个水力发电站, 重力势能转化为电能的效率为 10%, 每天两次涨潮, 该发电站每天能发出多少电能?

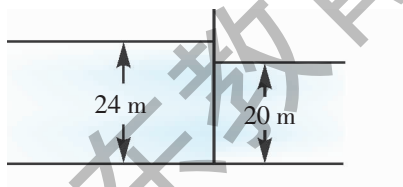


图 4-6-5

5. 一边长为 L 的均匀正方形板 $ABCD$ 重为 G , 在 A 点用悬线系住, AB 边和 CD 边处于水平位置, 如图 4-6-6 所示. 当从图示位置将板静止释放, 板摆动直至最后静止. 在这个过程中板的机械能损失为 _____.

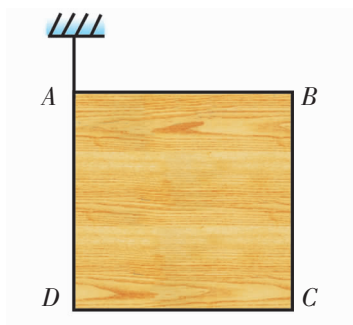


图 4-6-6

6. (1) 如图 4-6-7 所示, 将一个乒乓球从米尺的上端无初速度地放下, 乒乓球下落到与地面碰撞后又将反弹, 请仔细观察并记下每次反弹的高度, 将结果填在下面的表格中.

乒乓球初次下落的高度 H (m)	乒乓球第一次反弹的高度 h_1 (m)	乒乓球第二次反弹的高度 h_2 (m)	乒乓球第三次反弹的高度 h_3 (m)	乒乓球第四次反弹的高度 h_4 (m)

(2) 由表中的数据可得到每次反弹的高度与初次下落的高度之间有怎样的关系?

(3) 由 (2) 中得到的关系, 估测乒乓球能反弹多少次?

(4) 反弹的次数与哪些因素有关?

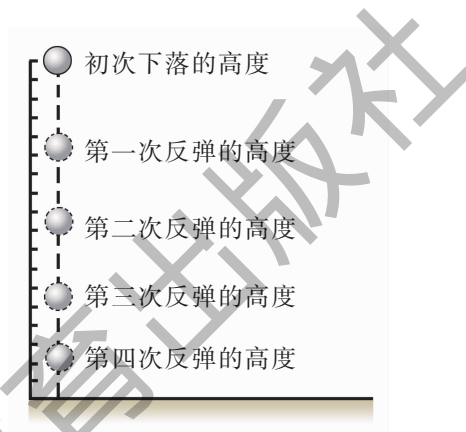


图 4-6-7

第七节 功率

如何描述物体做功的快慢

我们知道，农民在耕种同一块农田时，可以用牛来耕地，也可以用拖拉机来耕地，这两种耕地方式有什么不同呢？

显然，两种耕地方式，做的功是相同的，但所用的时间不同，也就是做功的快慢不同。在日常生活和生产实践中，对一种机械，我们不仅关心它能做多少功，更关心它做功的快慢。为了比较不同物体做功的快慢，我们需要引入一个新的物理量——**功率**。

专业术语

功率
power

功率是单位时间内做功的多少。我们说一个机械的功率是另一个机械的两倍，是说这一机械做同样的功所需的时间是另一机械的一半；或者说在相同的时间内，它做的功是另一机械的两倍。所以，功率是衡量机械性能的一个重要指标。

怎样计算功率

若物体在时间 t 内做的功用 W 表示，功率用 P 表示，则可用下面的公式来计算功率

$$P = \frac{W}{t} \quad (4.7.1)$$

在国际单位制中，功率的单位是瓦特，简称瓦，符号是 W。1 s 内完成 1 J 的功，功率就是 1 W。1 W = 1 J/s。

在技术上，功率的单位常用千瓦 (kW) 表示：1 kW = 1000 W。

若力 F 的作用方向与位移 s 的方向相同， $W = Fs$ ，则功率 $P = \frac{W}{t} = \frac{Fs}{t}$ 。又因为 $v = \frac{s}{t}$ ，所以功率

$$P = Fv \quad (4.7.2)$$

当物体做变速运动时，若 v 表示在时间 t 内的平均速度，则 P 表示力 F 在时间 t 内的平均功率；若 v 表示物体运动某一时刻的瞬时速度，则功率 P 表示该时刻的瞬时功率。

由于功是能量转化的量度，因此，功率也可以用来描述能量转化的快慢程度。

在我们使用的家用电器的铭牌上都标有该电器的额定功率，例如灯泡的额定功率，表示正常工作时它把电能转化成光能和

机械正常工作时，允许达到的最大功率叫做额定功率；机械实际运行的功率叫做实际功率。

内能的快慢。正常发光情况下 100 W 的灯泡比 40 W 的灯泡要亮，是因为 100 W 的灯泡比 40 W 的灯泡每秒消耗更多的电能。电器的额定功率是人们选购时经常要考虑的一个重要指标。功率小了，无法满足实际需要；功率太大，单位时间耗能太多，造成浪费。

例：一辆质量为 m 的汽车，以恒定的输出功率 P 在倾角为 θ 的同一斜坡上分别向上和向下匀速行驶（如图 4-7-1），汽车受到的阻力均为 f 。求：

- (1) 汽车上坡时的速度 v_1 和牵引力 F_1 ；
- (2) 汽车下坡时的速度 v_2 和牵引力 F_2 。

分析：以汽车为研究对象，汽车在斜坡上运动，受到重力、斜面对它的支持力、阻力和牵引力四个力的作用，由于汽车匀速行驶，汽车所受合力等于零。

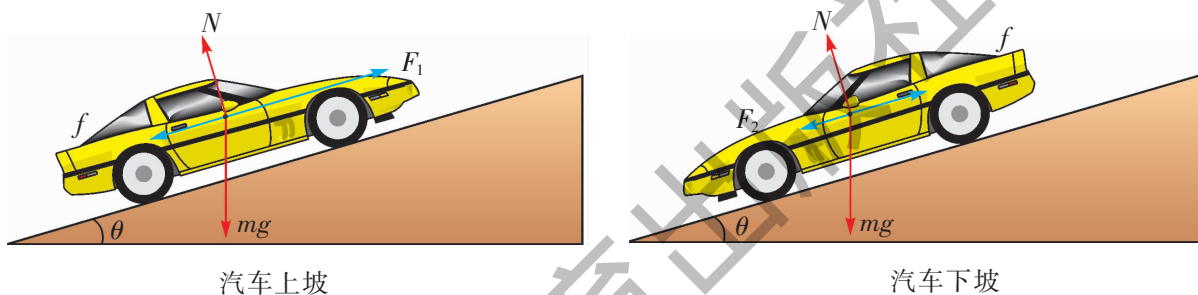


图 4-7-1

解：(1) 汽车上坡时沿斜面做匀速直线运动，则

$$F_1 = f + mg \sin \theta$$

$$P = F_1 v_1$$

解得

$$v_1 = \frac{P}{f + mg \sin \theta}$$

(2) 汽车下坡时，同理有 $f = F_2 + mg \sin \theta$

$$P = F_2 v_2$$

$$F_2 = f - mg \sin \theta$$

解得

$$v_2 = \frac{P}{f - mg \sin \theta}$$

上述计算结果告诉我们，汽车在输出功率一定的条件下，当 $F_1 > F_2$ 时， $v_1 < v_2$ ，即汽车沿斜坡上行时，车速 v_1 小，汽车的牵引力 F_1 较大；当汽车沿斜坡下行时，车的牵引力 F_2 较小，车速 v_2 较大。

实践与拓展

1. 如图 4-7-2，双脚跳台阶既是一项健身运动，又可以测试运动员的体能（即测出运动员的功率）。试以双脚跳台阶，测出你的功率。



图 4-7-2

2. 研究电动机的输出功率.

可用的器材有：电压为 3 V 的小直流电动机一个，1.5 V 的干电池 2 节，量程为 0~0.6 A 的电流表一个，不同质量的重物若干，秒表或电子表一个，长约 0.8 m 的细线一根，刻度尺一把，滑动变阻器一个等.

研究的问题：如何测定电动机提升重物的输出功率？当电动机的输出功率一定时，电动机的牵引力与它提升重物的速度之间有什么关系？

要求：画出实验示意图，写出实验设计方案，说明实验中要记录的数据及计算方法，列出表格，得出实验结论，最后写出研究报告.

 资料活页

表 4-7-1 一些功率的数值

名称	功率 (W)
液晶显示电子手表耗电	小于 10^{-5}
飞行中的苍蝇	2×10^{-5} 左右
液晶显示小型电子计算器耗电	$(0.2 \sim 0.3) \times 10^{-3}$
荧光管显示小型电子计算器耗电	$(100 \sim 500) \times 10^{-3}$
电动剃须刀	大于 10
电风扇 (230~400 mm)	38~65
人的平均功率	1×10^2
家用电熨斗	300~1000
国产手扶拖拉机	$(2.2 \sim 8.8) \times 10^3$
国产小轿车	$(55 \sim 88) \times 10^3$
国产大客车	$(66 \sim 162) \times 10^3$
国产 300 t 大平板车	294×10^3
一般机车	1.5×10^3
万吨级远洋轮船发动机	7.4×10^6
大型轧钢机	3.7×10^7
喷气客机	2.1×10^8
三峡电站水流	1.8×10^{10}
脉冲激光器	10^{12}
远程火箭发动机	2×10^{13}
新星爆发	10^{32}
超新星爆发	10^{36}



1. 一台起重机的输出功率是 $5.0 \times 10^4 \text{ W}$, 若用它将 2.0 t 的重物匀速吊起 10 m , 需要多长时间?

2. 功率为 1 kW 的电器工作 1 h 所消耗的电能 1 kWh (千瓦时). 1 kWh 我们也常称为“度”, 即一度电. 试问: 1 kWh 等于多少焦耳?

3. 下表是某台洗衣机的铭牌, 它给出了这台机器的工作性能和结构特征的一些数据. 在一个标准程序内洗衣机消耗多少焦耳电能? 如果将这些电能全部用来提升货物, 能将质量为 1000 kg 的货物最高搬到离地多高的地方?

型 号	×××	进水压 (MPa)	0.03 ~ 0.78		
电 源	额定电压~220 V, 额定频率 50 Hz	额定功率 (W)	洗涤 325, 漂洗 300, 脱水 255		
额定洗涤 脱水量	4.0 kg	标准程序运行 时间 (min)	洗涤	漂洗	脱水
水量/水位	45 L / 高、37 L / 中、 29 L / 低		12	4	5
最大耗水量	135 L / (高水位 标准程序)	外形尺寸 (mm)	长 540、宽 540、高 910		

4. 卡车在水平公路上行驶, 发动机的牵引力是 $2 \times 10^3 \text{ N}$, 它在 1 h 内行驶了 72 km . 求它在这段时间内的平均功率. 如果卡车发动机的额定功率是 75 kW , 它以最大速度匀速行驶时的阻力是 $3 \times 10^3 \text{ N}$, 求这辆卡车的最大速度.

5. 质量为 m 的汽车以恒定的功率 P 在平直公路上行驶, 行驶中阻力大小不变, 若汽车匀速行驶时的速度为 v_1 , 那么, 当汽车的速度为 v_2 时 ($v_2 < v_1$), 汽车的加速度为多大?

6. 美国于北京时间 2005 年 7 月 26 日晚 10 点 39 分发射的“发现”号航天飞机的起飞重量约 450 万磅 (1 磅 = 0.4536 千克), 在“发现”号发射升空的最初 2 分多钟内, 其升空推力是靠两枚固体燃料火箭助推器和三台主发动机提供的. 若每枚固体燃料火箭助推器提供的推力为 $15\,682 \times 10^3 \text{ N}$, 每台主发动机产生的推力为 $1668 \times 10^3 \text{ N}$, 求当“发现”号的速度达到 0.5 km/s 时, 其功率是多大? 若波音 747 飞机全速冲刺时所有引擎的功率总和为 $4.6 \times 10^8 \text{ W}$, 则此时每枚固体燃料火箭助推器的功率相当于多少架波音 747 的功率?

第八节 能源的利用与开发

从古人的“钻木取火”到蒸汽机的发明，再到各种电器设备的广泛应用，无不伴随着能源的利用和开发；社会的文明进步和经济繁荣，无不与能源的变革和技术的发展息息相关。我们每个人都在自觉和不自觉地利用能源，从衣、食、住、行到娱乐、通信，无不需要能源的支持。试想，人类一旦失去能源，世界将会变得怎样？2003年8月14日下午至15日晚发生在美国东部的大停电事件，已经为我们展示了这幅图景：通信、交通一片混乱，街道一片漆黑，地铁停开，飞机停飞，电梯停运，工厂停产，许多人有家不能归，露宿街头。除此之外，还造成了六十多亿美元的经济损失。能源对人类社会如此重要，那么，什么是能源？我们常用的能源有哪些？它们来源于何处？地球上的能源取之不尽吗？我们应该如何更好地利用和开发能源？

能源及其分类

我们在生活、工作和学习中，每时每刻都在利用各种形式的能量。我们平常所说的能源指的是在一定条件下能够提供可利用能量的物质资源。

我们今天所使用的煤、石油、天然气，是埋在地下的动植物经过数亿年的地质演变而形成的，这些能源统称为**化石能源**。

能源的划分方法有多种。直接取之于自然界，未经人类加工转换的能源称为**一次能源**，如煤、石油、天然气、水能、风能、太阳能、生物能、海洋能、地热能等。通常所说的世界各国能源产量和消费量，一般都指的是一次能源。一次能源按是否能够再生，分为**可再生能源**（如太阳能、水能、风能、海洋能等）和**不可再生能源**（如煤、石油、天然气、核能等）。从一次能源直接或间接转化而来的能源称为**二次能源**，如电能、氢能、焦炭等。

讨论与交流

1. 人类为了有效地利用能源，发明了许多实现能量转化的装置，你能说出几种这样的装置，并指出它们分别利用了哪些能源吗？
2. 有人说化石能源的能量来自太阳，那么太阳能是如何转化为煤和石油的化学能的呢？

专业术语

能源

energy resource

化石能源

fossil energy resources

不可再生能源

nonrenewable

source of energy

能源危机与环境污染

目前世界上消耗的能源主要是煤、石油、天然气等矿物质。据估计，按这些物质在地球上已探明的储量和目前的开采速度，它们分别还可以开采 200 年、40 年和 60 年左右，这些能源几代人之后将不复存在。

我国已探明的能源储量，石油约 7.0×10^{10} t（其中可开采量约 1/4），天然气约 8.0×10^{12} m³，煤炭约 9.5×10^{12} t（其中经济可开采量约 1.2×10^9 t）。据报道，目前我国能源消费总量已位居世界第二位，但由于我国人口众多，人均能源的占有量和消费量均处于较低水平。我国能源消耗以煤为主，约占能源消费总量的 75%，且能源使用效率低。随着我国经济的迅速增长和大众文化水平的提高，能源消耗量将急剧增加，能源的需求和供应的矛盾更为突出，能源短缺的现象更为严重。

专业术语

能源危机
energy crisis

能源的大量使用在给人类带来文明和繁荣的同时，也给人类的生存环境带来灾难。酸雨、温室效应、臭氧层的破坏、城市热岛效应、土壤酸化、生态平衡的破坏等对人类已不再陌生。这些又带来了海平面升高、暴雨和干旱增多等灾害，严重威胁着人类及各种生物的生存。

能源危机和能源的利用对环境所造成的污染已成为人类共同关注的世界性问题。

讨论与交流

1. 能源利用，给你的生活带来了哪些方便与烦恼？
2. 看了图 4-8-1 的图片，联系你周围的环境，你认为目前我国在能源利用中存在哪些问题？应采取哪些措施？



图 4-8-1 火力发电厂用煤作为燃料，浓烟滚滚

能源的开发

节约能源，开发可替代煤、石油、天然气等常规能源的新

能源，研究清洁能源是缓解当前能源危机及保护和改善人类生存环境的有效措施。

核能以其储量丰富、污染小、运行安全可靠正成为重要的能源。一个 100 万千瓦压水堆核电站，每年需要补充 40 吨燃料，其中只消耗 1.5 吨铀-235。而一座 100 万千瓦烧煤的发电厂，每年至少消耗 2 120 000 吨标准煤，平均每天要有一艘万吨巨轮，或三列 40 节车厢的火车运煤到发电厂。

我国是继美国、英国、法国、苏联、加拿大、瑞典之后世界上第七个能够自行设计、建造核电站的国家。目前已拥有秦山核电站、大亚湾核电站和岭澳核电站，建设中的全国最大的核电站——广东阳江核电站（如图 4-8-2 所示）已于 2010 年 6 月 8 日正式拉开了核电站核岛安装的大幕。



图 4-8-2 我国最大的核电站——广东阳江核电站效果图

在自然界中，**风能**是一种巨大的可再生能源，它远远超过化石能源所能提供的能量总和。风力发电既经济又环保。当前，世界各国对风能的利用，主要是以风能作动力和发电两种形式，其中以风力发电为主。而且近年来还广泛开展了风能在海水淡化、航运、提水、供暖、制冷等方面的研究，使风能的利用范围得到了进一步扩大。我国地域辽阔，蕴藏着非常丰富的风能资源。

太阳每年辐射到地球的**太阳能**是巨大的，达到 10^{18} 千瓦时，因此，太阳能的利用具有广阔的前景。我们在许多屋顶上都可以看到太阳能热水器，比较简单的装置是一个装水的黑色橡胶袋，复杂一些的如全玻璃真空管式集热器，如图 4-8-3 所示。太阳能电池是利用半导体材料把太阳能直接转变成电能的器件。现在多数人造卫星的电源都是太阳能电池。有些电子表、计算器、计算机的电源也使用太阳能电池。相对于人类的历史来说，太阳能是取之不尽、用之不竭的，太阳能的利用对环境不会造成污染，它是一种清洁能源。

水电站是世界上较成熟的电站，在水资源较发达的地区，水力发电是主要的发电方式。我国建造的“三峡电站”是目前世界上最大的水电站，在国

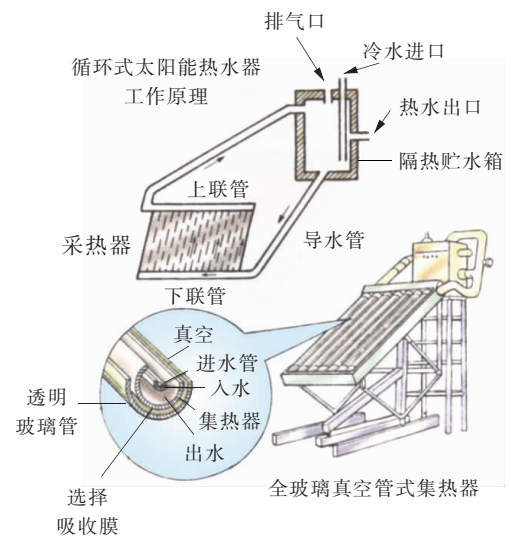


图 4-8-3 太阳能全玻璃真空管式集热器及其工作原理

民经济中发挥着巨大的作用。

地热能也十分巨大，目前世界上已有近二百座地热发电站投入运行，装机容量数百万千瓦。研究表明，地热能的蕴藏量相当于地球煤炭储量热能的 1.7 亿倍，可供人类消耗几百亿年，真可谓取之不尽、用之不竭。

生物质能主要是指用庄稼秸秆、牲畜粪便经发酵后所产生的沼气。这是一种混合气体，主要成分是甲烷。沼气燃烧时污染性很小，使用起来既经济又方便，在农村具有广阔的应用前景。

海洋能具有广阔的应用前景，是一种蕴藏量极大的可再生能源，通常包括潮汐能、波浪能、海流能、温差能、盐差能等。

氢是宇宙中含量最丰富的元素之一，**氢能**的利用自然不容忽视。氢运输方便，用作燃料不会污染环境，重量又轻，优点很多。它虽然在航天技术上得到了广泛的应用，但在日常生活和生产中极少应用。随着科学技术的发展，今后氢的使用会更多。

我们地球上的资源是丰富的，人类只要合理开发、合理应用，地球将永远是我们美丽的家园。

实践与拓展

1. 温室效应是怎么回事？为什么大气中的 CO_2 增加后就会产生温室效应？请查阅资料，以“温室效应对人类生存环境产生的影响”为题，写一篇研究报告。

2. 风能是目前能源开发利用中较为理想的清洁能源，请查阅资料，了解目前有哪些利用风能的新技术以及我国在风能利用方面的情况。

我们的网站

我国的能源状况

练习

1. 按照下表中给出的能源分类法，填写能源的名称。

类别	一次能源	二次能源
可再生能源		
不可再生能源		
未来的理想能源		

2. 在生活中存在哪些浪费能源的现象？对此你有何看法？

3. 试估算一下，太阳一年里辐射到地球的能量大约相当于多少个百万千瓦的发电站一年的发电量？

4. 水能是可再生能源，可持续地利用它来发电，为人类提供清洁的能源。若一水力发电站水的平均流量为 Q (m^3/s)，落差

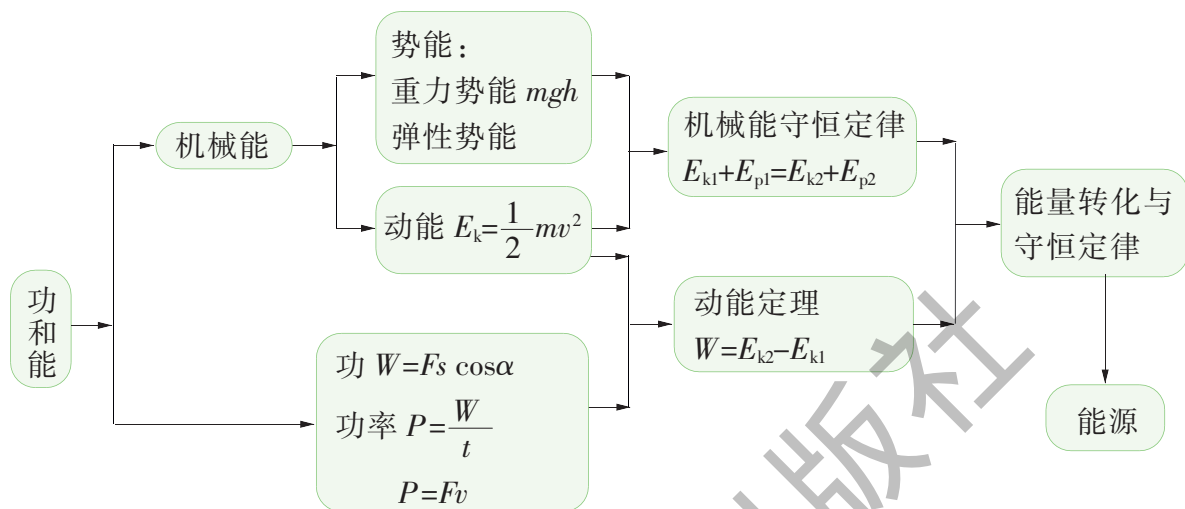
为 h ，发电效率为 η ，则全年发电量 A 是多少千瓦时？

5. 潮汐发电是利用潮水涨落产生的水位差来发电. 建于浙江江厦的双向潮汐电站是我国第一座潮汐电站. 它每天利用海水涨落两次, 共能进行四次发电. 已知其年发电量为 $1.07 \times 10^7 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 总功率为 $3.20 \times 10^3 \text{ kW}$, 则该电站每天平均满负荷发电的时间为多少小时?

广东教育出版社

本章小结

一、知识结构



二、回顾与评价

回顾与评价

生活中应用动能的例子有：_____

在本章学习中，我遇到的困难有：_____

我与同学合作最愉快的是：_____

我对能源与环境的看法有：_____

我对物理探究活动的建议是：_____

我还有的疑问是：_____

我在一天的生活与学习中，涉及的能量转化有：_____

我对“永动机”的看法是：_____

习 题 四

1. 质量为 m 的物体，在水平力 F 的作用下，在粗糙水平面上运动。下面说法正确的是（ ）。

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

2. 起重机以 1 m/s^2 的加速度将质量为 1000 kg 的货物由静止开始匀加速向上提升，若 g 取 10 m/s^2 ，则在第 1 s 末起重机对货物做功的瞬时功率为 _____ W 。

3. 起重机的吊钩下挂着质量为 100 kg 的木箱，如果木箱以加速度 2 m/s^2 匀减速下降了 4 m ，求钢索拉力所做的功。

4. 质量为 10 t 的汽车，额定功率为 66 kW ，在平直的公路上行驶，如果汽车受到的阻力是车重的 0.05 倍，求汽车能够达到的最大速度。

5. 将质量为 2 kg 的一块石头，从离地 2 m 的高处由静止释放，落在沙面与地面相平的沙坑里，陷入沙中的深度为 3 cm ，不计空气阻力，求沙子对石块的平均阻力。

6. 某同学将质量为 2 kg 的铅球，以 8 m/s 的速度投出，成绩为 6 m ，试问该同学对铅球做了多少功？

7. 质量为 1 kg 的木块，以 4 m/s 的初速度从倾角为 30° 的斜面底端向上滑行，上滑的最大距离是 1 m ，试求木块滑回到出发点时的速度是多少？

8. 一物体以初速度 v_0 沿光滑斜面上升，试求：

(1) 物体能上升的最大高度。

(2) 在上升过程中，当物体的速度减小到 $\frac{v_0}{2}$ 时，它上升的高度是多少？

9. 风能是一种可再生能源，请举出三种其他可再生能源的例子。

10. 如图 4-1，质量 $m=50 \text{ kg}$ 的跳水运动员，从 1 m 跳板上跳起，最后以 $v=9.8 \text{ m/s}$ 的速度入水，不计空气阻力，求：

(1) 跳板对运动员做的功是多少？

(2) 运动员在空中的最大高度离跳板多高？



图 4-1

11. 汽车的质量为 m ，以恒定的功率从静止开始在水平路面上行驶一段距离 s 后达到最大速度为 v ，共用时间为 t 。如果行驶中阻力大小不变，则汽车发动机的功率是多少？行驶中阻力大小是多少？

12. 某人在距离地面高 25 m 处，斜向上方抛出一个质量为 100 g 的小球，小球出手时的速度为 10 m/s 。试求：

(1) 人抛出小球时做了多少功？

(2) 若小球在飞行过程中空气的阻力忽略不计，则小球落地时的速度是多大？（取 $g=10 \text{ m/s}^2$ ）

13. 一质量为 m 的弹性小球, 从距水平地面高为 h 的地方处自由释放, 假设小球与地面碰撞时不损失能量, 小球在上下运动过程中受到大小恒定的空气阻力 f 作用. 求物体从开始落下到静止于地面过程中所通过的路程.

14. 在距离地面某高处, 将一个小球以速度 v_0 沿水平方向抛出, 抛出时小球的动能等于重力势能. 设小球在空中飞行达到某一位置 A 点时的位移与水平方向的夹角为 α (不计空气阻力, 设小球在 A 点时的重力势能为零), 则小球在 A 点的速度大小为_____, 小球从抛出点到达 A 点的飞行时间为_____.

15. 一辆汽车以 60 km/h 的速度匀速行驶, 每行驶 10 km 消耗汽油 1.0 L . 已知每升汽油燃烧后放出的能量为 $3.2 \times 10^7 \text{ J}$, 汽油机的效率为 25% . 求:

- (1) 汽车行驶 10 km 牵引力做的功;
- (2) 汽车受到的牵引力大小.

广东教育出版社

第一节 经典力学的成就与局限性

现在，你不仅能运用所学的力学知识初步解决地面上物体的运动问题，而且对天上的行星、卫星的运动规律也有所了解。你是否知道，这一切都是和一连串物理学家光辉的名字——哥白尼、伽利略、笛卡儿、惠更斯、开普勒、牛顿等联系在一起的？正是他们揭示了自然界宏观物体运动的规律，建立了经典力学的完整理论体系。



图 5-1-1 牛顿与其他对建立经典力学作出重要贡献的科学家

经典力学的发展历程

古代人们对力学现象的研究大多反映在技术之中或融合在哲学之内，物理学就整体而言还没有成为独立的科学。

15 世纪以后，欧洲开始了文艺复兴运动，商业、手工业、航海和军事工业蓬勃兴起，物理学进入到一个迅速发展的阶段。16 世纪，哥白尼创立了日心说，人们的思想开始从中世纪的愚昧中解放出来。17 世纪，伽利略发展了观察实验、科学思维与数学相结合的方法，并发现了惯性定律、落体定律和力学相对性原理，奠定了动力学的基础。法国物理学家笛卡儿（R.Descartes, 1596—1650）在伽利略研究的基础上，第一次比较完整地表述了惯性定律，并强调了伽利略没有明确表述的惯性运动的直线性。荷兰物理学家惠更斯（C.Huygens, 1629—1695）全面细致地解决了完全弹性碰撞问题。开普勒发现了行星运动规律。

牛顿则在伽利略、笛卡儿、开普勒、惠更斯等人研究的基础上，采用归纳与演绎、综合与分析的方法，总结出一套普遍适用的力学运动规律——牛顿运动定律和万有引力定律，建立了完整的经典力学（也称牛顿力学或古典力学）体系，物理学从此成为一门成熟的自然科学。

17、18 世纪的科学家逐渐发展了从动量、能量角度对牛顿

运动定律的表述，进一步完善了经典力学体系。

19世纪，经典力学的发展表现为一些科学家在不改变实质的条件下，用新的、更简洁的形式重新表述了牛顿运动定律，形成了分析力学。同时，经典力学由单个质点推广到多质点构成的系统：首先建立了刚体力学，随后又出现弹性力学、塑性力学、流体力学等。

经过牛顿和后人的工作，经典力学在逻辑上和形式上更加令人满意。

经典力学的伟大成就

经典力学的建立标志着近代自然科学的诞生，是科学形态上的重要变革，把人类对整个自然界的认识推进到一个新的水平，对人们的思想观念和近代自然科学的发展产生了深刻而广泛的影响，促进了科学技术的发展和社会文明的进步。

经典力学把天上物体和地上物体的运动统一起来，从力学上证明了自然界的多样性的统一，实现了人类对自然界认识的第一次理论大综合。

经典力学的建立首次告诉人们，一个以现象观察和实验研究为基础的自然科学理论体系，其思想观点应该是明确透彻的，其体系结构应是严密完备、自洽和谐的，其数学表达应是严格、定量、可以操作的；这种理论不仅能够一定范围内揭示事物的本质和规律，作出定量的解释、推断和预言，而且理论本身的是非真伪、成立条件、适用范围等也都可以定量地检验和界定。这是一切自然科学理论应有的基本特征，牛顿伟大贡献的精髓正在于此。

在研究方法上，人们把经典力学中行之有效的实验和数学相结合的方法推广到物理学的各个分支学科上，相继建立了热学、声学、光学、电磁学等，从而形成了完整的经典物理学体系。

经典力学与其他基础科学相结合产生了一些交叉性的分支学科，最早的是和天文学结合产生的天体力学，成为现代高度发达的航空航天技术的理论基础。没有经典力学也就没有今天的空间科学。

20世纪以来，出现了更多的与经典力学结合的交叉学科，如化学流体动力学、等离子体动力学、磁流体力学、热弹性力学、生物力学、地质力学等。

实践证明，从地面上的各种物体的运动到天体的运动；从大气的流动到地壳的变动；从自行车到汽车、火车、飞机等交通工具的运动；从投出篮球到发射导弹、人造卫星、宇宙飞船——所有这些都服从经典力学的规律。

讨论与交流

1. 你还知道有哪些与经典力学结合的交叉学科？
2. 你能具体地指出几项由经典力学直接导致的技术发明吗？

经典力学理论体系的完美和实用威力的强大使物理学家深信，天地四方、古往今来发生的一切现象都能够用力学来描述。果真如此吗？

经典力学的局限性和适用范围

由于经典力学在理论和实践上的巨大成功，在 18 世纪出现了力图把力学规律和它对自然现象的描述方法推广到一切自然研究活动中去的机械自然观。这种观念，对近代自然科学的发展产生了深刻而广泛的影响，几乎所有的物理学家都把经典力学看作是其他自然科学的基础。其实，经典力学只是人类长期对自然运动规律探索的一个发展阶段，和其他任何理论一样，有其自身的局限性和适用范围。

首先，经典力学的应用受到物体运动速率的限制。当物体运动的速率接近于真空中的光速时，经典力学的许多观念将发生重大变化。如经典力学中，认为物体的质量不仅恒定不变，并且与物体的速度或能量无关。相对论的研究则表明，物体的质量将随着运动速率的增加而增大，物体的质量和能量之间存在着密切的联系。但当物体运动的速率远小于真空中的光速时，经典力学仍然适用。

其次，牛顿运动定律不适用于微观领域中物质结构和能量不连续的现象。19 世纪和 20 世纪之交，物理学的三大发现，即 X 射线的发现、电子的发现和放射性的发现，使物理学的研究由宏观领域进入微观领域，特别是 20 世纪初，量子力学的建立，出现了与经典观念不同的新观念。例如，量子力学的研究表明，微观粒子既表现为粒子性又表现为波动性，粒子的能量等物理量只能取分立的数值，粒子的速度和位置具有不确定性，粒子的状态只能用粒子在空间出现的概率来描述等。但是量子力学的建立，并不是对经典力学的否定。对于宏观物体的运动，量子现象并不显著，经典力学仍然适用。

现代物理学的发展，并没有使经典力学失去存在的价值，经典力学仍将在它的适用范围内大放异彩。

实践与拓展

1. 通过上网或其他途径搜集、整理阿基米得在力学方面所取得的成就以及有关他的脍炙人口的故事，并在班上和同学交流或展示。
2. 查阅资料，比较亚里士多德、伽利略、牛顿所采用的科学研究方法的特点和区别以及对科学发展的意义。
3. 查阅文献或网络资料，结合经典力学的成就和局限性，就自己感兴趣的内容写一篇小论文。

第二节 经典时空观与相对论时空观

光在空间是如何传播的？当光的电磁本质被揭示出来以后，对这一问题的研究和思考，引发了物理学的一场革命，导致了相对论的建立，动摇了经典力学的基础——绝对时空观，改变了我们对时间和空间的认识。

经典时空观

在物理（必修1）的学习中，我们已经知道，要描述一个物体的运动，必须选择一个参考系，然后，研究这一物体相对于参考系是如何运动的。

讨论与交流

在匀速前进的车厢中的自由落体，相对于车厢静止的观察者做什么样的运动？相对于地面静止的观察者做什么样的运动？

对于同一物体的运动，我们所选择的参考系不同，对它的运动的描述就会不同。在运动学中，按照研究问题的方便，参考系的选择可以是任意的，但是在应用牛顿运动定律时，参考系的选择并不是任意的。例如，让甲、乙两个小球从同一高度自由落下。如果选地面为参考系，小球只受到重力作用，两个小球都做加速度为 g 的自由落体运动，对两个小球运动的描述符合牛顿运动定律；如果以小球甲为参考系考察小球乙的运动，我们会发现，小球乙虽然受到重力的作用，却处于静止状态，所以对小球甲这个参考系来说，对小球乙的运动描述，并不符合牛顿运动定律。

凡是牛顿运动定律成立的参考系，称为惯性参考系，简称**惯性系**。而牛顿运动定律不成立的参考系称为**非惯性系**。观察到的现象和理论都表明，所有相对于惯性系静止或做匀速直线运动的参考系都是惯性系，而对于惯性系做变速运动的参考系都是非惯性系。

专业术语

惯性系
inertial system

讨论与交流

1. 我们说一个物体在匀速直线运动，指的是什么意思？
2. 一个物体的运动对两个相互做匀速直线运动的惯性系来说，它的速度相同吗？它的加速度相同吗？它遵循的力学规律相同吗？

对于所有的惯性系，力学规律都是相同的，或者说，一切惯性系都是等效的，这一结论称为**伽利略相对性原理**。

伽利略相对性原理表明,对于两个做匀速直线运动的惯性系来说,我们不可能判断哪个惯性系处于绝对静止或绝对运动状态.伽利略相对性原理实质上指出了在惯性运动的范围内不存在绝对空间和绝对运动.

这样,确定或找到使牛顿运动定律成立的一个惯性系,就成为牛顿的力学体系自洽、完备的关键所在.在牛顿时代,已经弄清楚太阳本身也在运动,要想选择一个具体物体作为绝对不动的参考物,变得愈来愈困难了.于是,牛顿引进了与任何实物都不相关的绝对空间和绝对时间来决定他的力学有效的参考系.

用牛顿的话来说,绝对的真实的时间,就其本质而言,是永远均匀地流逝,与任何外界无关.绝对空间就其本质而言是与任何外界事物无关的,它从不运动,并且永远不变.这就是经典力学的时空观,也称为绝对时空观.

按照这种观点,时间和空间是彼此独立、互不关联,且不受物质或运动影响的某种东西.这种绝对时空观可以形象地把空间比喻成可以盛宇宙万物的一个无形的永不运动的框架,而时间就像独立的不断流逝着的流水.

根据经典时空观,我们可以得出经典力学的几个具体结论:

1. 同时的绝对性.在一个参考系中的观察者在某一时刻观测到两个事件,对另一参考系中的观察者来说是同时发生的,即同时性与观察者做匀速直线运动的状态无关.

2. 时间间隔的绝对性.任何事件(或物体的运动)所经历的时间,在不同的参考系中测量都是相同的,而与参考系(或观察者)的运动无关.

3. 空间距离的绝对性.如果各个参考系中用来测量长度的标准相同,那么空间两点的距离也就有绝对不变的量值,而与参考系的选择(或观察者的运动状态)无关.

在经典力学中,又把物体的质量看作是恒定不变的,即它不随观察者的相对运动而改变.所以,时间、长度和质量这三个基本物理量在经典力学中都与参考系(观察者)的运动无关.

相对论时空观

19世纪末,当人们运用经典物理学解释光的传播等问题时,发现了一系列尖锐的矛盾.

如图5-2-1所示,假设一列火车以速度 v_1 匀速前进,车厢内一个乘客以速度 v_2 走向车头,对站台上的观察者而言,乘客的速度是 v_1+v_2 ;如果乘客的速度与火车前进的方向相反,其速度则为 v_1-v_2 .这与我们的常识经验相符合.

但在19世纪下半叶,电磁学的研究表明:光是一种电磁波,光速是一个恒定的常数 c ,与光源和观察者的运动无关.这样,如图5-2-2所示,如果车厢后部有一个光源,火车的速度

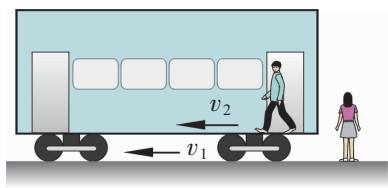


图 5-2-1 火车、乘客、观察者

为 v_1 ，对于站台上的观察者来说，光传播的速度仍是 c ，而不是 $c+v_1$ 。显然，这与经典力学的速度合成法则产生了矛盾，但是观察和实验事实表明：无论光源和观察者如何运动，光速只能是 c 。

为了解决上述矛盾，爱因斯坦于 1905 年提出了狭义相对论。狭义相对论的出发点是以下述的两条基本假设为前提的：

第一是相对性原理。在不同的惯性系中，一切物理规律都是相同的。

第二是光速不变原理。不管在哪个惯性系中，测得的真空中的光速都相同。

从狭义相对论的两个基本假设出发，我们可以推导出不同于经典力学的结论：

1. “同时”的相对性。在一个参考系中同时发生的两个事件，在另一个参考系看来是不同时的，这被称为“同时”的相对性。

我们想象一个实验来解释同时的相对性。如图 5-2-3，一节火车车厢中间顶部 O 挂着一盏灯，前后门都有自动装置，使车门一接到光信号便自动打开。车厢中部站着一个人观察着小明，站台上车厢的中点位置站着一个人观察着小芳。

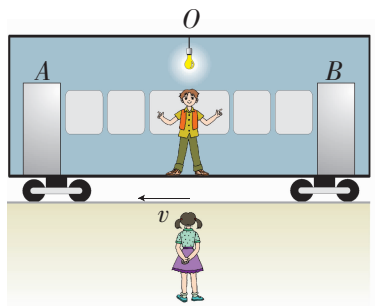


图 5-2-3

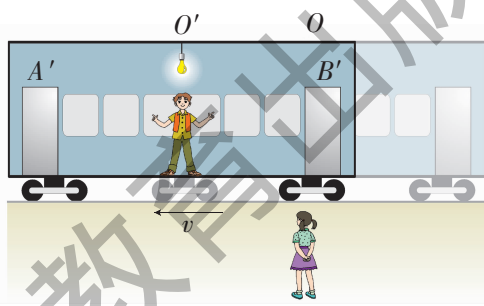


图 5-2-4

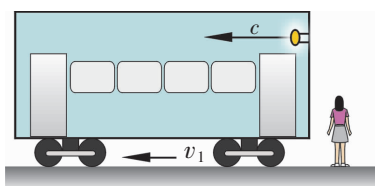


图 5-2-2 火车、光源、观察者

专业术语

狭义相对论

special relativity

相对性原理

principle of relativity

讨论与交流

当火车匀速前进时，电灯一亮，在车厢里的小明看来，前后门是否同时打开？在站台上的小芳看来，前后门是否也是同时打开的？

在车厢里的小明看来，前后两门同时打开，这和我们的经验常识相符。然而，由于前门、后门跟随火车一起前进，站台上的小芳将看到后门先打开，因为灯光传递到前门的距离大于传递到后门的距离（图 5-2-4）。而光速不变，灯光传递较长的距离需要较多的时间。

可见，对列车参考系来说是同时的事件，对站台参考系是不同时的。两个事件是否同时发生，与参考系的选择有关。

2. 运动的时钟变慢。时钟相对于观察者静止时，走得快；相对于观察者运动时，观察者会看到它变慢了，运动速度越快，效果越明显。即运动着的时钟要变慢，如图 5-2-5 所示。

爱因斯坦认为，科学理论应当具有简单性，它力图用尽量少的原理，解释尽量多的自然现象。他认为创立科学理论的方法是：提出为数不多的基本假设，然后从这些基本假设出发，推导出若干结论。

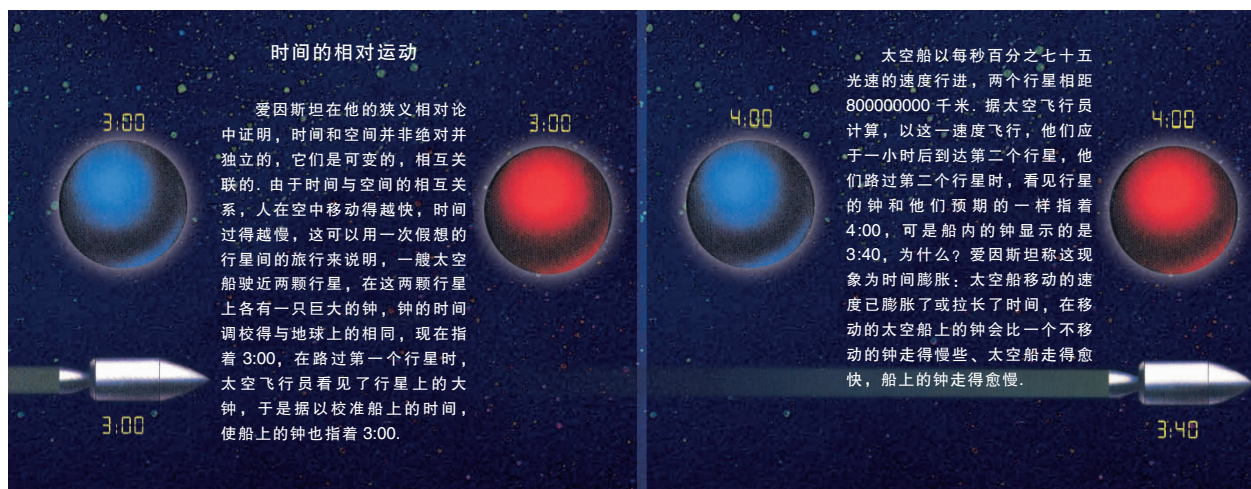


图 5-2-5 运动的时钟要比静止的时钟走得慢

3. **运动的尺子缩短.** 一个物体相对于观察者静止时, 它的长度测量值最大; 相对于观察者运动时, 观察者在运动方向上观测, 它的长度要缩短, 速度越快, 缩得越短, 即运动着的尺子要缩短, 如图 5-2-6 所示.



图 5-2-6 尺子在运动方向上变短

4. **物体质量随速度的增加而增大.** 当速度接近光速时, 质量趋于无穷大. 如果物体的运动速度比光速小很多时, 物体运动时的质量和物体静止时的质量相等. 这意味着经典力学是相对论的一个特例. 可见相对论比经典力学具有更普遍的意义.

以上结论与目前的实验事实相符合, 但只有在高速运动时, 效应才显著. 在通常的情况下, 相对论效应极其微小, 可忽略不计.

讨论与交流

为什么你在日常生活中从未注意到长度收缩和时间膨胀效应?

爱因斯坦的狭义相对论时空观是时空观发展史上的一次大变革, 它把原来认为毫无联系的时间、空间和物质的运动密切联系起来, 揭示了它们之间的依赖关系; 把原来认为独立存在的时间和空间联系起来, 揭示了它们之间联系的具体形式, 表明了时空的相对性和绝对性的辩证统一.

实践与拓展

在课外阅读有关“相对论”的科普书籍, 如《时间简史》(史蒂芬·霍金著)、《物理学的进化》(爱因斯坦等著).

我们的网站

1. 科学巨匠——爱因斯坦
2. 广义相对论时空观

第三节 量子化现象

19 世纪末 20 世纪初，科学家在研究黑体辐射、光电效应、原子光谱和原子的稳定性等问题时发现，许多现象与经典物理学的观念产生了尖锐的矛盾，暴露了经典物理学的局限性，从而引发了物理学的另一场革命——量子论的建立，使人类对物质的认识由宏观世界进入微观世界。

黑体辐射：能量子假说的提出

黑体辐射问题是 19 世纪末 20 世纪初物理学无法解决的几大难题之一。

我们知道，某一物体能吸收一切色光，它便显示出黑色。如果一个物体能够吸收照射到它上面的全部辐射而无反射，这一物体就称为**黑体**。黑体辐射是指黑体发出的电磁辐射。比如一块铁，我们可以把它看成近似的黑体，给它加热，它开始吸收热能，铁块会先呈暗红，然后变黄变白，发出耀眼的光线。这就叫做**黑体辐射**。

1900 年之前的很长时期内，经典物理中的连续性观念在人们头脑中根深蒂固，物理学家们都认为一切自然过程（包括物质、能量）都是连续的，并把它视为科学研究的一条准则。然而，这一准则在 19 世纪末科学家们研究黑体辐射规律时遇到了无法解决的困难：理论分析与实验结果不相符合。这使得不少物理学家看到，经典物理学正面临着严重危机。

1900 年 12 月，德国物理学家普朗克（Max K.E.L.Plank, 1858—1947）为了克服经典物理学对黑体辐射现象解释上的困难，提出了一个大胆假说：物质发射（或吸收）能量时，能量不是连续的，而是一份一份地进行的。每一份就是一个最小的能量单位。这个不可再分的最小的能量单位称为“能量子”。普朗克还进一步提出了能量子与频率成正比的观点，如果能量子的能量用 ε 来表示，它的数值等于辐射的频率 ν 乘以一个常量 h ，即

$$\varepsilon=h\nu \quad (5.3.1)$$

h 称为普朗克常量，实验测得 $h=6.63\times 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$ 。



讨论与交流

普朗克的能量子假说与宏观世界中我们对能量的认识有什么不同？

专业术语

量子论

quantum theory

黑体辐射

black-body radiation

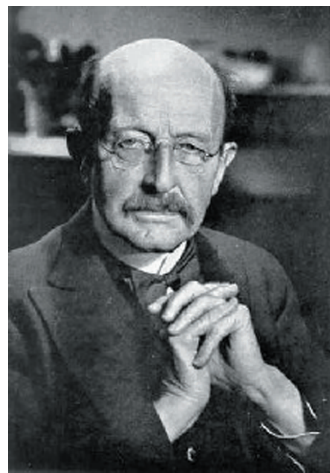


图 5-3-1 普朗克

专业术语

普朗克常量

planck's constant

在微观领域中能量的不连续变化，即只能取分立值的现象，叫做**能量的量子化**。

普朗克的能量子假说不仅解决了黑体辐射的理论困难，而且揭开了物理学上崭新的一页。

专业术语

光电效应

photoelectric effect

光子

photon

光子说：对光电效应的解释

1905年，爱因斯坦发展了普朗克的能量子假说，提出了光子理论。爱因斯坦认为：普朗克把能量的不连续性只限于光的发射和吸收过程，这是不彻底的，即使在空间传播的过程中，辐射能量也是不连续的，也是由一个个能量子组成。

具体地说，光在传播过程中，也是不连续的，它由数值分立的能量子组成。爱因斯坦称这些能量子为光量子，也称为“**光子**”，光就是以光速 c 运动着的光子流。同普朗克的能量子一样，每个光子的能量也是 $h\nu$ ，式中 ν 为光的频率， h 为普朗克常量。光子说成功地解释了经典物理所遭遇的另一难题——光电效应。

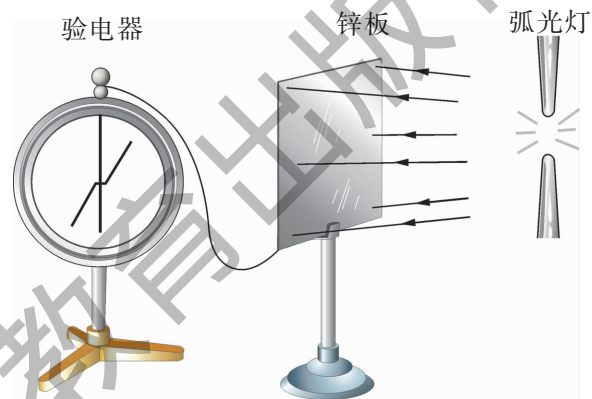


图 5-3-2 光电效应实验

当紫外线这一类波长较短的光照射金属表面时，金属便有电子逸出，这种现象称为**光电效应**。从金属表面逸出的电子称为光电子。

经典理论中“光的波动说”认为光是一种波，它的能量是连续的，与光的强度有关，而与光的频率无关。光电效应实验显示：用微弱的紫光照射金属表面能立即产生光电子，而用很强的红光照射，无论照射的时间多长，也没有光电子产生。就是说光电效应的产生取决于光的频率而与光的强度无关，这和光的波动说相矛盾。

光子说可以很好地解释光电效应。按照光子说，光是由光子组成的，光子的能量是由频率决定的。光子照到金属上时，它的能量可以被金属中的某个电子吸收，电子吸收光子后，能量增加。如果能量足够大，电子就能克服金属离子对它的束缚，离开金属表面，逃逸出来，成为光电子。用微弱的紫光照射金属，虽然光子的数目比较少，但是由于光子的频率大，每个光子的能量也足够大，光子的能量被电子吸收后，足以使电子从金属中

逃逸出来；用很强的红光照射，虽然光子的数目很多，但光子的频率低，每个光子的能量不够大，光子的能量被电子吸收后，也不足以使电子从金属中逃逸出来。

光电效应现象表明，光具有粒子性。

光的波粒二象性：光的本性揭示

爱因斯坦的光子说成功地解释了光电效应，说明光具有粒子性。而在此之前，人们所观察到光的干涉、衍射等实验事实，清楚地显示光具有波动性，那么，光究竟是粒子还是波呢？

专业术语

波粒二象性

wave-particle duality

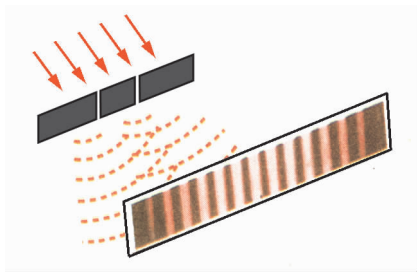


图 5-3-3 光的干涉

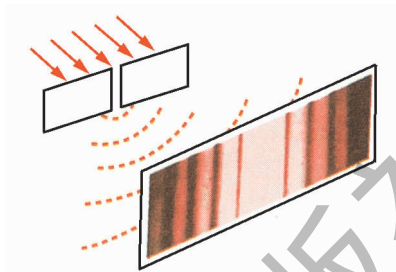


图 5-3-4 光的衍射

大量的实验事实表明，光既具有波动性又具有粒子性，也就是光具有**波粒二象性**。实际上，在宏观上，大量光子传播往往表现为波动性；在微观上，个别光子在与其他物质产生作用时，往往表现为粒子性。

在光的双缝干涉实验中，如果短时间曝光，发现光子在底片上呈现不规则分布的点子，长时间曝光才形成明暗相间的条纹。这说明了光的波动性不同于机械波，也不同于经典意义上的电磁波，而是一种概率波，即表现为光子在空间各点出现的可能性的大小。所谓概率大，即出现光子的数目多，也就是干涉、衍射时呈现出明亮的条纹；所谓概率小，即光子出现的数目少，也就是干涉、衍射时呈现出较暗的条纹。

数学上用概率描述某种事件出现的可能性。例如，随意向上抛出一枚硬币，落地时，我们不能预测哪面朝上，但是如果抛 100 次就会发现，大约有 50 次正面朝上，50 次背面朝上，于是可以说，正面和背面朝上的概率都是 50%。

原子光谱：原子能量的不连续

如果按照经典理论，能量是连续变化的，则氢原子发光的光谱就应该是包含一切频率的连续谱，而事实上氢原子光谱是由一系列不连续的亮线组成的线状谱，如图 5-3-5 所示。

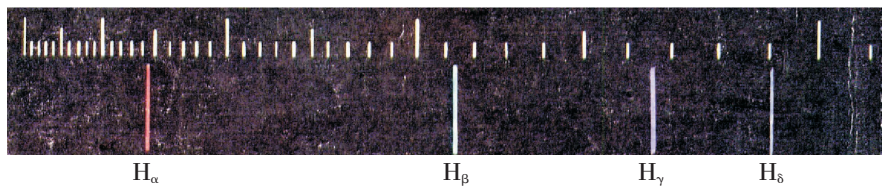


图 5-3-5 氢原子光谱

这说明原子只能处于一系列不连续的能量状态中，当原子从一种能量状态变化到另一种能量状态时，辐射（或吸收）一定频率的光子，辐射（或吸收）的光子的能量是不连续的。

量子论的发展带来了 20 世纪科学技术的繁荣，开辟了众多的高新技术领域，成为当今高科技的理论基础。

量子论的发展也改变了人们的思维方式，强烈地影响人类包括哲学在内的社会和文化，也将对 21 世纪的科学进步产生深远的影响。

实践与拓展

在课外阅读有关量子力学的科普读物，如《朦胧的量子世界》（江向东等编著）。

广东教育出版社

第四节 物理学——人类文明进步的阶梯

物理学——研究物质、能量和它们的相互作用的学科——是一项国际事业，它对人类未来的进步起着关键作用。它肩负着“探索自然、驱动技术、拯救生命”的历史使命。在即将结束物理（必修2）探索之旅之际，让我们鸟瞰一下物理学的发展给人类文明进步带来的成果。

物理学与自然科学——人类文明进步的基石

物理学是自然科学的基础之一，物理学的研究成果和研究方法，在自然科学的各个领域都起着重要的作用。

物理学和化学从来就是并肩前进的。19世纪，科学家们应用物理热力学的理论和方法研究化工生产中的化学平衡、反应速度等问题，产生了化学热力学、化学动力学和催化理论，形成了物理化学这门应用物理学的原理和方法研究有关化学现象和过程的边缘学科。20世纪随着量子力学的建立，量子化学应运而生，更加深入到化学现象的微观机理。

图5-4-1为化工厂里的电解车间。电解质在导电的过程中，同时发生化学变化，即发生电解现象。电解在工业上有广泛的应用。

物理学的研究成果和研究方法向生物学渗透的结果，形成了生物物理、分子生物学等新学科，特别是遗传学的发展，敲开了生命科学的大门，给人类社会带来了极其深刻的影响。物理学和生物学相互渗透，前途是不可限量的。在两学科的交叉点上产生的一系列重大成就，如DNA双螺旋结构的确定、耗散结构理论的建立等，充分证明了这一点。21世纪，将是物理学全面介入生命科学的世纪。

图5-4-2为脱氧核糖核酸（DNA）的双螺旋结构模型。1953年，生物学家沃森（J.D.Watson, 1928— ）和物理学家克里克（F.H.C.Crick, 1916—2004）利用X射线衍射的方法在卡文迪许实验室成功地确定了DNA的双螺旋结构。

物理学和天文学有着由来已久的血缘关系，特别是19世纪中叶以后，由于物理学的光度测量和光谱分析应用于天文学，使天文学家能够考察天体的温度分布、化学构成、物理结构和演化过程等，天文学从观察、研究天体的机械运动深入到探索

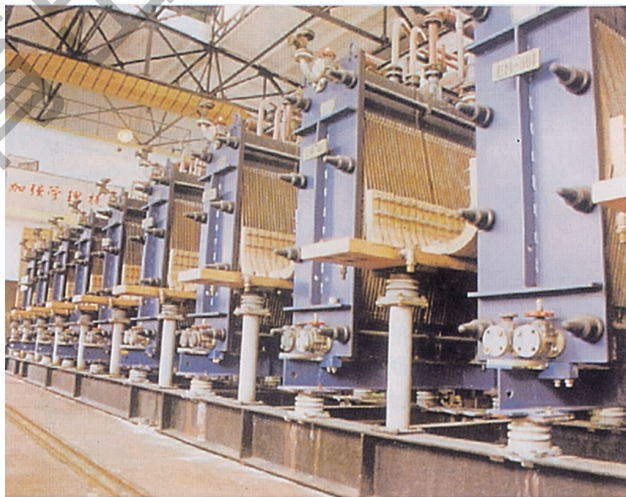


图5-4-1 化工厂里的电解车间

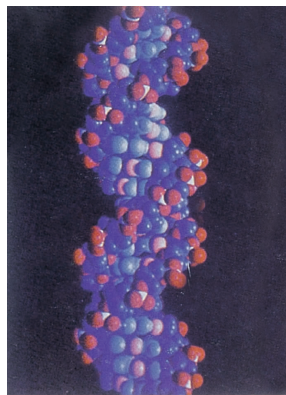


图5-4-2 DNA的双螺旋结构模型

天体的本质，由此产生了标志着天文学新的发展水平的天体物理学，使人类进入了认识宇宙的新阶段。

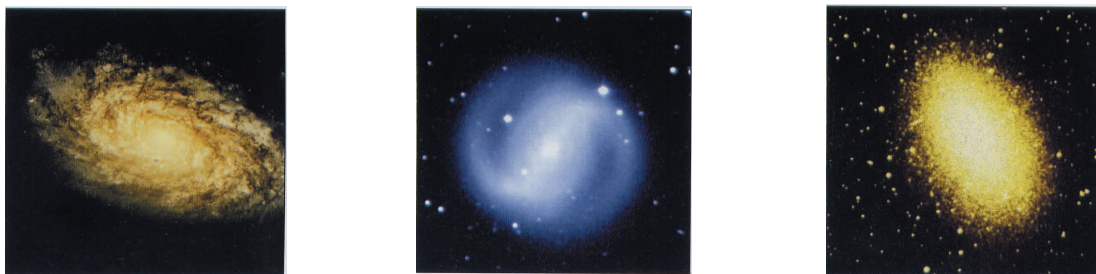


图 5-4-3 哈勃望远镜拍摄的太空深处星系（螺旋星系、棒旋星系、椭圆星系）的光学照片

物理学与现代技术——人类文明进步的推动力

物理学的发展推动了科学技术的高速发展。几乎所有重大的新技术领域，如原子能技术、激光技术、电子和信息技术等的创立，都是在物理学中经过了长期的酝酿，在理论上和实验上取得突破，继而转化为技术成果的。

现代社会生活中电子计算机的应用已随处可见，它对我们的生活产生了如此重要的影响，由此而引发的信息革命被誉为第三次工业革命。电子信息技术的创立、发展及其硬件部分都是以物理学的成果为基础的。量子力学是孕育电子计算机的理论基础，晶体管和集成电路的发明使电子计算机的诞生成为现实。



图 5-4-4 电子计算机



图 5-4-5 集成电路的心脏——半导体芯片

图 5-4-6 为我国第一座核电站——秦山核电站。目前，许多国家都建起了核能发电站，核能发电已达到世界发电总量的 30%。如果没有 1909 年物理学的 α 粒子散射实验和爱因斯坦的质能方程，就不可能有今天核能的利用。

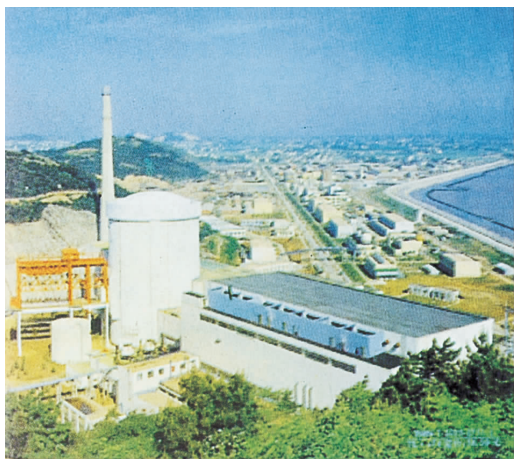


图 5-4-6 秦山核电站



图 5-4-7 激光唱片

当你聆听激光唱片发出的音色纯美的乐曲时，可曾想到：正因为得益于 1917 年爱因斯坦提出的光的受激辐射理论，才有了 1960 年第一台激光器的诞生。迄今，激光技术已在基础科学、军事、通信、医学、工业、生物工程、生产领域和日常生活等各个方面起着重要而显著的作用。光通信依赖的基础器件便是激光器，大功率激光器被用于受控核聚变研究，医学激光治疗已可以治疗数百种疾病。激光被誉为 20 世纪的“世纪之光”。

以物理学为基础的科学技术的高速发展，直接推动了人类社会的文明进步，改变了人们的思维方式和生活、工作方式，创造了一个个新时代。18 世纪得益于牛顿力学和热学的研究而发明的蒸汽机，带领人们进入蒸汽机时代；19 世纪以电机的发明和电力的应用为标志的电力技术革命，使人类社会全面进入了电气化时代；属于 20 世纪最伟大的科学成就之一的原子能技术，把人类社会带进了原子时代；20 世纪后期，电子信息技术和通信技术又为人类创造了一个新时代——信息时代。21 世纪，物理学将在极小的尺度上探索物质更深层次的结构，在更宏观的尺度上寻求宇宙的起源和演化，同时物理学在与其他学科的交叉领域和技术领域也有广阔的发展前景。正是人们对自然奥秘的不断探索，科学技术的不断发展，才使人类对世界的认识达到了一个崭新的境界，推动人类社会不断进步。

讨论与交流

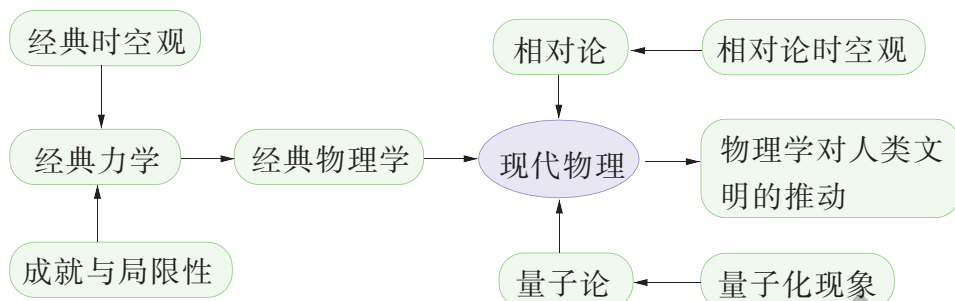
请列举出科学技术直接或间接影响你的生活的几个事例。

实践与拓展

1. 查阅资料，了解物理学与数学、地质学、气象学等学科的关系，谈一谈你对物理学在自然科学发展中所起作用的认识。
2. 围绕物理学对推动社会发展和科技进步的重要意义举行一次演讲比赛。

本章小结

一、知识结构



二、回顾与评价

回顾与评价

我对经典力学的认识有：_____

相对论时空观对我的思维的冲击是：_____

量子论的建立对我的启发是：_____

我对物理学的新认识有：_____

我对科学研究方法的体会是：_____

我还有的疑问是：_____

本章我最感兴趣的内容是：_____

我看过的相关课外书籍有：_____

习 题 五

1. 有人说，相对论和量子论的建立是对经典力学的根本否定，对此观点，你有何看法？
2. 怎样理解相对论中的光速不变原理？
3. 地面上两个同时发生的事件 A 、 B ，对于坐在航天飞机中沿这两个事件发生地点连线飞行的观察者来说，哪个事件先发生？
4. 一列火车以速度 v 相对于地面运动，如果地面上的观察者测得某光源发出的闪光同时到达一节车厢的前门和后门，那么火车上的观察者是否测得闪光也同时到达前门和后门？为什么？
5. A 、 B 、 C 是三个完全相同的时钟， A 放在地面上， B 、 C 分别放在两架航天飞机上，以速度 v_B 和 v_C 朝同一方向飞行， $v_B < v_C$ 。地面上的观察者认为哪个时钟走得最慢？哪个走得最快？
6. 普朗克的能量子假说和爱因斯坦的光子假说的内容是什么？用它们分别能解释哪些现象？
7. 光的本性是什么？你是怎样理解的？
8. 能量是 2.0×10^{-12} J 的光子，频率是多少？
9. 在可见光范围内，哪种光子的能量最大？想想看，这种光是否一定最亮？

广东教育出版社



绿色印刷产品

批准文号：粤发改价格【2017】454号 举报电话：12358



定价：14.51元
(配光碟1张)